

**А.В. Маслов  
В.Н. Подковыров**

**СИНРИФТОВЫЕ  
ОСАДОЧНЫЕ  
АССОЦИАЦИИ**

**НЕСКОЛЬКО  
ЛИТОХИМИЧЕСКИХ  
ЭТЮДОВ**

РОССИЙСКАЯ АКАДЕМИЯ НАУК  
УРАЛЬСКОЕ ОТДЕЛЕНИЕ РОССИЙСКОЙ АКАДЕМИИ НАУК  
Институт геологии и геохимии им. акад. А.Н. Заварицкого

РОССИЙСКАЯ АКАДЕМИЯ НАУК  
Институт геологии и геохронологии докембрия

А.В. Маслов  
В.Н. Подковыров

# СИНРИФТОВЫЕ ОСАДОЧНЫЕ АССОЦИАЦИИ

НЕСКОЛЬКО  
ЛИТОХИМИЧЕСКИХ  
ЭТЮДОВ

ЕКАТЕРИНБУРГ  
2020

УДК 552.5  
ББК 26.314.44  
М31

Ответственный редактор  
доктор геолого-минералогических наук **Г.А. Мизенс**

Рецензенты:

доктор геолого-минералогических наук, профессор **А.К. Худoley**  
(Санкт-Петербургский государственный университет)

доктор геолого-минералогических наук **М.И. Тучкова**  
(Геологический институт РАН)

Маслов А.В., Подковыров В.Н.

**М31 Сиррифтовые осадочные ассоциации (несколько литохимических этюдов).** – Екатеринбург: ИГГ УрО РАН, 2020. – 172 с.

ISBN 978-5-7691-2533-1

Для интерпретации палеогеодинамических обстановок формирования терригенных толщ с начала 1980-х гг. широко используются данные о валовом химическом составе песчаников и тонкозернистых обломочных/глинистых образований. Опубликован ряд дискриминантных диаграмм, широко вошедших в практику региональных исследований (например,  $K_2O/Na_2O-SiO_2/Al_2O_3$ ,  $(Fe_2O_3^* + MgO)-K_2O/Na_2O$  и ей подобные,  $SiO_2-K_2O/Na_2O$ ,  $(K_2O + Na_2O)-SiO_2/20-(TiO_2 + Fe_2O_3^* + MgO)$  и др.). Они дают возможность с той или иной долей успеха отнести терригенные породы к образованиям нескольких палеогеодинамических обстановок: пассивных и активных континентальных окраин, океанических и континентальных вулканических дуг. В начале 2010-х гг. предложены «низко-» и «высококремнистая» диаграммы DF1–DF2, на которых впервые появилась область составов, свойственных, по мнению их авторов, рифтогенным обстановкам.

В монографии проанализированы материалы по распределению основных породообразующих оксидов в песчаниках и глинистых породах ряда интракратонных рифтов, рифтогенных структур, сформированных при распаде суперконтинентов, а также рифтов, приуроченных к вулканическим дугам и связанным с коллапсом орогенов и ряда других рифтогенных структур.

Книга представляет интерес для специалистов в области литологии и геохимии осадочных образований и может быть полезна при подготовке соответствующих спецкурсов для студентов вузов.

Илл. 54. Библиогр. 239 назв. Табл. 3. Прил. 57.

УДК 552.5  
ББК 26.314.44

*Исследования выполнены в соответствии с темами госзаданий  
ИГГ УрО РАН и ИГГД РАН*

ISBN 978-5-7691-2533-1

© УрО РАН, 2020  
© Институт геологии и геохимии  
УрО РАН, 2020

---

# 1. ВВЕДЕНИЕ

---

Для интерпретации палеогеодинамических обстановок формирования терригенных толщ с начала 1980-х гг. активно привлекаются данные о валовом химическом составе песчаников и глинистых образований, а также соотношениях в них редких и рассеянных элементов. В эти годы был опубликован ряд дискриминантных диаграмм, широко вошедших в практику региональных исследований [Маслов и др., 2016а, 2016б и ссылки в этих работах]. К их числу относятся диаграммы  $K_2O/Na_2O-SiO_2/Al_2O_3$  [Maynard et al., 1982],  $(Fe_2O_3^{*1} + MgO)-K_2O/Na_2O$ ,  $(Fe_2O_3^* + MgO)-Al_2O_3/SiO_2$  и им подобные [Bhatia, 1983],  $SiO_2-K_2O/Na_2O$  [Roser, Korsch, 1986],  $(K_2O + Na_2O)-SiO_2/20-(TiO_2 + Fe_2O_3^* + MgO)$  [Kroonenberg, 1994] и др. Все они дают возможность с той или иной «долей соответствия» отнести терригенные породы к образованиям нескольких палеогеодинамических обстановок: пассивных и активных континентальных окраин, океанических и континентальных вулканических дуг.

В основу построений Дж. Мейнарда с соавторами [Maynard et al., 1982] положено представление о том, что многократно рециклированные зрелые терригенные образования, свойственные областям со спокойной тектоникой (внутренним областям платформ и пассивным континентальным окраинам), характеризуются преобладанием  $K_2O$  над  $Na_2O$  и  $SiO_2$  над  $Al_2O_3$ . Присущие областям активной тектоники незрелые породы (граувакки и им подобные образования), напротив, отличаются относительно небольшими величинами  $K_2O/Na_2O$  и  $SiO_2/Al_2O_3$ . В целях идентификации геодинамических обстановок накопления палеозойских граувакк Австралии были созданы диаграммы  $(Fe_2O_3^* + MgO)-K_2O/Na_2O$ ,  $(Fe_2O_3^* + MgO)-Al_2O_3/SiO_2$  и другие [Bhatia, 1983], а несколько позднее появилась диаграмма  $SiO_2-K_2O/Na_2O$  [Roser, Korsch, 1986]. На диаграммах М. Бхатиа отчетливо выражена тенденция изменения валовых химических составов терригенных пород от океанических островных дуг к приконтинентальным и далее – к породам континентальных окраин разных типов: снижение  $TiO_2$  и  $Fe_2O_3^* + MgO$ , а также  $Al_2O_3/SiO_2$  и возрастание  $K_2O/Na_2O$  и  $Al_2O_3/(CaO + Na_2O)$ . Примерно такой же принцип положен и в основу диаграммы  $SiO_2-K_2O/Na_2O$ . Следует иметь в виду то, что авторами перечисленных диаграмм не были указаны какие-либо границы их применимости, т. е. можно предполагать, что они должны были позволить рас-

---

<sup>1</sup>  $Fe_2O_3^*$  – суммарное железо.

шифровать обстановки формирования как песчаников, так и глинистых пород, материал для формирования которых поступал с палеоводоразделов, сложенных различными типами пород, находившимися под влиянием различных типов климата. В итоге они стали использоваться в самых разных ситуациях, выступая часто как один из главных аргументов в пользу формирования осадочных последовательностей в тех или иных палеогеодинамических обстановках.

Нужно отметить, что за последующие 25–30 лет не было предложено ни одной другой диаграммы такого типа, а количество критических отзывов о диаграммах 1980-х гг. увеличивалось [Armstrong-Altrin, Verma, 2005; Ryan, Williams, 2007; Caracciolo et al., 2012; и др.]. Подробно эта ситуация, как и особенности использования перечисленных диаграмм при анализе различных типов осадочных последовательностей, рассмотрена в публикациях [Маслов и др., 2012а, 2012б, 2016б], и здесь на ней мы специально не останавливаемся.

В 2013 г. опубликованы новые дискриминантные диаграммы DF1–DF2 для терригенных пород с высоким (63–95 мас. %)² и низким (35–63 мас. %)³ содержанием  $\text{SiO}_{2\text{adj}}$ ⁴ (их можно назвать соответственно «высоко-» и «низкокремнистая» диаграммы) [Verma, Armstrong-Altrin, 2013], на которых впервые появилась область составов, свойственных рифтогенным обстановкам. До этого точки составов песчаников и глинистых пород такого типа обстановок в основном концентрировались в областях пассивных континентальных окраин.

Важно иметь в виду, что существенную роль при создании дискриминантных диаграмм играет подбор эталонных объектов. При разработке диаграмм DF1–DF2 такими объектами являлись неоген-четвертичные отложения известных тектонических обстановок (Курило-Камчатская, Японская, Филиппинская, Тонга и другие островные дуги; рифты Мексики, Калифорнии, Бразилии, Испании, Китая, Монголии и др.; коллизионные зоны Непала, Индии, Италии, Сербии и др.). В результате для диаграммы с 63 мас. % <  $\text{SiO}_{2\text{adj}}$  < 95 мас. % «проценты/доли соответствия» для образцов из островодужных, рифтогенных и коллизионных обстановок варьировали в пределах 94–96%, 79–85 и 83–88%. Для «низкокремнистой» диаграммы для тех же обстановок «проценты соответствия» оказались равны ~90%, 75–92 и 96–100% [Verma, Armstrong-Altrin, 2013]. В то же время вне внимания авторов указанных диаграмм остался состав комплексов пород-источников алюмосиликокластики, хотя очевидно, что

$$^2 \text{ DF1} = [-0.263\ln(\text{TiO}_2/\text{SiO}_{2\text{adj}})] + [0.604\ln(\text{Al}_2\text{O}_3/\text{SiO}_{2\text{adj}})] + [-1.725\ln(\text{Fe}_2\text{O}_3^*/\text{SiO}_{2\text{adj}})] + [0.660\ln(\text{MnO}/\text{SiO}_{2\text{adj}})] + [2.191\ln(\text{MgO}/\text{SiO}_{2\text{adj}})] + [0.144\ln(\text{CaO}/\text{SiO}_{2\text{adj}})] + [-1.304\ln(\text{Na}_2\text{O}/\text{SiO}_{2\text{adj}})] + [0.054\ln(\text{K}_2\text{O}/\text{SiO}_{2\text{adj}})] + [-0.330\ln(\text{P}_2\text{O}_5/\text{SiO}_{2\text{adj}})] + 1.588, \text{ а } \text{DF2} = [-1.196\ln(\text{TiO}_2/\text{SiO}_{2\text{adj}})] + [1.064\ln(\text{Al}_2\text{O}_3/\text{SiO}_{2\text{adj}})] + [0.303\ln(\text{Fe}_2\text{O}_3^*/\text{SiO}_{2\text{adj}})] + [0.436\ln(\text{MnO}/\text{SiO}_{2\text{adj}})] + [0.838\ln(\text{MgO}/\text{SiO}_{2\text{adj}})] + [-0.407\ln(\text{CaO}/\text{SiO}_{2\text{adj}})] + [1.021\ln(\text{Na}_2\text{O}/\text{SiO}_{2\text{adj}})] + [-1.706\ln(\text{K}_2\text{O}/\text{SiO}_{2\text{adj}})] + [-0.126\ln(\text{P}_2\text{O}_5/\text{SiO}_{2\text{adj}})] - 1.068.$$

$$^3 \text{ В данном случае } \text{DF1} = [0.608\ln(\text{TiO}_2/\text{SiO}_{2\text{adj}})] + [-1.854\ln(\text{Al}_2\text{O}_3/\text{SiO}_{2\text{adj}})] + [0.299\ln(\text{Fe}_2\text{O}_3^*/\text{SiO}_{2\text{adj}})] + [-0.550\ln(\text{MnO}/\text{SiO}_{2\text{adj}})] + [0.120\ln(\text{MgO}/\text{SiO}_{2\text{adj}})] + [0.194\ln(\text{CaO}/\text{SiO}_{2\text{adj}})] + [-1.510\ln(\text{Na}_2\text{O}/\text{SiO}_{2\text{adj}})] + [1.941\ln(\text{K}_2\text{O}/\text{SiO}_{2\text{adj}})] + [0.003\ln(\text{P}_2\text{O}_5/\text{SiO}_{2\text{adj}})] - 0.294, \text{ а } \text{DF2} = [-0.554\ln(\text{TiO}_2/\text{SiO}_{2\text{adj}})] + [-0.995\ln(\text{Al}_2\text{O}_3/\text{SiO}_{2\text{adj}})] + [1.765\ln(\text{Fe}_2\text{O}_3^*/\text{SiO}_{2\text{adj}})] + [-1.391\ln(\text{MnO}/\text{SiO}_{2\text{adj}})] + [-1.034\ln(\text{MgO}/\text{SiO}_{2\text{adj}})] + [0.225\ln(\text{CaO}/\text{SiO}_{2\text{adj}})] + [0.713\ln(\text{Na}_2\text{O}/\text{SiO}_{2\text{adj}})] + [0.330\ln(\text{K}_2\text{O}/\text{SiO}_{2\text{adj}})] + [0.637\ln(\text{P}_2\text{O}_5/\text{SiO}_{2\text{adj}})] - 3.631.$$

⁴ ( $\text{SiO}_{2\text{adj}}$ ) представляет содержание  $\text{SiO}_2$ , полученное после пересчета содержаний основных породообразующих оксидов на безводную основу. В то же время нами показано [Маслов и др., 2018в], что вычисление величин DF можно производить и без такого пересчета.

осадочное выполнение рифтов, питающихся продуктами размыва разнообразных магматических пород, по валовому химическому составу должно отличаться от состава синрифтовых образований, сформированных за счет многократно рециклированных осадочных толщ.

Сопоставление указанных дискриминантных палеогеодинамических диаграмм показало, что они позволяют с определенной долей условности разграничить терригенные ассоциации только платформенных, рифтогенных, островодужных обстановок и пассивных окраин [Маслов и др., 2016б]. Фигуративные точки составов пород коллизионных осадочных ассоциаций самостоятельные поля на них не образуют [Маслов и др., 2013, 2015а].

Знакомство с большим числом публикаций последних лет, посвященных осадочным образованиям, слагающим разнообразные рифтогенные структуры, показывает, что в них представлены данные: 1) **только по составу синрифтовых песчаников** [Evans, 1990; Cullers, Berendsen, 1998; Vdačný et al., 2013; Elzien et al., 2014; и др.] (ситуация 1); 2) **только по составу синрифтовых тонкозернистых обломочных пород** [Harris, 2000; Ghandour et al., 2003; Paikaray et al., 2008; Ghosh, Sarkar, 2010; и др.] (ситуация 2); 3) **по составу синрифтовых песчаников и ассоциирующих с ними глинистых пород** [Condie et al., 2001; Cullers, Podkovyrov, 2002; Nguetchoua et al., 2017; и др.] (ситуация 3). Конечно, ситуации 1 и 2 не всегда могут быть «монопородными», но мы постарались здесь в некоторой мере абстрагироваться от наличия в тех или иных осадочных последовательностях второстепенных литотипов. Присутствием в ситуациях 1 и 3, а также 2 и 3 одних и тех же пород (песчаников в первом случае и глинистых пород во втором) может быть обусловлено и кажущееся в ряде случаев несоответствие выводов в разных главах, но это предполагаемое явление именно кажущееся.

Соответственно построена и настоящая работа: в главах 2–4 последовательно рассматриваются литохимические особенности песчаников (ситуация 1), тонкозернистых обломочных пород (ситуация 2), а также обоих указанных литотипов (ситуация 3), слагающих различные рифтогенные структуры. В связи с возникающей в ряде случаев неоднозначностью перевода названий региональных литостратиграфических подразделений и рифтогенных структур/бассейнов на русский язык мы старались сохранить в тексте их английское написание.

Настоящая монография продолжает наши исследования по анализу валового химического состава терригенных пород различных палеоклиматических и геодинамических обстановок, начатые публикациями [Маслов, 2010а, 2010б; Маслов и др., 2012а, 2012б, 2013] и впоследствии продолженные [Маслов и др., 2015а, 2015б, 2016а, 2016б, 2016в, 2018а, 2018б; и др.]. Идея исследования именно рифтогенных осадочных ассоциаций принадлежит В.Н. Подковырову. При подготовке ряда разделов этой работы использованы аналитические данные, полученные в разные годы Э.З. Гареевым, А.Д. Ножкиным и проанализированные в совместных с ними статьях и монографии [Маслов и др., 2008а].

Отдельные разделы работы уже были в том или ином виде опубликованы нами ранее в соавторстве с С.Г. Ковалевым, Л.Н. Котовой и Н.Д. Сергеевой, которым мы искренне благодарны за всестороннее обсуждение геологических и литохимических материалов. Сейчас они переработаны, в той или иной мере дополнены и снабжены обширными справочными сведениями: в приложении

даны краткие описания рассматриваемых объектов и аналитические данные по валовому составу слагающих их песчаников и тонкозернистых обломочных/глинистых пород.

Авторы искренне признательны за содействие в проведении исследований и консультации по ряду вопросов С.Г. Ковалеву, В.Н. Пучкову, С.В. Мичурину и его коллегам по аналитической службе ИГ УНЦ РАН (ныне ИГ УФИЦ РАН, г. Уфа), Н.П. Горбуновой и О.Ю. Мельничуку. Существенный вклад в доработку рукописи внесли советы и пожелания рецензентов – А.К. Худолея и М.И. Тучковой, любезно взявшим на себя труд внимательно с ней ознакомиться. Иллюстрации к монографии, как и ее оригинал-макет, подготовлены Н.С. Глушковой.

---

## 2. ПРОЦЕССЫ ОСАДКОНАКОПЛЕНИЯ В РИФТАХ: ОБЩИЕ РЕМАРКИ

---

Анализу особенностей эволюции рифтов и процессов осадконакопления в них посвящено множество публикаций [Логачев, 1968, 1977; Illies, Greiner, 1978; McKenzie, 1978; Милановский, 1976, 1983; Crossley, 1984; Грачев, 1987; Казьмин, 1987; Quinlan, 1987; Rosendahl, 1987; Разваляев, 1988; Morley, 1989; Ingersoll et al., 1990; Woelk, Hinze, 1991; Schlishe, 1991; Jones et al., 1992; Van Schmus, 1992; Postma, Drinia, 1993; Маслов, 1994а; Ziegler, 1994; Эринчек, Мильштейн, 1995; Continental rifts..., 1995; Sengör, 1995; Mack et al., 1997; Withjack et al., 1998; Леонов, 2001; Sedimentation..., 2002; Arribas et al., 2003; Осадочные бассейны..., 2004; Худолей, 2004; Ziegler, Cloetingh, 2004; Sedimentary Provenance..., 2007; Corti, 2009; Чамов, 2016; и др.]. Формирование осадочного выполнения рифтовых бассейнов тесно связано с тектоническими процессами, контролирующими объем и архитектуру аккомодационного пространства, и является в существенной степени процессом сравнительно быстрым, неравновесным и незавершенным, что ведет к возникновению пестрых по петрографическому [Zuffa et al., 1980; Hiscott et al., 1990; Ingersoll et al., 1990; Garzanti et al., 2001; PeriThethyan Rift..., 2001; Non-volcanic Rifting..., 2001; Arribas et al., 2003; Sedimentary Provenance..., 2007; и др.] и валовому химическому составу осадочных образований [Маслов и др., 2018б и др.]. К сожалению, последняя проблема не получила широкого освещения в геологической литературе.

Как подчеркнуто в монографии [Осадочные бассейны..., 2004], рифты принадлежат категории структур, занимающих особое место в процессах формирования осадочных бассейнов, а многоплановые вопросы рифтогенеза продолжают оставаться в числе популярных тем в тектонике и геодинамике. При этом Ю.Г. Леоновым специально отмечено, что «главным диагностическим признаком рифтов являются тектоническая структура и геодинамический режим, в котором она сформировалась. Остальные признаки, такие как состав пород, заполняющих рифт, наличие и тип магматизма и пр., важны и многие из них выражены в рифтах достаточно характерно» [Осадочные бассейны..., 2004, с. 45].

Процессы осадконакопления в рифтовых осадочных бассейнах тесно связаны с тектоническими процессами; последние контролируют объем и общую архитектуру области аккомодации. При этом характер осадконакопления в раздвиговых и сдвиговых бассейнах вследствие конвергенции признаков ча-



сто оказывается сходным. В собственно сбросовых бассейнах более грубые осадки, слагающие, как правило, конусообразные тела, являются отражением активных периодов образования сбросов и маркируют области разгрузки [Осадочные бассейны..., 2004]. В бассейнах или их частях, образованных за счет доминоподобных смещений, пространство аккомодации контролируется величиной запрокидывания отдельных блоков. Это ведет к формированию локальных/разрозненных ловушек кластики, заполнение которых обломочным материалом часто определяется сложными соотношениями между погружающимися и воздымающимися блоками.

Одними из первых обстоятельных работ по рифтогенным бассейнам в нашей стране являются монографические публикации Е.Е. Милановского [1976, 1983], в которых выделены и подробно охарактеризованы внутри- и межконтинентальные, а также внутриокеанические рифтовые пояса и зоны. Эпиplatformенные межконтинентальные рифты включают структуры с платформенной «рамой», эпирогенные – с «рамой» молодых складчатых сооружений. Внутриконтинентальные эпиplatformенные рифтовые пояса и зоны объединяют сводово-вулканические и щелевые рифты. Характер выполняющих их отложений контролируется совокупностью факторов – тектоникой, климатом, вулканической и гидротермальной деятельностью.

*Щелевые рифты* включают, как правило, два комплекса отложений – нижний/молассоидный (песчано-алеврито-глинистые осадки озерного, болотного и аллювиального генезиса) и верхний/молассовый, сложенный более пестрым в гранулометрическом отношении набором пород озерного, аллювиального, пролювиального, флювиогляциального и ледникового генезиса [Милановский, 1976; Логачев, 1977; и др.]. В строении комплекса выполнения *сводово-вулканических рифтовых зон* ведущее значение принадлежит вулканическим образованиям. Присутствующие здесь осадочные породы, как и в случаях щелевых рифтов, имеют пестрый фациальный состав. Отложения, заполняющие бассейны *эпирогенных рифтовых зон*, сходны с осадочным выполнением межгорных впадин орогенных областей. Это разнообразные в генетическом отношении континентальные образования, включающие ту или иную долю вулканических пород [Милановский, 1976].

В соответствии с представлениями [Lambiase, Bosworth, 1995 и ссылки в этой работе], в континентальных рифтах можно видеть несколько типов структур, которые контролируют процессы осадконакопления. Во-первых, это зоны аккомодации, образующие выраженные в рельефе поднятия, разделяющие рифты вдоль простираения на отдельные сегменты/депоцентры. Во-вторых, к таким структурам относятся предшествующие образованию рифта/ранее существовавшие элементы, определяющие особенности поступления обломочного материала в те или иные части рифтов. Вследствие процессов реактивации они часто трансформируются в зоны аккомодации. В-третьих, это региональные поднятия, связанные с пограничными разломами; они могут в существенной степени препятствовать поступлению кластики в центральные части рифтов и быть связаны как с флексурными границами, так и с зонами аккомодации. Вследствие этого в рифтах формируются закрытые со всех сторон структурные депрессии. В-четвертых, к числу структур, контролирующих процессы осадконакопления, принадлежат ограниченные параллельными бортами рифтов разломами тектонические блоки. Присутствие их в рифтах ведет к

возникновению хорошо выраженного продольного переноса обломочного материала. Заметную роль в процессах осадконакопления играют также трансферные разломы (transfer faults). Влияние перечисленных структур на процессы седиментации с течением времени меняется. Это позволяет наметить несколько «структурно-стратиграфических» стадий, каждая из которых определяет особый/специфический стиль осадочного заполнения многих фанерозойских континентальных рифтовых бассейнов.

На инициальной стадии, когда процессы растяжения и формирования рифта только начинаются, первыми образуются блоки, ограниченные параллельными бортам рифта разломами, и трансферные разломы. На этой же стадии зарождаются «плечи рифта» и зоны аккомодации, но влияние их на процессы осадконакопления еще невелико. Относительные скорости преобразований рельефа ниже, чем скорости региональной эрозии и седиментации. Собственно в рифтовый бассейн попадает значительное количество обломочного материала, маскирующего зачаточные тектонические блоки/блоки, ограниченные параллельными бортам рифта разломами. Это ведет к накоплению широко распространенных базальных отложений, среди которых доминируют флювиальные пески. Потоки, с которыми связано их накопление, часто перемещаются на данной стадии почти перпендикулярно бортам/оси рифта. На этой же стадии также могут накапливаться мелководные озерные и болотные/маршевые отложения. Современным примером подобного рода образований может служить дельта р. Окаванго в Ботсване (см. объект 19 в настоящей работе), где в настоящее время формируются флювиальные, озерные и болотные/маршевые отложения, выполняющие недавно появившуюся в результате процессов растяжения пологую депрессию. Морфологически рифт на данной стадии напоминает пологий прогиб. Этому же этапу развития континентальных рифтов отвечают некоторые пермо-триасовые (Karoo) бассейны Центральной и Южной Африки и ряд других структур. Если на инициальной стадии скорость регионального осадконакопления невелика, то в пределах дна рифта доминируют тектонические блоки и трансферные разломы, а основная масса осадков переносится вдоль оси рифта.

На следующем этапе скорости проседания дна рифта и поднятия его бортов/плеч превышают региональную скорость осадконакопления. Это приводит к формированию положительных элементов рельефа – зон аккомодации, приподнятых (иногда на значительную высоту) бортов рифтов/лежащих блоков и флексурных границ. Все вместе это ведет к появлению на данной стадии специфической полуграбеновой морфологии бассейнов, входящих в состав той или иной рифтовой зоны. Накопление осадочного материала сосредоточивается в этих полуграбенах. В гумидном климате здесь возникают крупные глубокие озера, а в аридных обстановках преобладают небольшие озера, пересыхающие реки и пустыни. В пределах дна полуграбенов накопление осадков продолжает контролироваться тектоническими блоками и трансферными разломами. Современным примером рифтовых бассейнов этой стадии служат, по мнению авторов работы [Lambiase, Bosworth, 1995], бассейны Восточно-Африканской рифтовой зоны. В последующем, в результате уменьшения интенсивности процессов растяжения и сопровождающего их погружения, скорость седиментации многократно превышает скорости погружения дна и роста бортов/плеч рифтов. В итоге происходит перекрытие чех-

лом осадков небольших топографических элементов, таких как тектонические блоки и трансферные разломы; влияние на процессы накопления осадков они больше не оказывают, тогда как зоны аккомодации и борта рифтов продолжают контролировать процессы осадконакопления.

По мере заполнения рифтовых структур осадочным материалом меняются особенности его поступления в полуграбенные бассейны. Максимальные глубины озер ограничены высотой окружающих их поднятий; с течением времени они уменьшаются прежде всего за счет поступающего в рифтовые бассейны обломочного материала. Глубокие озера мелеют. Перекрытие зон аккомодации плащом осадков ведет к прекращению влияния указанных структур на осадконакопление и превращает днище рифта в арену преимущественного формирования аллювиальных отложений – своеобразную относительно пологую равнину без барьеров, ориентированных вдоль главной оси структуры.

После отмирания зон аккомодации основное влияние на процессы осадконакопления начинают оказывать борта рифтов и их флексурные границы. В некоторых рифтах это финальная стадия эволюции. Другие преобразуются в громадные пострифтовые прогибы/депрессии. Современным примером бассейнов этой стадии является, по всей видимости, район Sudd в Южном Судане, где обширные флювиальные, озерные и болотные/маршевые равнины перекрывают рифтовые бассейны мезозоя/раннетретичного времени.

Суммируя сказанное, можно сделать вывод, что в основании осадочного выполнения многих континентальных рифтов залегают базальные образования, в составе которых преобладают флювиальные пески и песчаники. Они перекрыты по резкой границе озерными отложениями, вначале достаточно глубоководными, затем все более мелководными. Последние постепенно сменяются флювиально-дельтовыми отложениями. На завершающей стадии наблюдается переход к субэвральным обстановкам, в которых формируются преимущественно флювиальные осадки [Lambiase, Bosworth, 1995].

В четвертом издании монографии «Plate Tectonics and Crustal Evolution» К. Конди пишет, что рифты имеют различное происхождение и присутствуют в различных региональных тектонических обстановках [Condie, 1997]. Основной причиной их формирования является растяжение, однако региональные тектонические обстановки, в которых образуются те или иные рифты, могут быть обстановками как сжатия, так и растяжения или нейтральными.

В самом общем случае в зависимости от механизмов формирования рифты могут быть отнесены к одной из двух категорий – активным или пассивным. Первые образуются вследствие сводообразования и сопутствующего «растрескивания» литосферы (здесь сводообразование – следствие апвеллинга астеносферы или роста мантийных плюмов). Вторые формируются благодаря стрессу, связанному с движением литосферных плит или процессам волочения в подошве литосферы. Активные рифты характеризуются присутствием значительных объемов вулканических пород, тогда как в пассивных объем незрелых обломочных пород больше объема вулканитов. Образование рифтов в пределах кратонов (пример таких структур – рифты Восточной Африки) обычно ассоциирует с крупными сводообразными поднятиями, хотя время возникновения последних и эпохи рифтообразования не всегда совмещены.

К активным рифтам принадлежат срединно-океанические хребты, континентальные рифты и авлакогены, а также рифты в задуговых бассейнах. Пас-

сивные рифты образуются вдоль нарушенных разломами/испытывших воздействие процессов рифтогенеза континентальных окраин, в зонах континентальной коллизии и в островодужных системах. Примерами первых являются рифты, ассоциирующие с разломом Сан-Андреас в Калифорнии и рифты на западе Турции, связанные с Анатолийским трансформным разломом. Рейнский грабен можно рассматривать как структуру, образованную под крутым углом к коллизионной границе. Коллизия Тибета и Индии вызвала появление Байкальского рифта и рифтовых структур Китая.

Океанические рифты ассоциируют в основном с офиолитами. Рифты в островодужных обстановках выполнены вулканитами и граувакками, а крупные задуговые бассейны характеризуются смешанными ассоциациями, включающими офиолиты и глубоководные осадки, граувакки и кратонные/терригенные осадки. Континентальные рифты характеризуются осадочным выполнением, представленным незрелым терригенным обломочным материалом (аркозовыми и полевошпатовыми песчаниками и конгломератами, образованными в результате размыва быстро растущих тектонических блоков, в которых преобладают гранитоиды; во многих рифтах велика роль эвапоритов. Развивающиеся в морских обстановках рифты могут быть выполнены морскими песчаниками, глинистыми и карбонатными породами) и продуктами бимодального вулканизма [Condie, 1997].

Со ссылками на работы Е.Е. Милановского А.К. Худолеем [2004, с. 8] специально подчеркнуто, что «рифтогенез может проявляться едва ли не в любой тектонической обстановке...». По представлениям названного автора, накопление осадочных толщ в рифтовых зонах континентов контролируется в значительной степени двумя особенностями. Во-первых, оно происходит в отдельных изолированных бассейнах/суббассейнах, размеры которых составляют первые сотни километров в длину и порядка 40–60 км в ширину. Морфология указанных структур весьма разнообразна – среди них присутствуют и близкие к симметричным ступенчатые грабены, и ограниченные с одной из сторон крупным сбросом асимметричные полуграбены. Во-вторых, процессы рифтогенеза сопровождаются активными поднятиями лежащих крыльев сбросов, что часто ведет к накоплению вблизи них мощных толщ грубозернистых пород. На сейсмических профилях в осадочном выполнении рифтов и грабенов часто хорошо выражена линзовидная или близкая к ней форма многих осадочных тел, а также наблюдаются пологие угловые несогласия.

Примечательно, что различия в строении осадочного выполнения между отдельными грабенами в пределах единой рифтовой системы может быть более существенным, чем между удаленными друг от друга рифтами разного генезиса. Ссылаясь на публикации [Ingersoll et al., 1990; Garzanti et al., 2001], А.К. Худoley [2004, с. 30, 31] отмечает, что «детальный анализ песчаников и конгломератов рифтов Рио-Гранде и Красного моря показывает исключительно высокую изменчивость состава обломочной фракции, особенно в тех частях осадочного бассейна, где накапливаются продукты размыва рифтовых вулканитов. Накапливающиеся здесь терригенные породы на диагностических диаграммах перекрывают поля различных тектонических обстановок от стабильных кратонов до островных дуг и вулканоплутонических комплексов Тихоокеанского побережья Северной Америки... Это... приводит к тому, что исследователи, изучавшие различные рифтовые системы, по-разному выделяют ста-

дии развития рифтового бассейна осадконакопления с соответствующим набором типовых формаций. В результате, в отличие от схемы магматической эволюции рифтов, большинство авторов<sup>5</sup> даже не пытаются привести сколь-либо детальную схему их осадочной эволюции, которую можно было бы применить при изучении древних рифтов».

Традиционно к типичным для рифтов осадочным комплексам относят грубозернистые терригенные континентальные образования (флювиальные, плай-евые, маршевые и озерные), а также эвапориты. В осадочном выполнении грабен-ов и рифтов часто можно видеть также глубоководные черные глины, накапливающиеся в озерах с некомпенсированным осадконакоплением. Таким образом, в поперечном и продольном направлении для осадочного выполнения рифтовых комплексов характерна значительная фациальная изменчивость. Наряду с тектоническим фактором, по мнению большинства специалистов, на состав синрифтовых осадочных толщ заметное влияние может оказывать и климат. Наиболее сильно он может воздействовать на накопление осадков в конце рифтовой, начале пострифтовой стадий развития рифтовых систем.

Рассматривая общие особенности формирования осадочного выполнения рифтовых структур, А.К. Худолей отмечает, что в соответствии с представлениями многих авторов, рифтам свойственно увеличение грубозернистости отложений вверх по разрезу. Однако этой точки зрения придерживаются не все специалисты. Так, в публикации [Robertson, 1994] приведены аргументы в пользу того, что «увеличение грубозернистости терригенных толщ вверх по разрезу может присутствовать во внутриконтинентальных рифтах и, в случае активизации поступления терригенного материала, в окраинных и некомпенсированных отмерших рифтах. Уменьшение же грубозернистости и смена терригенных отложений карбонатами вверх по разрезу типичны для компенсированных отмерших рифтов и могут наблюдаться в окраинных и некомпенсированных отмерших рифтах, а склоновые фации, включая сравнительно глубоководные отложения, могут присутствовать почти во всех рифтах, за исключением чисто континентальных обстановок» [Худолей, 2004, с. 34]. Эти взгляды справедливы для рифтовых систем восточной части Тетиса, Центральной, Западной и Северной Африки, Красноморского региона, Восточной Гренландии, Шотландии и Северного моря. Резюмируя сказанное, А.К. Худолей указывает: «создается впечатление, что увеличение грубозернистости вверх по разрезу более типично как для древних, так и для современных рифтов, развитие которых не достигло стадии формирования океанического бассейна. Уменьшение же грубозернистости вверх по разрезу более свойственно рифтам, пространственно или генетически связанным с образованием Атлантического океана или Тетиса».

Авторы публикации [Davison, Underhill, 2012 и ссылки в этой работе] также придерживаются мнения, что тектонически обусловленное погружение является основным фактором, контролирующим геометрию и общий характер синрифтового осадочного выполнения. Однако на ранних стадиях эволю-

---

<sup>5</sup> Здесь А.К. Худолеем дается ссылка на такие известные работы по строению и эволюции различных рифтовых систем, как [Милановский, 1983; Николаев, 1986; Грачев, 1987; Казьмин, 1987; Ingersoll et al., 1990; Ziegler, 1992; Гарецкий, 1995; Leeder, 1995; Абрамович и др., 1997; Никишин и др., 1999; Ziegler, Cloething, 2004].

ции мелководно-морских рифтов важную роль могут играть и гляциоэвстатические вариации уровня моря. В некоторых бассейнах начальное погружение может быть весьма медленным (примерно 500 м/10 млн лет). Осадки этой стадии – параллельно-слоистые ассоциации, распространяющиеся более или менее равномерно по всему рифту. При возрастании скорости растяжения возникает несколько доминирующих разломов и образуются, как правило, крупные асимметричные полуграбены.

Многие континентальные рифты имеют сходное строение осадочного заполнения. Разрез начинается базальными преимущественно флювиальными отложениями, представленными в основном грубозернистыми обломочными породами, выше которых залегают глубоководные озерные осадки. Когда озера заполняются, накопление осадков перемещается в дельты и к береговым частям озер, а глубоководные озерные фации сменяются флювиальными отложениями. Такая последовательность отложений образуется в условиях относительно медленного растяжения, за которым следуют ускоренное проседание/опускание и формирование глубоких озер (главная стадия рифтообразования). Завершается все снижением скорости прогибания/опускания дна рифта и заполнением его осадками.

Когда погружение происходит быстрее накопления осадков, то на флексурных границах рифтов наблюдается сильное перекрытие стратиграфических подразделений. Если скорости погружения сопоставимы со скоростями накопления осадков, максимальные мощности различных стратиграфических единиц тяготеют к главному разлому/висячему блоку, ограничивающему грабен, а границы различных осадочных комплексов сходятся к флексурной границе. В рифтах, где скорость седиментации опережает скорость погружения, наблюдаются проградирующие клинья осадков, ориентированные вдоль оси рифта или перпендикулярно его бортам.

Вдоль эскарпов, выступающих на главной стадии рифтообразования основными источниками грубообломочного материала, формируются многочисленные аллювиальные конусы выноса. Они главным образом концентрируются в зонах шириной ~5 км; мощность слагающих их фангломератов и грубозернистых песков/песчаников может достигать 4 км [Steel, 1976; Magnavita, Da Silva, 1995]. В некоторых случаях, например в морских обстановках, когда борта рифтов погружены ниже уровня моря, такие полосы конусов выноса не формируются, так как для них нет достаточного количества кластики.

Нужно также иметь в виду, что во многих рифтовых системах эскарпы/основные разломы действуют как барьеры, препятствующие широкому разносу обломочного материала. Последний в таких ситуациях либо совсем не попадает в рядом расположенные полуграбены, либо транспортируется туда «обходными путями». В течение основной фазы в ряде рифтовых систем громадный объем грубообломочного материала направляется от флексурных границ к центрам полуграбенов, тогда как области рядом с эскарпами испытывают существенный дефицит осадочного материала, что ведет к образованию здесь озер.

Несмотря на то что тектоника является наиболее важным фактором контроля процессов осадконакопления в рифтах [Ravnas, Steel, 1998; и др.], климат также достаточно важен, хотя часто ему отводится второстепенная роль [Olsen, 1997; и др.]. Например, во многих озерных внутририфтовых отложе-

ниях присутствует мелкомасштабная цикличность, интерпретируемая как циклы Миланковича. На ранних стадиях рифтогенеза дренажные системы обычно имеют небольшую протяженность, а осадконакопление происходит в закрытых внутренних впадинах. В аридных регионах это часто приводит к тому, что испарение превышает объем выпадающих осадков. В результате в таких обстановках могут накапливаться и эвапориты.

Роль климата возрастает тогда, когда в рифтах доминируют озерные, флювиальные или эоловые обстановки. Значительный объем осадков в жарком климате может способствовать накоплению озерных карбонатных отложений, что контрастирует с преимущественно обломочной седиментацией в рифтах, расположенных в более холодном климате. Сухой климат также может содействовать появлению эвапоритовых бассейнов, особенно в случаях ограниченного проникновения в них морских вод. В соленых озерах, ассоциирующих с районами гидротермальной активности и зонами существенного изменения вулканических толщ, также могут формироваться толщи эвапоритов мощностью в несколько сотен метров [Davison, Underhill, 2012].

Процессам осадконакопления в рифтовых бассейнах была посвящена и увидевшая свет в 1994 г. монография [Маслов, 1994а]. В ней на большом литературном материале показано, что практически для всех кайнозойских рифтовых зон различных геодинамических типов (Байкальского рифта, Рейнского грабена, Восточно-Африканской рифтовой системы, Северного Афара, Красного моря и Аденского рифта, Провинции Бассейнов и Хребтов) характерно, с той или иной степенью отчетливости, двучленное строение осадочного и вулканогенно-осадочного выполнения. Формирование наиболее ранних осадочных ассоциаций происходило в этих структурах в обширных пологих мелководных и «сверхмелководных» впадинах, в условиях компенсированного осадконакопления и геоморфологически не выраженных или выраженных слабо бортов рифтовых впадин. Области сноса в эти эпохи характеризовались незначительной расчлененностью рельефа. Латеральные фациальные переходы в отложениях первой стадии выражены неотчетливо; для ряда суббассейнов грабенового типа в течение всей стадии типична неравномерность осадконакопления как в продольном, так и поперечном сечениях. Иногда на ранних стадиях обособляются отдельные части структуры, разделенные своеобразными «порогами», которые сохраняются в течении всей эволюции рифта. В случае рифтовых зон с активным вулканизмом образованию собственно грабеновых бассейнов предшествует появление обширных сводовых поднятий; в центральных их частях перед накоплением вулканических последовательностей формируются маломощные толщи и пачки осадков ранних седиментационных бассейнов. Размеры этих бассейнов, по всей видимости, превосходили размеры зон осадконакопления главных стадий развития рифтовых систем. Как уже отмечалось, накопление осадков на ранней стадии происходит достаточно однообразно (и более или менее равномерно) на всей площади бассейнов, характеризуясь плащеобразным обликом. Иногда в конце (?) ранней стадии внутри рифта формируются более мелкие эшелонированные суббассейны. Форма их близка к полуграбенам, полярность (положение зон главных разломов, областей максимальных мощностей осадочных образований и развития наиболее грубообломочных ассоциаций и др.) по простиранию рифтов неоднократно меняется на противоположную.

Вторая стадия развития рифтовых зон характеризуется двумя параллельно идущими процессами – поднятием бортов (часто неравномерным как во времени, так и по простиранию зон) и проседанием днищ грабен. Осадконакопление имеет мозаичный, прерывистый, некомпенсированный характер и концентрируется в целом на меньших, чем прежде, площадях; формируются, особенно в прибортовых зонах, значительные по мощности, грубообломочные образования. Если для первой стадии были характерны в основном тонкозернистые озерные и плайево-озерные осадки при подчиненной роли относительно грубого аллювия, то позднее шире и ярче выражены дельтовые, обвальнопольные и аллювиальные образования, а также фангломераты. Борты грабен и рифтов ограничены на этой стадии отчетливо выраженными эскарпами, системами «лестничных» разломов, оперяющими зоны листрических срывов и т. п. тектоническими элементами, что приводит, в условиях сильно расчлененного рельефа и значительных перепадов высот, к интенсивному сносу грубообломочного материала внутрь рифта. Преобладающая часть этого материала сгруживается в аллювиальных конусах выноса вдоль бортов; некоторое количество задерживается в локальных ловушках на плечах грабена. Типичные для ранней стадии полуграбены и другие асимметричные бассейны преобразуются в более узкие и симметричные структуры.

К сожалению, в указанных ранее и многих других работах нет сведений о валовом химическом составе синрифтовых псаммитов и глинистых пород. Связано это в основном с тем, что и в середине 1970-х гг., и позднее такая информация, в отличие от сведений по химическому составу магматических образований, не считалась в какой-либо степени важной для анализа процессов формирования осадочного выполнения рифтовых структур. Подобные данные стали появляться значительно позднее, и настоящая монография, как и предшествующие публикации авторов, основанная на рассмотрении валового химического состава синрифтовых песчаников и ассоциирующих с ними глинистых пород, посвящена в какой-то мере заполнению указанного пробела.

Более того, нам представляется, что анализ данных по валовому химическому составу как синрифтовых песчаников, так и глинистых пород дает возможность тем или иным образом определиться с проблемой выбора максимально информативных для палеогеодинамических реконструкций объектов исследования, поскольку песчаники рифтовых зон образованы, как правило, за счет локальных источников сноса, а тонкозернистые глинистые и алевритоглинистые образования отражают петрофонд более обширных территорий. Этот подход перекликается с исследованиями Р. Куллерса [Cullers, Stone, 1991; Cullers, 1994, 2000; и др.], показавшими, что минеральный и отчасти химический состав алевритов и тонкозернистых песков в большей степени отражает общий «набор пород» в областях размыва, чем средне- и крупнозернистые песчаники, тогда как большинство отношений «элемент/ $Al_2O_3$ » в тонкозернистых обломочных породах и песчаниках статистически сопоставимы [Cullers, 2000]. Хорошо известно также, что фигуративные точки глинистых пород и песчаников одних и тех же осадочных последовательностей на многих дискриминантных палеогеодинамических диаграммах имеют в той или иной степени различную локализацию [Sun et al., 2008; Tao et al., 2013; и др.].

Публикаций по классификации рифтовых структур/бассейнов, как и тех, что касаются принципиальных механизмов и моделей их формирования и эво-



люции, известно весьма много [Burke, Dewey, 1973; Dickinson, 1974; Милановский, 1976; McKenzie, 1978; Sengör, Burke, 1978; Klemme, 1980; Wernicke, 1981; Reading, 1982; Kingston et al., 1983; Morgan, Baker, 1983; Helwig, 1985; Keen, 1985; Mulugeta, 1985; Leeder, Gawthorpe, 1987; Rosendahl, 1987; Ingersoll, 1988, 2012; Buck, 1991; Самойлов, Ярмолюк, 1992; Continental rifts..., 1995; Friedmann, Burbank, 1995; Ingersoll, Busby, 1995; Leeder, 1995; Brun, 1999; Geoscience..., 1999; Gawthorpe, Leeder, 2000; Huisman et al., 2001; Merle, Michon, 2001; Perez-Gussinye, Reston, 2001; Merle, 2011; и др.]. В большинстве своем классификации рифтовых бассейнов являются частью общих классификаций седиментационных/осадочных бассейнов. Наиболее приемлемой для целей наших исследований представляется систематика рифтов/рифтовых бассейнов Дж. Шенгёра [Sengör, 1995; Sengör, Natal'in, 2001; и др.] (рис. 2.1), так как ее принципиальным моментом выступает *положение о том, что рифты формируются на всех стадиях цикла Уилсона*.

Эта классификация сочетает как геометрический и кинематический, так и динамический подходы. В рамках первого выделяются отдельные небольшие рифты, рифтовые звезды, рифтовые цепочки, рифтовые кластеры и рифтовые сети. В основу кинематической составляющей положены характеристики границ плит, а также общие особенности перемещений и напряжений. Здесь выделяется ряд соподчиненных категорий, к наиболее крупным из которых относятся внутриплитные рифты (категория k1), рифты на дивергентных (k2), консервативных (k3) и конвергентных границах плит (k4), а также тройные сочленения рифтов (k5). В свою очередь, рифты на дивергентных

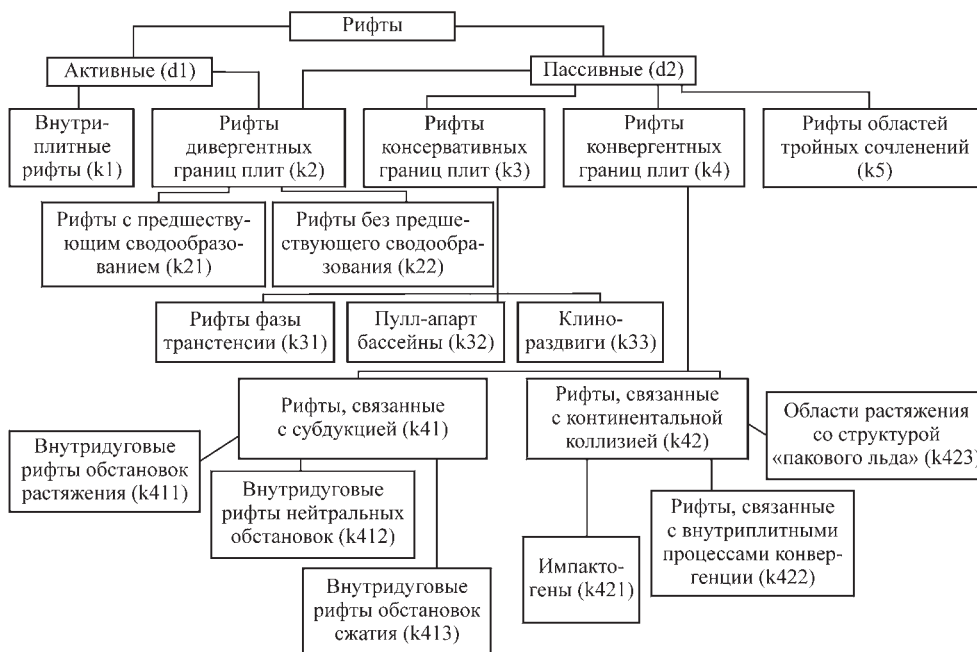


Рис. 2.1. Классификация рифтов Дж. Шенгёра [Sengör, 1995; Sengör, Natal'in, 2001]

границах плит включают структуры, образованные вследствие сводообразования (k21, рифтовые долины Восточной Африки), и те, что не связаны с предрифтовым сводообразованием (k22, трог Salton, Южная Калифорния). Рифты на консервативных границах плит объединяют структуры, сформированные в трансенсивных обстановках (k31), пулл-апарт бассейны (k32) и клинораздвижки (k33). Рифты на конвергентных границах ассоциируют с зонами либо субдукции (k41), либо континентальной коллизии (k42). Первые включают рифты, связанные с вулканическими дугами, испытывающими растяжение (k411, трог Окинава, Идзу-Бонинская дуга), рифты «нейтральных» дуг (k412) и рифты, связанные с дугами, находящимися на стадии сжатия (k413). К рифтам, связанным с зонами континентальной коллизии, принадлежат импактогены (k421, Верхнерейнский грабен, рифты Осло и Викинг), структуры, образованные во внутриконтинентальных поясах столкновения (k422), и зоны деформаций, внешне напоминающие поверхность паковых льдов (k423, регион Эгейского моря, запад Анатолийского плоскогорья) [Sengör, Natal'in, 2001]. Динамический подход учитывает процессы, определяющие формирование рифтов. Наиболее крупные подразделения – рифты активного типа/«связанные с плюмами» (d1) и пассивного типа/«связанные с границами плит» (d2). В последней ситуации могут формироваться структуры, принадлежащие категориям k22, k31, k32, k33, k411, k412, k413, k421, k422, k423 и k5 [Sengör, Natal'in, 2001].

---

### 3. СИТУАЦИЯ 1 – СИНРИФТОВЫЕ ПЕСЧАНИКИ: ВАЛОВЫЙ ХИМИЧЕСКИЙ СОСТАВ И ПОЛОЖЕНИЕ НА ДИСКРИМИНАНТНЫХ ПАЛЕОГЕОДИНАМИЧЕСКИХ ДИАГРАММАХ

---

Настоящая глава посвящена анализу положения полей составов синрифтовых песчаников на таких широко применяемых при региональных палеогеодинамических исследованиях дискриминантных диаграммах, как  $K_2O/Na_2O-SiO_2/Al_2O_3$  [Maynard et al., 1982], F3–F4<sup>6</sup> [Bhatia, Crook, 1986],  $SiO_2-K_2O/Na_2O$  [Roser, Korsch, 1986] и DF1–DF2 [Verma, Armstrong-Altrin, 2013]. Известно [Ingersoll et al., 1990; Garzanti et al., 2001], что песчаники рифтовых зон образованы, как правило, за счет локальных источников сноса и характеризуются существенными вариациями петрографического состава. Весьма быстро происходит в таких обстановках и изменение комплексов пород в областях размыва. Например, для мезопротерозойской рифтовой зоны Мидконтинента (США) установлена смена на протяжении ~40–50 млн лет состава палеоводосборов – от соотношения «основные : кислые породы» 80–90 : 10–20 в начале формирования ее осадочного заполнения до 10–20 : 80–100 в конце [Cullers, Berendsen, 1998]. Понять, насколько и как отражается это на упомянутых диаграммах, – также одна из задач исследований, если не настоящих, то будущих.

#### 3.1. Материал и подходы к его анализу

На первом этапе исследований нами собран банк оригинальных и литературных данных о валовом химическом составе (основные породобразующие оксиды, редкие и рассеянные элементы) песчаников и глинистых пород более чем 30 осадочных последовательностей разного возраста, накопившихся в раз-

---

<sup>6</sup> F3 = 0.303 – 0.0447 × SiO<sub>2</sub> – 0.972 × TiO<sub>2</sub> + 0.008 × Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> – 0.267 × Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> + 0.208 × FeO – 3.082 × MnO + 0.14 × MgO + 0.195 × CaO + 0.719 × Na<sub>2</sub>O – 0.032 × K<sub>2</sub>O + 7.51 × P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, F4 = 43.57 – 0.421 × SiO<sub>2</sub> + 1.988 × TiO<sub>2</sub> – 0.526 × Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> – 0.551 × Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> – 1.61 × FeO + 2.72 × MnO + 0.881 × MgO – 0.907 × CaO – 0.177 × Na<sub>2</sub>O – 1.84 × K<sub>2</sub>O + 7.244 × P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>.

личных типах рифтовых структур. К сожалению, не во всех работах авторы рассматривают одновременно данные и по песчаникам, и по глинистым породам. В связи с этим в настоящей главе проанализированы только материалы по химическому составу песчаников (учтено ~380 полных химических анализов, табл. 3.1), представляющих интракратонные рифты<sup>7</sup>, рифты, сформированные на разных этапах распада суперконтинентов Коламбия и Гондвана, задуговые рифты и рифты, образование которых происходило на завершающих стадиях орогенных циклов (рис. 3.1).

К их числу относятся псаммиты неопротерозойской серии Uinta Mountain (объект 2, Юта, США) [Condie et al., 2001], песчаники меловой формации Omdurman Бассейна Khartoum (объект 5, Центральный Судан) [Elzien et al., 2014], алюмосиликокластические образования Бассейна Kalahari (Okavango Delta sediments), Восточно-Африканской рифтовой зоны (объект 19, Северо-Западная Ботсвана) [Huntsman-Maripá et al., 2005], отложения нижней части надсерии Vindhyan (объект 29, Юго-Восточный Раджастан, Индия) [Raza et al., 2010], песчаники пермской формации Malužiná (объект 33, Малые Карпаты, Словакия) [Vdačný et al., 2013], нижнемиоценовой формации Nukhul рифта Суэцкого залива (объект 35, Центральный Синай, Египет) [Zaid, 2013], уйской серии неопротерозоя Учуро-Майского региона (объект 36, Юго-Восточная Сибирь) [Khudoley et al., 2001; Cullers, Podkovurov, 2002], мезонеопротерозойской серии Banxi (объект 37, блок Yangtze, Южный Китай) [Deru et al., 2007], псаммиты верхнемеловой формации Sillakkudi Бассейна Cauvery (объект 44, Южная Индия) [Bakkiaraj et al., 2010], мезопротерозойской надсерии Belt-Purcell (объект 51, запад США) [González-Álvarez, 2005], серий Oronto и Bayfield верхов мезопротерозоя рифтовой области Мидконтинента (объект 52, район Великих озер, США) [Cullers, Berendsen, 1998], айской и машакской свит, а также аршинской серии верхнего докембрия Южного Урала (объекты соответственно 53, 54 и 55) [Маслов, Гареев, 1994, 1996; Маслов и др., 2010, 2012а, 2018г; и др.] (рис. 3.2).

Валовый химический состав индивидуальных образцов песчаников (как и глинистых сланцев, см. далее) каждого из перечисленных объектов приведен в приложении. Мы старались ограничиться только анализами с величиной потерь при прокаливании менее 5 мас. %, однако в ряде случаев сделать это оказалось невозможным.

На *втором этапе* исследований проанализировано: 1) положение полей составов синрифтовых песчаников на классификационной диаграмме  $\log(\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3) - \log(\text{Na}_2\text{O}/\text{K}_2\text{O})$  [Петтиджон и др., 1976] и диаграмме F1–F2<sup>8</sup> [Bhatia, 1983; Bhatia, Crook, 1986], дающей представление о возможном составе комплексов пород-источников обломочного материала; 2) положение полей составов песчаников перечисленных объектов, а также средних значений некоторых индикаторных отношений и функций, используемых при построении

<sup>7</sup> При отнесении рифтогенных структур к тем или иным категориям их систематики, предложенной в работах Дж. Шенгёра, мы опираемся на представления исследовавших их авторов, хотя могут существовать и иные точки зрения.

<sup>8</sup>  $F1 = 30.638\text{TiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3 - 12.541\text{Fe}_2\text{O}_3^*/\text{Al}_2\text{O}_3 + 7.329\text{MgO}/\text{Al}_2\text{O}_3 + 12.031\text{Na}_2\text{O}/\text{Al}_2\text{O}_3 + 35.402\text{K}_2\text{O}/\text{Al}_2\text{O}_3 - 6.382$ ,  $F2 = 56.5\text{TiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3 - 10.879\text{Fe}_2\text{O}_3^*/\text{Al}_2\text{O}_3 + 30.875\text{MgO}/\text{Al}_2\text{O}_3 - 5.404\text{Na}_2\text{O}/\text{Al}_2\text{O}_3 + 11.112\text{K}_2\text{O}/\text{Al}_2\text{O}_3 - 3.89$ .

Таблица 3.1

**Средние, минимальные и максимальные содержания породообразующих оксидов в синрифтовых песчаниках и глинистых породах различных объектов**

Компонент, мас. %, параметр	Отложения Бассейна Луанг (объект 1)		Серия Ujnta Mountain (объект 2)		Формация Omdurman (объект 5)		Формация Serpent (объект 8)		Отложения Бассейна Kalaahai (объект 19)		
	Песчанники	Глинистые породы	Песчанники	Глинистые породы	Песчанники	Глинистые породы	Песчанники	Глинистые породы	Песчанники	Глинистые породы	
SiO <sub>2</sub>	<u>71.01 ± 3.50</u> 65.14–75.93	<u>64.45 ± 3.40</u> 59.10–71.66	<u>89.66 ± 7.46</u> 75.11–99.14	<u>64.79 ± 5.00</u> 57.54–73.20	<u>86.49 ± 8.06</u> 71.45–94.99	<u>62.21 ± 5.63</u> 51.15–73.30	<u>81.36 ± 7.02</u> 67.97–90.60	<u>62.21 ± 5.63</u> 51.15–73.30	<u>92.12 ± 5.93</u> 76.75–99.04		
TiO <sub>2</sub>	<u>0.49 ± 0.15</u> 0.24–0.77	<u>0.83 ± 0.13</u> 0.56–1.05	<u>0.14 ± 0.12</u> 0.04–0.37	<u>0.92 ± 0.07</u> 0.77–1.00	<u>0.01 ± 0.01</u> 0.004–0.020	<u>0.58 ± 0.13</u> 0.32–0.79	<u>0.15 ± 0.11</u> 0.04–0.38	<u>0.58 ± 0.13</u> 0.32–0.79	<u>0.79 ± 1.51</u> 0.02–6.91		
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	<u>14.24 ± 1.34</u> 12.21–17.10	<u>16.89 ± 1.70</u> 13.08–19.96	<u>4.45 ± 3.67</u> 0.55–10.91	<u>18.52 ± 2.87</u> 14.41–22.38	<u>5.44 ± 1.71</u> 3.23–8.92	<u>18.21 ± 3.34</u> 12.60–27.02	<u>8.58 ± 3.64</u> 4.16–16.08	<u>18.21 ± 3.34</u> 12.60–27.02	<u>2.05 ± 2.96</u> 0.03–11.76		
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> *	<u>4.27 ± 1.41</u> 1.98–6.54	<u>5.89 ± 1.25</u> 3.34–8.68	<u>1.97 ± 3.15</u> 0.05–12.37	<u>5.16 ± 1.50</u> 2.93–7.66	<u>6.98 ± 7.88</u> 0.52–22.14	<u>4.70 ± 2.36</u> 1.77–11.96	<u>1.31 ± 1.04</u> 0.37–3.65	<u>4.70 ± 2.36</u> 1.77–11.96	<u>0.92 ± 0.72</u> 0.14–2.43		
MgO	<u>0.82 ± 0.28</u> 0.53–1.24	<u>1.37 ± 0.30</u> 0.83–1.99	<u>0.32 ± 0.28</u> 0.04–0.97	<u>1.48 ± 0.64</u> 0.89–2.87	<u>0.10 ± 0.14</u> 0.01–0.41	<u>2.60 ± 0.99</u> 1.34–4.93	<u>0.82 ± 0.56</u> 0.34–2.38	<u>2.60 ± 0.99</u> 1.34–4.93	<u>0.35 ± 0.40</u> 0.03–1.52		
CaO	<u>0.66 ± 0.16</u> 0.54–1.14	<u>0.89 ± 0.59</u> 0.45–3.14	<u>0.08 ± 0.08</u> 0.01–0.28	<u>0.12 ± 0.05</u> 0.02–0.21	<u>0.55 ± 0.63</u> 0.008–1.92	<u>0.54 ± 0.59</u> 0.003–2.44	<u>0.89 ± 1.45</u> 0.05–4.23	<u>0.54 ± 0.59</u> 0.003–2.44	<u>0.54 ± 0.94</u> 0.01–3.53		
Na <sub>2</sub> O	<u>2.22 ± 0.27</u> 1.68–2.64	<u>1.95 ± 0.27</u> 1.45–2.90	<u>1.03 ± 1.25</u> 0.02–3.29	<u>0.50 ± 0.52</u> 0.07–1.44	<u>0.06 ± 0.07</u> 0.02–0.24	<u>2.25 ± 1.21</u> 0.27–4.65	<u>1.95 ± 0.98</u> 0.77–4.21	<u>2.25 ± 1.21</u> 0.27–4.65	<u>0.10 ± 0.07</u> 0.02–0.38		
K <sub>2</sub> O	<u>3.03 ± 0.31</u> 2.62–3.49	<u>2.60 ± 0.32</u> 1.48–3.08	<u>1.53 ± 1.21</u> 0.15–3.61	<u>4.13 ± 1.00</u> 2.81–6.21	<u>0.07 ± 0.03</u> 0.04–0.12	<u>6.07 ± 2.09</u> 3.27–11.21	<u>2.99 ± 1.14</u> 1.67–5.85	<u>6.07 ± 2.09</u> 3.27–11.21	<u>0.37 ± 0.27</u> 0.09–1.14		
MnO	<u>0.04 ± 0.03</u> 0.01–0.11	<u>0.04 ± 0.04</u> 0.01–0.24	<u>0.01 ± 0.03</u> 0.01–0.13	<u>0.02 ± 0.02</u> 0.01–0.07	<u>0.32 ± 0.72</u> 0.02–2.11	<u>0.04 ± 0.03</u> 0.01–0.10	<u>0.02 ± 0.02</u> 0.002–0.05	<u>0.04 ± 0.03</u> 0.01–0.10	<u>0.010 ± 0.006</u> 0.01–0.03		
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	<u>0.04 ± 0.03</u> 0.003–0.090	<u>0.10 ± 0.16</u> 0.01–0.86	<u>0.03 ± 0.02</u> 0.02–0.11	<u>0.07 ± 0.03</u> 0.05–0.11	<u>0.02 ± 0.01</u> 0.01–0.03	<u>0.18 ± 0.04</u> 0.10–0.28	<u>0.07 ± 0.02</u> 0.03–0.10	<u>0.18 ± 0.04</u> 0.10–0.28	<u>0.01 ± 0.01</u> 0.006–0.030		
ППП	<u>3.40 ± 0.70</u> 2.36–4.80	<u>5.14 ± 0.74</u> 3.39–6.00	<u>0.84 ± 0.88</u> 0.15–3.61	<u>4.12 ± 1.35</u> 0.71–5.86	–	<u>2.48 ± 0.87</u> 1.10–4.49	<u>1.33 ± 1.11</u> 0.20–3.49	<u>2.48 ± 0.87</u> 1.10–4.49	<u>2.42 ± 1.73</u> 0.66–5.86		
n	12	35	17	12	8	12	12	18	27		

Компонент, мас. %, параметр	Отложения нижней части надсерии Vindhuun (объект 29)		Формация Maluzina (объект 33)		Формация Nukhul (объект 35)		Уйская серия (объект 36)	
	Песчаники	Песчаники	Песчаники	Песчаники	Песчаники	Песчаники	Песчаники	Глинистые породы
SiO <sub>2</sub>	<u>91.83 ± 5.01</u> 76.57–97.20	<u>76.11 ± 4.33</u> 67.83–85.03	<u>79.32 ± 5.64</u> 70.05–90.10	<u>78.41 ± 11.04</u> 62.42–98.10	<u>62.12 ± 3.77</u> 52.48–67.00			
TiO <sub>2</sub>	<u>0.13 ± 0.11</u> 0.03–0.38	<u>0.32 ± 0.16</u> 0.05–0.63	<u>0.68 ± 0.58</u> 0.06–1.99	<u>0.52 ± 0.38</u> 0.03–1.34	<u>1.03 ± 0.14</u> 0.77–1.41			
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	<u>3.54 ± 2.44</u> 0.75–9.20	<u>11.99 ± 1.78</u> 7.88–14.98	<u>6.05 ± 3.98</u> 0.97–11.16	<u>8.78 ± 4.92</u> 0.43–17.86	<u>17.17 ± 1.27</u> 15.73–20.46			
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> *	<u>1.27 ± 1.53</u> 0.02–4.06	<u>2.13 ± 0.77</u> 0.61–3.66	<u>3.91 ± 1.51</u> 1.08–5.42	<u>3.67 ± 2.56</u> 0.23–10.47	<u>6.28 ± 2.10</u> 3.48–10.00			
MgO	<u>0.26 ± 0.30</u> 0.02–1.18	<u>0.76 ± 0.42</u> 0.08–1.80	<u>2.16 ± 1.87</u> 0.49–5.80	<u>1.54 ± 1.05</u> 0.10–4.46	<u>2.14 ± 0.57</u> 1.21–2.89			
CaO	<u>0.13 ± 0.09</u> 0.06–0.42	<u>1.11 ± 0.93</u> 0.09–3.30	<u>0.85 ± 0.70</u> 0.13–2.11	<u>0.92 ± 0.90</u> 0.03–3.22	<u>0.47 ± 0.31</u> 0.07–0.96			
Na <sub>2</sub> O	<u>0.11 ± 0.09</u> 0.02–0.39	<u>4.09 ± 0.93</u> 1.73–5.66	<u>1.22 ± 0.67</u> 0.06–1.98	<u>1.55 ± 1.10</u> 0.01–3.22	<u>1.63 ± 0.45</u> 1.00–2.67			
K <sub>2</sub> O	<u>1.01 ± 1.77</u> 0.02–6.31	<u>1.17 ± 0.47</u> 0.41–2.12	<u>2.17 ± 1.10</u> 0.12–3.91	<u>1.90 ± 1.35</u> 0.05–4.71	<u>4.26 ± 0.55</u> 3.02–4.98			
MnO	<u>0.03 ± 0.02</u> 0.01–0.11	<u>0.04 ± 0.02</u> 0.01–0.09	<u>0.07 ± 0.04</u> 0.01–0.15	<u>0.06 ± 0.06</u> 0.01–0.24	<u>0.05 ± 0.03</u> 0.01–0.10			
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	<u>0.03 ± 0.02</u> 0.01–0.07	<u>0.08 ± 0.03</u> 0.03–0.16	<u>0.09 ± 0.04</u> 0.03–0.13	<u>0.19 ± 0.16</u> 0.02–0.48	<u>0.21 ± 0.18</u> 0.03–0.60			
ППП	–	<u>2.04 ± 1.01</u> 0.50–4.80	<u>3.38 ± 1.23</u> 2.05–5.11	<u>2.02 ± 1.29</u> 0.25–4.50	<u>4.09 ± 0.86</u> 2.10–4.95			
n	15	25	11	30	15			

Продолжение табл. 3.1

Компонент, мас. %, параметр	Серия Вахі (объект 37)		Формация Gamble Brook (объект 38)		Отложения Бассейна Satpura (объект 39)		Формация Sillakkudi (объект 44)		Формация Tіnu (объект 47)	
	Песчаники	Глинистые породы	Песчаники	Глинистые породы	Песчаники	Глинистые породы	Песчаники	Глинистые породы	Песчаники	Глинистые породы <sup>#</sup>
SiO <sub>2</sub>	72.34 ± 2.87 68.00–75.84	67.22 ± 3.20 61.84–70.47	79.63 ± 13.50 67.07–96.19	60.25 ± 10.50 49.29–70.23	81.47 ± 7.02 65.10–95.55	59.66 ± 2.55 53.41–63.23	74.90 ± 10.60 60.41–90.46	65.69 ± 3.01 61.91–69.49		
TiO <sub>2</sub>	0.71 ± 0.09 0.53–0.84	0.83 ± 0.07 0.74–0.94	0.40 ± 0.32 0.08–0.88	0.92 ± 0.43 0.42–1.18	0.37 ± 0.19 0.08–0.80	0.76 ± 0.10 0.66–0.98	1.15 ± 0.17 0.91–1.41	1.16 ± 0.17 0.97–1.39		
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	12.93 ± 1.22 10.67–14.95	17.31 ± 1.92 15.18–20.60	9.57 ± 5.90 2.62–14.90	14.22 ± 4.59 8.92–16.93	9.56 ± 3.81 2.73–17.52	18.04 ± 3.36 14.08–25.33	4.49 ± 2.85 0.76–9.89	18.51 ± 3.26 15.84–22.29		
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> *	6.58 ± 1.35 5.10–9.19	7.51 ± 1.94 6.35–8.82	3.65 ± 3.31 0.51–9.02	6.58 ± 4.06 2.00–9.75	2.25 ± 1.50 0.06–7.71	6.13 ± 2.13 1.57–9.98	4.64 ± 5.05 0.08–14.93	8.05 ± 2.10 5.29–10.78		
MgO	1.52 ± 0.70 0.12–2.65	2.05 ± 0.31 1.58–2.51	1.02 ± 0.77 0.13–2.15	5.25 ± 2.72 2.20–7.45	0.65 ± 0.58 0.02–2.36	2.32 ± 1.01 0.56–3.61	0.17 ± 0.12 0.01–0.29	1.13 ± 0.25 0.79–1.45		
CaO	1.94 ± 1.91 0.25–5.96	0.61 ± 0.72 0.21–2.72	1.38 ± 1.17 0.14–2.63	6.04 ± 3.27 2.85–9.39	0.34 ± 0.22 0.07–1.17	1.06 ± 1.06 0.18–3.49	7.74 ± 5.56 0.70–13.70	0.47 ± 0.28 0.16–0.86		
Na <sub>2</sub> O	2.16 ± 0.86 1.36–3.95	1.34 ± 0.51 0.46–2.47	2.01 ± 1.38 0.67–3.58	2.84 ± 1.06 1.83–3.94	0.69 ± 0.94 0.05–3.22	0.69 ± 0.63 0.09–2.03	1.13 ± 1.31 0.01–3.80	0.06 ± 0.05 0.02–0.15		
K <sub>2</sub> O	1.92 ± 0.97 0.67–3.16	4.19 ± 0.72 2.84–5.41	2.08 ± 1.34 0.44–3.17	1.81 ± 0.91 0.84–2.65	1.94 ± 1.27 0.01–3.92	3.95 ± 0.78 2.34–4.87	1.82 ± 1.49 0.02–4.21	4.55 ± 1.14 3.19–5.93		
MnO	0.35 ± 0.26 0.12–0.79	0.13 ± 0.06 0.07–0.30	0.10 ± 0.14 0.002–0.34	0.15 ± 0.08 0.06–0.22	0.06 ± 0.04 0.01–0.19	0.09 ± 0.07 0.02–0.29	0.11 ± 0.23 0.07–0.81	0.04 ± 0.02 0.01–0.05		
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0.15 ± 0.02 0.11–0.17	0.14 ± 0.02 0.12–0.18	0.09 ± 0.05 0.02–0.14	0.15 ± 0.05 0.10–0.19	0.06 ± 0.05 0.01–0.25	0.09 ± 0.06 0.03–0.19	0.22 ± 0.10 0.11–0.39	0.31 ± 0.08 0.23–0.41		
ППП	–	–	0.68 ± 0.45 0.01–1.15	1.79 ± 1.47 0.49–3.38	2.99 ± 1.21 0.62–4.93	7.03 ± 0.99 5.24–8.14	3.86 ± 2.59 0.19–6.21	–		
n	8	11	5	3	30	11	13	5		

Компонент, мас. %, параметр	Надсерия Belt-Purcell (объект 51)		Серия Orono и Waufield (объект 52)		Айская свита (объект 53)		Машакская свита (объект 54)		Аршинская серия (объект 55)	
	Песчаники	Глинистые породы	Песчаники	Песчаники	Песчаники	Глинистые породы	Песчаники	Песчаники	Песчаники	Глинистые породы
SiO <sub>2</sub>	81.59 ± 8.87 68.30–97.50	63.28 ± 3.07 55.90–67.54	83.78 ± 8.91 65.10–97.10	78.47 ± 8.67 62.88–94.66	65.06 ± 2.36 59.38–70.00	85.54 ± 9.18 61.11–97.53	62.65 ± 4.69 53.79–72.75	80.90 ± 11.72 63.26–96.20		
TiO <sub>2</sub>	0.34 ± 0.21 0.02–0.67	0.63 ± 0.12 0.40–0.96	0.43 ± 0.34 0.05–1.07	0.38 ± 0.20 0.07–0.82	0.72 ± 0.15 0.45–1.12	0.40 ± 0.26 0.07–1.18	0.96 ± 0.25 0.58–1.62	0.41 ± 0.25 0.05–1.07		
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	8.69 ± 4.52 0.92–16.17	16.35 ± 2.45 10.11–19.69	6.47 ± 3.59 1.36–13.70	9.66 ± 3.70 2.04–16.46	16.20 ± 1.22 13.44–19.63	6.99 ± 5.71 0.66–23.45	19.00 ± 2.40 14.18–23.94	9.66 ± 6.03 1.74–17.89		
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> *	2.39 ± 1.44 0.16–5.07	5.79 ± 1.52 3.46–8.95	1.84 ± 2.09 0.10–7.97	2.26 ± 1.37 0.31–5.42	4.74 ± 1.44 1.42–7.61	3.52 ± 1.94 1.05–11.50	7.53 ± 2.28 1.83–12.17	3.20 ± 2.56 0.27–8.80		
MgO	1.44 ± 0.99 0.09–4.32	3.41 ± 1.76 1.12–7.73	0.96 ± 0.84 0.01–2.38	1.01 ± 1.06 0.01–5.44	2.31 ± 1.14 0.20–5.80	0.81 ± 0.74 0.001–3.82	2.08 ± 1.03 0.82–4.90	0.85 ± 0.98 0.08–3.51		
CaO	0.45 ± 0.43 0.02–1.76	1.03 ± 2.28 0.12–10.87	0.73 ± 1.21 0.02–3.83	0.67 ± 0.96 0.01–4.33	0.64 ± 0.53 0.11–2.52	0.29 ± 0.35 0.01–1.50	0.37 ± 0.31 0.06–1.20	0.25 ± 0.49 0.08–2.65		
Na <sub>2</sub> O	1.13 ± 0.79 0.01–2.62	1.36 ± 0.95 0.07–3.63	0.10 ± 0.05 0.01–0.19	1.25 ± 1.07 0.07–3.55	1.91 ± 0.66 0.47–4.05	0.14 ± 0.22 0.001–1.92	0.38 ± 0.33 0.07–1.27	1.23 ± 0.67 0.35–2.70		
K <sub>2</sub> O	2.23 ± 1.24 0.20–5.45	4.63 ± 1.38 1.12–7.89	2.99 ± 1.55 0.12–5.30	4.56 ± 1.93 0.50–8.85	4.97 ± 1.35 2.71–8.85	1.60 ± 1.54 0.04–6.76	4.69 ± 1.46 2.18–6.87	1.70 ± 1.42 0.07–3.99		
MnO	0.03 ± 0.04 0.002–0.180	0.07 ± 0.11 0.002–0.520	0.03 ± 0.02 0.01–0.09	0.02 ± 0.02 0.01–0.10	0.03 ± 0.02 0.01–0.08	0.02 ± 0.01 0.001–0.05	0.03 ± 0.02 0.01–0.11	0.02 ± 0.01 0.01–0.05		
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0.05 ± 0.04 0.003–0.150	0.09 ± 0.04 0.02–0.19	0.010 ± 0.004 0.002–0.018	0.12 ± 0.07 0.01–0.36	0.17 ± 0.07 0.03–0.31	0.06 ± 0.10 0.001–0.860	0.10 ± 0.05 0.01–0.20	0.12 ± 0.07 0.02–0.34		
ППП	1.67 ± 0.94 0.20–4.45	3.30 ± 0.73 2.05–4.75	2.12 ± 1.51 0.31–4.45	1.26 ± 1.07 0.10–4.90	3.25 ± 0.68 1.85–4.86	0.79 ± 0.73 0.02–2.59	2.74 ± 1.38 0.70–4.80	–		
n	38	22	16	64	54	85	30	27		



Компонент, мас. %, параметр	Отложения Бассейна Douala (объект 58)		Формация Nampingshui (объект 61)		Чинганская серия (объект 63)	
	Песчаники	Глинистые породы	Песчаники	Глинистые породы	Песчаники	Глинистые породы
SiO <sub>2</sub>	77.16 ± 6.18 67.30–84.10	62.7 ± 5.03 56.9–70.80	63.74 ± 3.99 58.79–71.82	60.06 ± 1.65 57.81–63.50	72.45 ± 7.52 57.50–83.60	60.89 ± 8.31 51.38–76.53
TiO <sub>2</sub>	0.57 ± 0.47 0.12–1.07	0.89 ± 0.22 0.62–1.21	0.69 ± 0.13 0.49–1.00	0.80 ± 0.07 0.65–0.90	0.96 ± 0.39 0.42–1.92	0.96 ± 0.34 0.11–1.22
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	11.38 ± 2.07 8.03–13.10	16.63 ± 1.82 14.9–19.4	14.94 ± 1.16 12.56–16.43	16.85 ± 0.74 15.31–18.64	13.63 ± 5.51 1.96–24.00	17.73 ± 4.76 13.00–28.40
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> *	2.70 ± 2.37 0.17–6.22	4.21 ± 2.38 1.75–7.52	5.35 ± 1.46 2.61–6.81	6.98 ± 0.72 5.69–7.97	5.38 ± 4.27 1.04–18.99	5.74 ± 4.01 1.66–13.01
MgO	0.31 ± 0.52 0.06–1.24	1.33 ± 0.45 0.81–1.87	2.58 ± 0.72 1.39–3.53	3.02 ± 0.35 2.33–3.52	0.59 ± 0.33 0.20–1.45	2.38 ± 2.08 0.41–5.47
CaO	0.36 ± 0.76 0.01–1.72	0.54 ± 0.67 0.04–1.71	2.61 ± 0.86 0.56–4.00	1.29 ± 0.65 0.64–2.92	0.35 ± 0.33 0.07–1.16	1.53 ± 1.89 0.08–4.52
Na <sub>2</sub> O	0.08 ± 0.05 0.03–0.14	0.11 ± 0.01 0.10–0.13	4.18 ± 0.82 3.17–6.30	2.68 ± 0.82 1.86–4.41	0.37 ± 0.24 0.09–0.88	0.30 ± 0.27 0.06–0.87
K <sub>2</sub> O	2.62 ± 2.44 0.13–5.83	6.95 ± 0.43 6.45–7.50	1.96 ± 0.42 1.37–2.86	2.97 ± 0.59 1.53–3.59	3.40 ± 1.56 0.55–6.06	4.01 ± 1.11 2.69–5.96
MnO	0.03 ± 0.03 0.01–0.07	0.03 ± 0.03 0.01–0.09	0.08 ± 0.03 0.03–0.12	0.05 ± 0.02 0.03–0.09	0.10 ± 0.17 0.01–0.72	0.05 ± 0.01 0.04–0.07
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0.08 ± 0.04 0.02–0.12	0.14 ± 0.04 0.10–0.21	0.25 ± 0.07 0.16–0.40	0.41 ± 0.48 0.18–2.19	0.06 ± 0.04 0.03–0.14	0.10 ± 0.06 0.05–0.22
ППП	4.78 ± 1.74 2.91–7.01	6.36 ± 1.29 4.37–7.77	3.78 ± 0.75 2.50–4.96	4.93 ± 0.76 3.56–5.99	2.34 ± 1.18 0.40–4.40	4.40 ± 0.96 3.08–5.61
n	5	5	12	16	21	9

Компонент, мас. %, параметр	Прикамская свита (объект 64)		Зигазино-комаровская свита (объект 65)		Авзянская свита (объект 66)	
	Песчаники	Глинистые породы	Песчаники	Глинистые породы	Песчаники	Глинистые породы
SiO <sub>2</sub>	88.43 ± 1.24 87.00-89.20	61.62 ± 2.33 58.39-65.09	80.58 ± 8.05 66.15-94.70	67.25 ± 3.22 63.00-74.50	89.43 ± 5.14 79.00-93.80	60.39 ± 2.79 56.18-65.00
TiO <sub>2</sub>	0.10 ± 0.04 0.07-0.14	0.64 ± 0.09 0.43-0.75	0.43 ± 0.25 0.07-1.12	0.78 ± 0.13 0.51-0.99	0.15 ± 0.08 0.06-0.27	0.92 ± 0.11 0.79-1.13
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	6.01 ± 0.88 5.04-6.78	17.43 ± 1.38 14.85-18.75	8.79 ± 4.07 2.15-18.37	15.08 ± 1.60 12.26-17.50	3.53 ± 1.32 2.32-6.00	17.89 ± 2.10 14.00-20.60
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> *	1.03 ± 0.20 0.86-1.25	5.83 ± 1.04 4.44-7.73	4.77 ± 3.91 0.66-14.29	5.52 ± 1.57 3.45-8.28	1.72 ± 1.22 0.48-3.64	6.06 ± 2.74 2.62-10.53
MgO	0.38 ± 0.23 0.22-0.55	2.58 ± 0.44 1.97-3.17	0.94 ± 0.78 0.10-3.42	2.65 ± 0.86 1.68-4.00	0.75 ± 1.00 0.20-2.98	3.63 ± 2.06 1.26-8.87
CaO	0.40 ± 0.26 0.21-0.70	0.30	0.28 ± 0.39 0.01-1.63	0.44 ± 0.12 0.20-0.56	0.87 ± 1.22 0.14-3.59	0.71 ± 0.44 0.30-1.53
Na <sub>2</sub> O	0.57 ± 0.12 0.50-0.70	0.64 ± 0.22 0.30-0.90	1.19 ± 0.83 0.01-2.87	1.64 ± 0.52 0.93-2.40	0.07 ± 0.03 0.04-0.11	0.89 ± 0.31 0.37-1.19
K <sub>2</sub> O	2.57 ± 0.49 2.16-3.11	6.99 ± 1.99 4.50-9.30	1.96 ± 1.09 0.06-4.41	3.82 ± 1.03 2.03-5.76	1.99 ± 1.36 0.02-4.23	5.09 ± 1.13 2.74-6.54
MnO	0.020 ± 0.001 0.02-0.02	0.03 ± 0.01 0.02-0.05	0.02 ± 0.02 0.001-0.06	0.03 ± 0.02 0.01-0.07	0.01 ± 0.01 0.001-0.040	0.03 ± 0.05 0.01-0.16
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0.07 ± 0.03 0.05-0.10	0.09 ± 0.01 0.06-0.10	0.04 ± 0.03 0.002-0.11	0.08 ± 0.04 0.02-0.13	0.02 ± 0.02 0.001-0.05	0.09 ± 0.04 0.04-0.16
ППП	0.83 ± 0.31 0.50-1.10	3.49 ± 0.79 2.30-4.90	1.88 ± 1.22 0.05-4.08	3.49 ± 0.50 2.88-4.38	1.34 ± 1.93 0.15-5.63	4.32 ± 0.54 3.40-4.85
n	3	11	25	12	7	10

Продолжение табл. 3.1

Компонент, мас. %, параметр	Алевропесчаные отложения ряда эрагем рифей и систем фанерозоя платформенного чехла Русской плиты (объект 67)										Сери Asu River и Cross River (объект 70)	Формации Bir Maghara и Safa (объект 74)
	Нижний рифей <sup>#</sup>	Средний рифей <sup>#</sup>	Кембрий <sup>#</sup>	Ордовик <sup>#</sup>	Силур <sup>#</sup>	Палеоген <sup>#</sup>	Неоген <sup>#</sup>	Четвертичный период <sup>#</sup>	Глинистые породы <sup>#</sup>	Глинистые породы <sup>#</sup>		
SiO <sub>2</sub>	73.32	81.06	77.10	69.06	66.58	79.05	80.02	80.06	60.26 ± 2.47 55.78–65.41	59.44 ± 6.95 41.65–69.68		
TiO <sub>2</sub>	0.59	0.50	0.30	0.11	0.15	0.49	0.41	0.45	1.11 ± 0.21 0.58–1.82	1.78 ± 0.56 0.50–2.70		
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	10.85	7.59	9.46	7.50	2.88	5.33	6.25	6.05	22.47 ± 3.27 15.49–32.41	24.50 ± 6.69 9.00–36.00		
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> *	3.53	3.49	4.32	3.84	3.51	2.91	2.08	2.14	8.34 ± 2.58 4.65–14.52	6.74 ± 4.07 2.42–18.70		
MgO	1.96	0.48	1.04	1.68	1.16	0.75	1.01	0.91	1.98 ± 0.56 0.47–2.66	1.23 ± 0.52 0.50–2.50		
CaO	1.48	1.59	1.51	7.40	12.51	2.83	2.58	3.13	0.99 ± 0.99 0.05–4.48	4.84 ± 6.43 0.40–23.00		
Na <sub>2</sub> O	0.77	0.63	0.46	0.39	0.53	0.40	0.59	0.50	1.06 ± 0.67 0.05–2.56	0.93 ± 0.35 0.10–1.90		
K <sub>2</sub> O	4.06	2.87	2.42	1.74	1.34	1.50	1.27	1.71	3.22 ± 0.80 1.20–4.44	1.09 ± 0.45 0.50–1.90		
MnO	0.05	0.05	0.08	0.06	0.03	0.06	0.04	0.03	0.06 ± 0.04 0.01–0.13	0.06 ± 0.03 0.03–0.15		
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0.10	0.32	0.10	1.95	0.15	0.09	0.05	0.08	0.50 ± 0.95 0.08–3.71	0.01		
шпг	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–		
n									20	24		

Компонент, мас. %, параметр	Отложения Бассейна Congo (объект 76)	Отложения Японского моря (объект 77)	Отложения Бассейна Olfete (объект 78)	Отложения Бассейна Krichina-Godavari (объект 79)	Верхний триас-нижняя гора Южной Италии (объект 81)
	Глинистые породы <sup>#</sup>	Глинистые породы <sup>#</sup>	Глинистые породы <sup>#</sup>	Глинистые породы <sup>#</sup>	Глинистые породы <sup>#</sup>
SiO <sub>2</sub>	<u>61.55 ± 3.31</u> 55.04–66.06	<u>66.09 ± 3.38</u> 57.61–69.83	<u>61.08 ± 5.09</u> 52.71–69.05	<u>59.16 ± 1.79</u> 55.47–64.54	<u>63.99 ± 3.54</u> 53.63–69.48
TiO <sub>2</sub>	<u>0.79 ± 0.04</u> 0.71–0.86	<u>0.86 ± 0.21</u> 0.62–1.40	<u>1.05 ± 0.10</u> 0.90–1.24	<u>1.62 ± 0.16</u> 1.31–2.29	<u>0.86 ± 0.10</u> 0.65–1.13
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	<u>16.62 ± 2.95</u> 12.97–21.18	<u>17.40 ± 1.66</u> 13.79–20.06	<u>28.81 ± 4.28</u> 22.20–36.63	<u>18.91 ± 0.86</u> 15.99–20.63	<u>20.64 ± 1.92</u> 17.81–25.37
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> *	<u>8.05 ± 1.38</u> 5.63–10.11	<u>8.20 ± 3.51</u> 4.11–16.08	<u>4.17 ± 2.35</u> 1.67–11.13	<u>12.40 ± 1.15</u> 9.66–15.51	<u>7.12 ± 1.21</u> 5.52–10.89
MgO	<u>4.97 ± 0.84</u> 3.79–6.80	<u>2.27 ± 0.63</u> 1.49–3.26	<u>0.76 ± 0.19</u> 0.55–1.22	<u>3.08 ± 0.61</u> 1.98–4.48	<u>1.57 ± 0.31</u> 1.17–2.69
CaO	<u>2.21 ± 0.54</u> 1.19–2.88	<u>0.53 ± 0.41</u> 0.24–1.84	<u>0.44 ± 0.19</u> 0.17–0.91	<u>1.35 ± 0.49</u> 0.36–3.63	<u>0.05 ± 0.05</u> 0.01–0.21
Na <sub>2</sub> O	<u>2.14 ± 0.55</u> 1.31–2.93	<u>1.41 ± 0.60</u> 0.53–2.41	<u>0.38 ± 0.09</u> 0.23–0.54	<u>0.75 ± 0.20</u> 0.29–1.50	<u>0.30 ± 0.11</u> 0.15–0.61
K <sub>2</sub> O	<u>3.22 ± 0.27</u> 2.89–3.87	<u>3.00 ± 0.70</u> 1.07–3.89	<u>2.98 ± 0.49</u> 2.40–3.97	<u>2.49 ± 0.24</u> 1.92–3.13	<u>5.41 ± 0.82</u> 3.63–7.35
MnO	<u>0.12 ± 0.02</u> 0.10–0.15	<u>0.07 ± 0.02</u> 0.04–0.13	<u>0.03 ± 0.02</u> 0.01–0.06	<u>0.07 ± 0.04</u> 0.02–0.20	<u>0.01 ± 0.01</u> 0.01–0.07
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	<u>0.34 ± 0.15</u> 0.19–0.66	<u>0.19 ± 0.13</u> 0.08–0.49	<u>0.11 ± 0.06</u> 0.05–0.29	<u>0.18 ± 0.05</u> 0.06–0.32	<u>0.04 ± 0.02</u> 0.02–0.09
ППП	–	–	–	–	–
n	16	14	14	98	29

Окончание табл. 3.1

Компонент, мас. %, параметр	Огложения Бассейна Тхрасе (объект 82)	Огложения Internal Domains (объект 83)	Формация Tadkeshwar (объект 87)	Средний-верхний триас Maghrebian Chain (объект 88)
	Глинистые породы <sup>#</sup>	Глинистые породы <sup>#</sup>	Глинистые породы <sup>#</sup>	Глинистые породы <sup>#</sup>
SiO <sub>2</sub>	60.69 ± 3.36	63.33 ± 3.69	44.74 ± 1.79	62.53 ± 2.66
TiO <sub>2</sub>	55.18–69.03	53.63–69.80	42.56–46.91	56.50–67.10
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.94 ± 0.17	0.91 ± 0.11	8.80 ± 1.60	0.94 ± 0.07
	0.64–1.28	0.63–1.17	4.88–10.85	0.82–1.14
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> *	18.85 ± 3.93	20.41 ± 1.87	29.92 ± 8.68	21.13 ± 1.50
	11.01–31.65	14.01–25.37	21.26–41.71	18.23–23.81
	8.49 ± 3.29	7.28 ± 1.36	8.68 ± 5.51	7.40 ± 1.06
	3.99–19.72	3.09–10.89	1.62–16.36	4.70–9.52
MgO	4.88 ± 2.51	2.40 ± 1.49	5.78 ± 2.48	2.68 ± 0.59
	1.32–13.40	1.09–12.15	2.98–9.17	1.67–4.53
CaO	1.26 ± 0.45	0.27 ± 0.22	1.33 ± 0.80	0.29 ± 0.17
	0.41–1.99	0.01–0.96	0.37–2.98	0.08–0.89
Na <sub>2</sub> O	1.15 ± 0.61	0.33 ± 0.19	0.28 ± 0.07	0.52 ± 0.24
	0.14–2.97	0.14–0.90	0.16–0.45	0.19–0.90
K <sub>2</sub> O	3.44 ± 1.04	4.95 ± 1.00	0.24 ± 0.21	4.36 ± 1.19
	1.40–5.58	2.80–7.35	0.07–0.65	2.80–6.35
MnO	0.17 ± 0.21	0.04 ± 0.05	0.07 ± 0.07	0.05 ± 0.03
	0.03–1.07	0.01–0.21	0.01–0.25	0.02–0.13
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0.14 ± 0.06	0.07 ± 0.05	0.08 ± 0.04	0.10 ± 0.06
	0.05–0.28	0.01–0.29	0.05–0.18	0.02–0.29
ППП	–	–	–	–
n	26	105	14	23

<sup>#</sup>Содержания всех оксидов приведены к 100% сухого вещества.

Примечание. В числителе – среднее арифметическое и стандартное отклонение, в знаменателе – минимальное и максимальное значение. ппп – потери при прокаливании. Прочерк – нет данных. n – число образцов в выборке.



Рис. 3.1. Песчаники осадочного заполнения различных категорий рифтов (серая заливка, классификация по [Sengör, 1995; Sengör, Natal'in, 2001]), речь о которых идет в данной главе

ряда различных дискриминантных палеогеодинамических диаграмм, таких как  $K_2O/Na_2O-SiO_2/Al_2O_3$ , F3–F4,  $SiO_2-K_2O/Na_2O$  и DF1–DF2.

При этом мы решили ограничиться исследованием только литохимических особенностей как синрифтовых песчаников, так и тонкозернистых обломочных/глинистых пород, предполагая, что сведения о распределении в них редких и рассеянных элементов будут рассмотрены в будущем.

### 3.2. Положение полей синрифтовых песчаников на классификационных диаграммах

Для классификации песчаников по валовому химическому составу предложена диаграмма  $\log(SiO_2/Al_2O_3)-\log(Na_2O/K_2O)$  [Петтиджон и др., 1976], на которой показаны поля граувакк, лититов и сублититов, аркозов и субаркозов, а также кварцевых аренитов. Эта диаграмма чрезвычайно широко используется при литогеохимических исследованиях терригенных образований [Murphy et al., 1996; Das et al., 2006; Dupuis et al., 2006; Svendsen et al., 2007; El-Rahman et al., 2010; Descourvieres et al., 2011; Fatima, Khan, 2012; Roy, Rosser, 2012; и др.].

Поля составов песчаников из нашего банка данных имеют на ней различное расположение (рис. 3.3, а); разброс значений  $\log(SiO_2/Al_2O_3)$  составляет от 0.4 до 3.5, параметр  $\log(Na_2O/K_2O)$  изменяется от ~0.2 до 6.0 и более. Показательно, что поля составов песчаников ряда объектов (например, объект 5 – песчаники меловой формации Omdurman, объект 33 – песчаники пермской формации Malužiná и объект 37 – песчаники мезопротерозойско-неопротерозойской серии Vanxi) вообще выходят за пределы предложенных Ф.Дж. Петтиджоном с соавторами классификационных областей, а для большинства исследуемых нами объектов характерно наличие того или иного количества индивидуальных образцов, также локализованных вне областей «типичных песчаников».

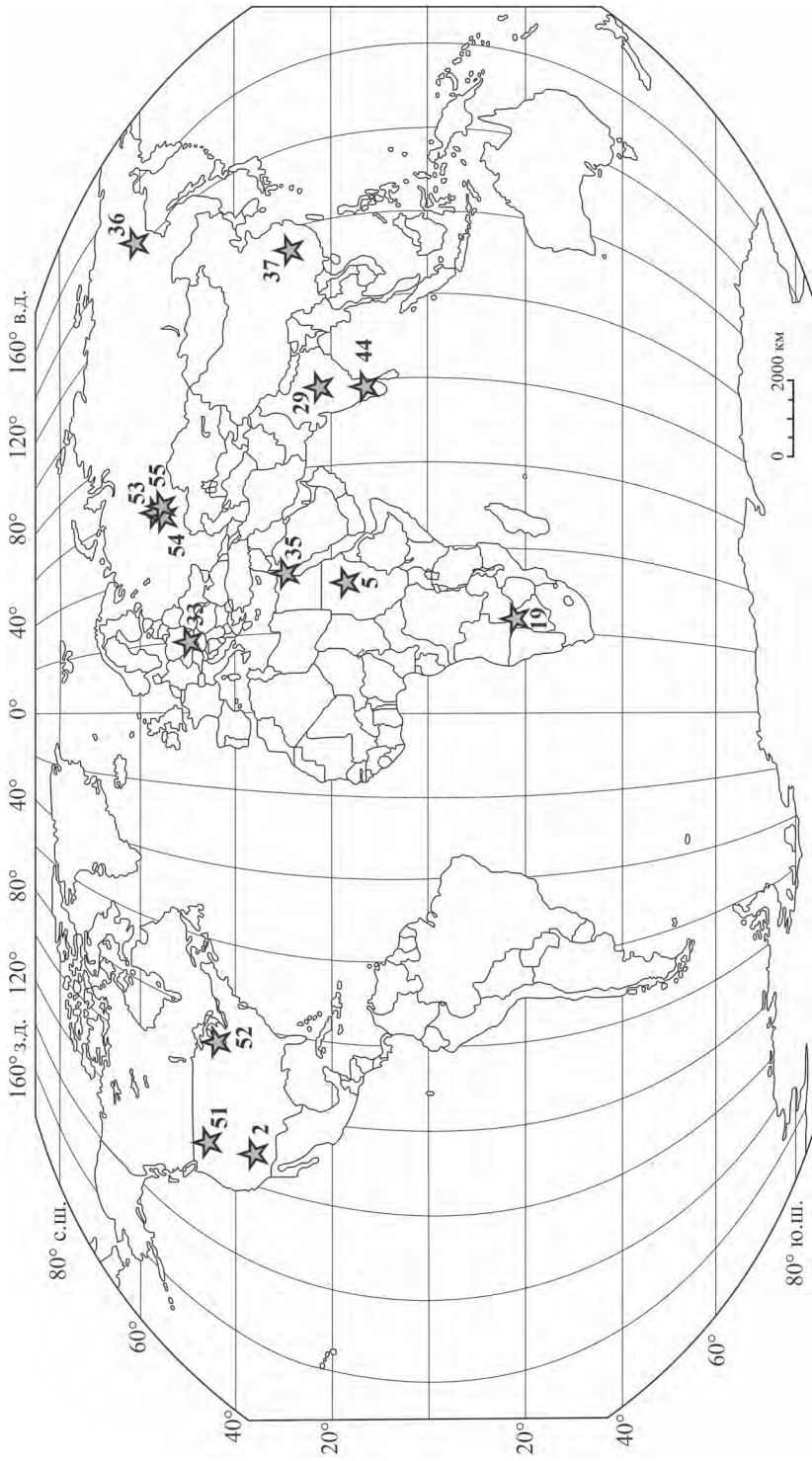


Рис. 3.2. Рифтогенные структуры, аналитические данные, для песчаников которых рассмотрены в настоящей работе, географическая основа по [Veneta, Armstrong-Altrin, 2013] с некоторыми изменениями

Объекты: 2 – серия Uinta Mountain; 5 – формация Omdurman; 19 – алломосилликластические образования Бассейна Kalahari (Okavango Delta sediments); 29 – нижняя часть надсерии Vinhuyn/серия Semti; 33 – формация Maluzina; 35 – формация Nukhul; 36 – уйская серия; 37 – серия Ванхи; 44 – формация Sillakkudi; 51 – надсерия Belt-Purcell; 52 – серии Oronoto и Bayfield; 53 – айская свита; 54 – машакская свита; 55 – аршинская серия

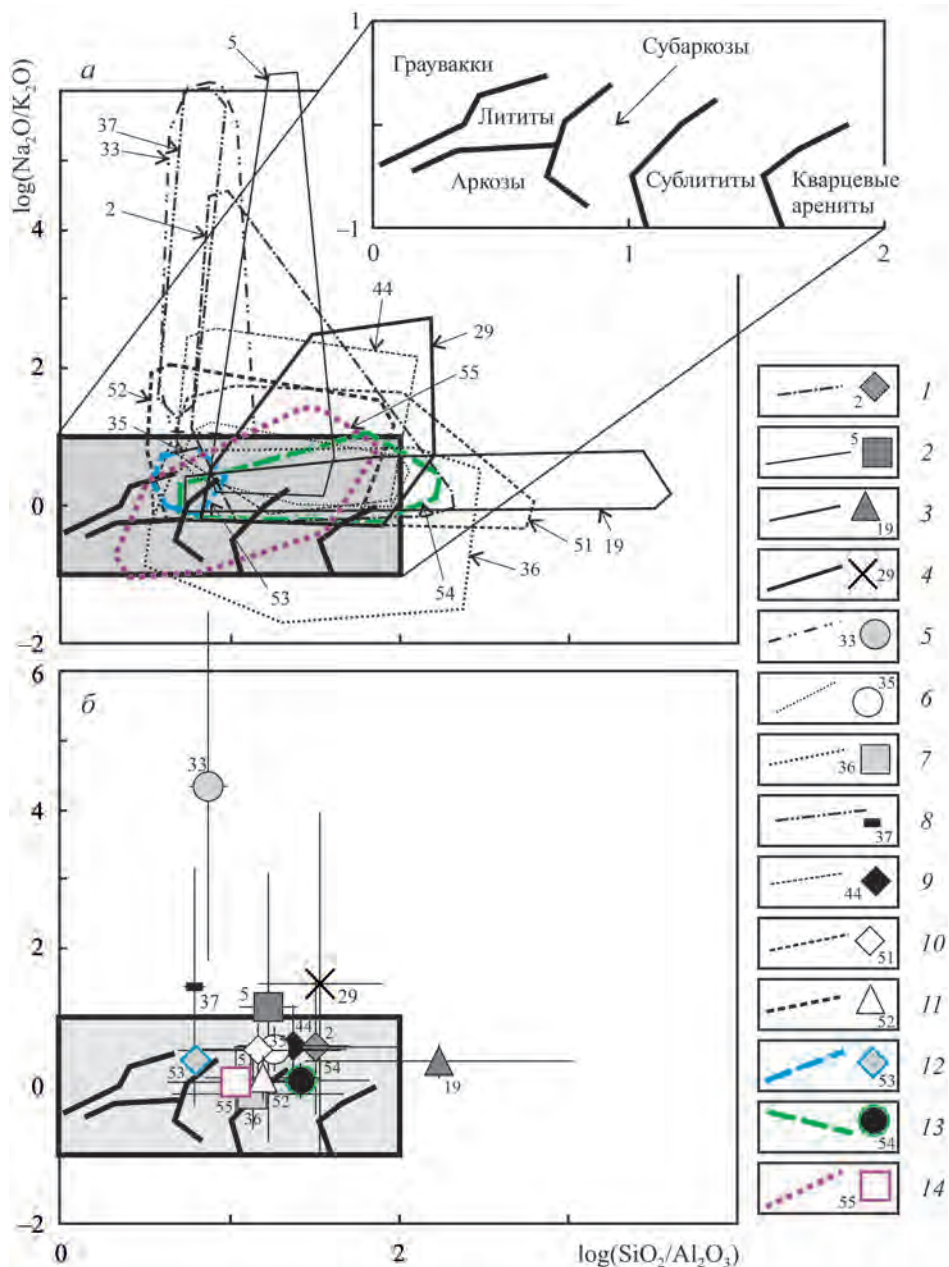


Рис. 3.3. Положение полей (а) и средних точек (б) состава синрифтовых песчаников на диаграмме Ф. Дж. Петтиджона с соавторами [1976].

Здесь и на рис. 3.4–3.8: 1 – серия Uinta Mountain; 2 – формация Omdurman; 3 – алюмосиликокластические образования Бассейна Kalahari (Okavango Delta sediments); 4 – нижняя часть надсерии Vindhyan/серия Semri; 5 – формация Malužiná; 6 – формация Nukhul; 7 – уйская серия; 8 – серия Vanxi; 9 – формация Sillakkudi; 10 – надсерия Belt-Purcell; 11 – серии Oronto и Bayfield; 12 – айская свита; 13 – машакская свита; 14 – аршинская серия. Цифры у полей и средних точек – номера объектов в нашем банке данных



При обращении к анализу средних значений  $\log(\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3)$  и  $\log(\text{Na}_2\text{O}/\text{K}_2\text{O})$  для исследуемых нами выборок, а также присущих им величин стандартных отклонений можно заметить, что подавляющая часть средних точек все же локализована в обычных для диаграммы Ф.Дж. Петтиджона с соавторами областях, за исключением граувакк и лититов (рис. 3.3, б). Однако средние точки ряда объектов и здесь расположены вне диаграммы (объект 5 – песчаники формации Omdurman, объект 19 – алюмосиликокластические образования Бассейна Kalahari, объект 29 – песчаники нижней части надсерии Vindhyan, объекты 33 и 37 – песчаники формации Malužiná и серии Banxi).

Все сказанное показывает, что валовый химический состав синрифтовых песчаников может быть различным. Это хорошо подтверждается и данными исследования их петрографического состава [Evans, 1990; Ingersoll et al., 1990; Garzanti et al., 2001; и др.]. В то же время, как указано далее, состав петрофонда изученных нами песчаниковых ассоциаций в целом не столь пестр, как можно было ожидать, исходя из собственно петрографического состава псаммитов.

### 3.3. Общие особенности валового химического состава синрифтовых песчаников

Среднее арифметическое содержание  $\text{SiO}_2$  в синрифтовых песчаниках, входящих в наш банк данных, варьирует от  $\sim 74.90$  мас. % (формация Sillakkudi) до  $\sim 92.00$  мас. % (алюмосиликокластические образования Okavango Delta (Бассейн Kalahari, Восточно-Африканская рифтовая система)). Минимальное среднее содержание  $\text{TiO}_2$  присуще псаммитам формации Omdurman ( $\sim 0.01$  мас. %), максимальное (1.15 мас. %) – песчаникам верхнемеловой формации Sillakkudi. Параметр  $\text{Al}_2\text{O}_{3\text{cp}}$ <sup>9</sup> варьирует от 2.05 мас. % (песчаники Бассейна Kalahari) до  $\sim 13.00$  мас. % (мезопротерозойско-неопротерозойская серия Banxi). Величина  $\text{Na}_2\text{O}_{\text{cp}}$  изменяется от 0.06 мас. % (меловая формация Omdurman) до  $\sim 4.10$  мас. % (пермская формация Malužiná). Наконец, минимальное значение  $\text{K}_2\text{O}_{\text{cp}}$  составляет 0.07 мас. % (меловая формация Omdurman), а максимальное достигает  $\sim 4.60$  мас. % (айская свита Южного Урала).

### 3.4. Состав пород-источников сноса для синрифтовых песчаников

Для суждения о составе пород, выступавших источниками обломочного материала для песчаников исследуемых нами осадочных последовательностей, использована диаграмма F1–F2 [Bhatia, 1983; Bhatia, Crook, 1986]. На ней значительная часть полей синрифтовых псаммитов сосредоточена в области составов, образованных за счет размыва богатых кварцем осадочных пород (рис. 3.4, а). Некоторые поля расположены в двух (объекты 33, 37 и 53) и

---

<sup>9</sup> Здесь и далее таким образом обозначены средние арифметические содержания того или иного оксида.

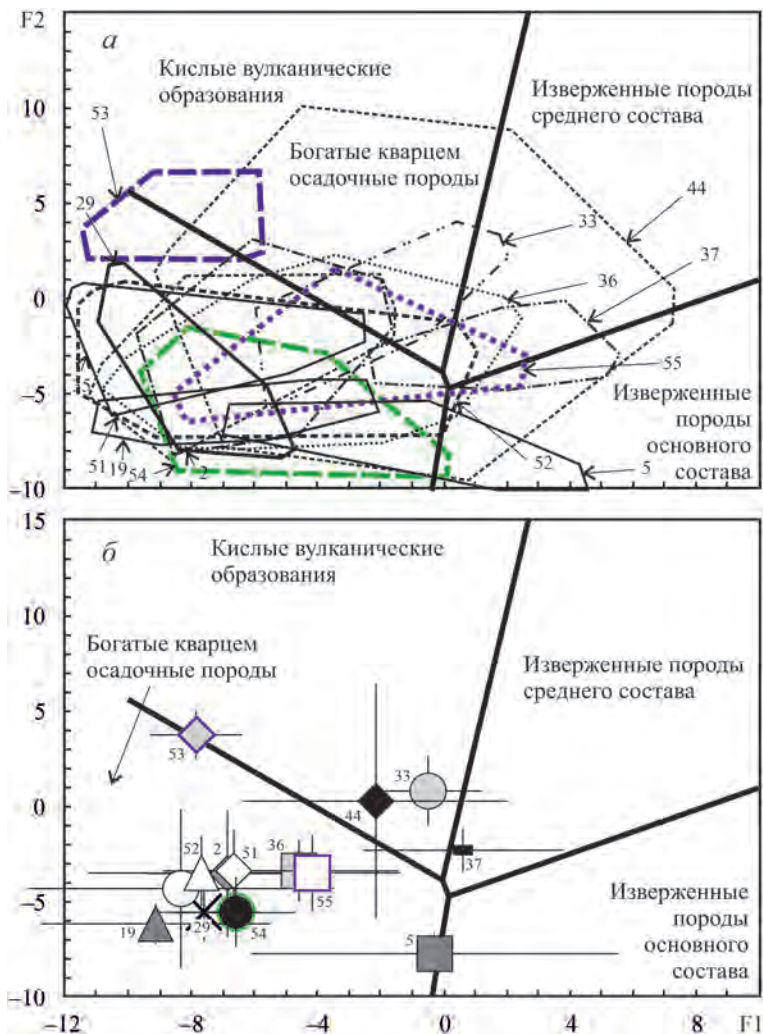


Рис. 3.4. Положение полей (а) и средних точек (б) состава синрифтовых песчаников на диаграмме F1–F2

более (объект 44 – песчаники верхнемеловой формации Sillakkudi) классификационных полях диаграммы.

Средние точки большинства синрифтовых песчаниковых ассоциаций также сосредоточены в области составов, источниками обломочного материала для которых являлись богатые кварцем осадочные образования (рис. 3.4, б). Несколько по-иному локализованы средние точки объектов 33 и 44 (в поле составов, источниками кластики для которых являлись кислые вулканические образования), объекта 37 (то же, изверженные породы среднего состава), а также объектов 5 и 53. Средняя точка песчаников объекта 5 попадает на линию, разделяющую поля, образованные материалом размыва богатых

кварцем осадочных и изверженных пород основного состава, а средняя точка псаммитов объекта 53 – на линию, разграничивающую поля, типичные для продуктов размыва кислых вулканических пород и богатых кварцем осадочных образований.

Из приведенных данных можно сделать вывод, что в областях размыва, при формировании синрифтовых песчаников рассматриваемых нами ассоциаций, основную роль играли богатые кварцем осадочные образования с той или иной долей магматических пород кислого, среднего и основного состава.

### 3.5. Положение полей синрифтовых песчаников на дискриминантных палеогеодинамических диаграммах

*Диаграмма  $K_2O/Na_2O-SiO_2/Al_2O_3$  Дж. Мейнарда с соавторами.* При нанесении полей синрифтовых песчаниковых ассоциаций на данную диаграмму мы столкнулись с феноменом существенно больших свойственных им значений  $K_2O/Na_2O$  и  $SiO_2/Al_2O_3$ , чем принято в оригинальной ее версии<sup>10</sup> (рис. 3.5, а). Это же наблюдается и для средних составов подавляющего большинства песчаниковых ассоциаций, за исключением псаммитов пермской формации Malužiná (объект 33) и мезопротерозойско-неопротерозойской серии Vanxi (объект 37) (рис. 3.5, б). Первые из них сопоставимы с составами песчаных пород преддуговых бассейнов (это отвечает реальной геологической ситуации), а вторые – с составами песчаников пассивных континентальных окраин.

Средние точки песчаников айской и машакской свит, а также аршинской серии верхнего докембрия Южного Урала, формирование которых рассматривается многими авторами [Иванов и др., 1986; Пучков, 2000, 2010; и др.] как происходившее в обстановках, сходных с рифтогенными, в том числе активного рифтогенеза, расположены на диаграмме Дж. Мейнарда с соавторами достаточно далеко от ее стандартных полей. В целом, на наш взгляд, все сказанное показывает, что диаграмма Дж. Мейнарда с соавторами не может использоваться в целях геодинамической типизации синрифтовых песчаниковых ассоциаций.

*Диаграмма F3–F4 М. Бхатиа и К. Крука.* Поля синрифтовых песчаниковых ассоциаций, как и их средние точки, на данной диаграмме тяготеют в подавляющем большинстве случаев к области составов псаммитов, свойственных пассивным континентальным окраинам (рис. 3.6). Они занимают примерно половину данной области, но для того чтобы обозначить ее как область составов синрифтовых терригенных ассоциаций нужны дополнительные исследования; пока, на основе нашего опыта, это представляется малоперспективным. Единственное исключение – песчаники нижнерифейской айской свиты западного склона Южного Урала, и поле точек индивидуальных образцов которых, и средняя для всей выборки точка локализованы в области составов активных континентальных окраин. Точки песчаников машакской свиты и аршинской

---

<sup>10</sup> Возможно также, что это следствие воздействия на породы вторичных процессов или присутствия в них «неосадочного» материала, например кислой или щелочной пирокластики.

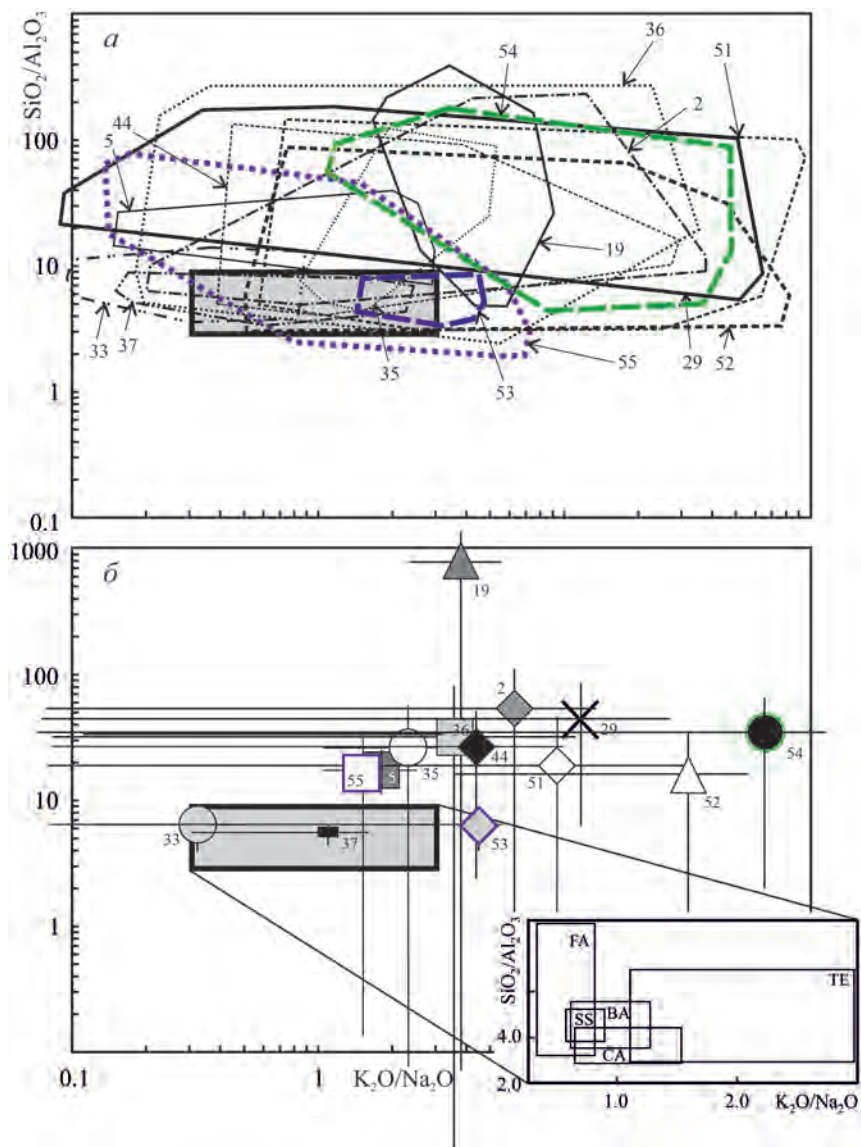


Рис. 3.5. Положение полей (а) и средних точек (б) состава синрифтовых песчаников на диаграмме Дж. Мейнарда с соавторами [Maunard et al., 1982].

Поля песчаных пород: ТЕ – бассейнов пассивных континентальных окраин; SS – бассейнов активных окраин, сопряженных со сдвигами; СА – то же, сопряженных с окраинно-континентальными дугами; FA – преддуговых бассейнов; ВА – задуговых бассейнов

серии верхнего протерозоя Южного Урала расположены в области составов, типичных для пассивных континентальных окраин.

Диаграмма  $\text{SiO}_2\text{--K}_2\text{O}/\text{Na}_2\text{O}$  Б. Розера и Р. Корша. На этой диаграмме, как и на диаграмме F3–F4, поля синрифтовых песчаниковых ассоциаций сосредото-

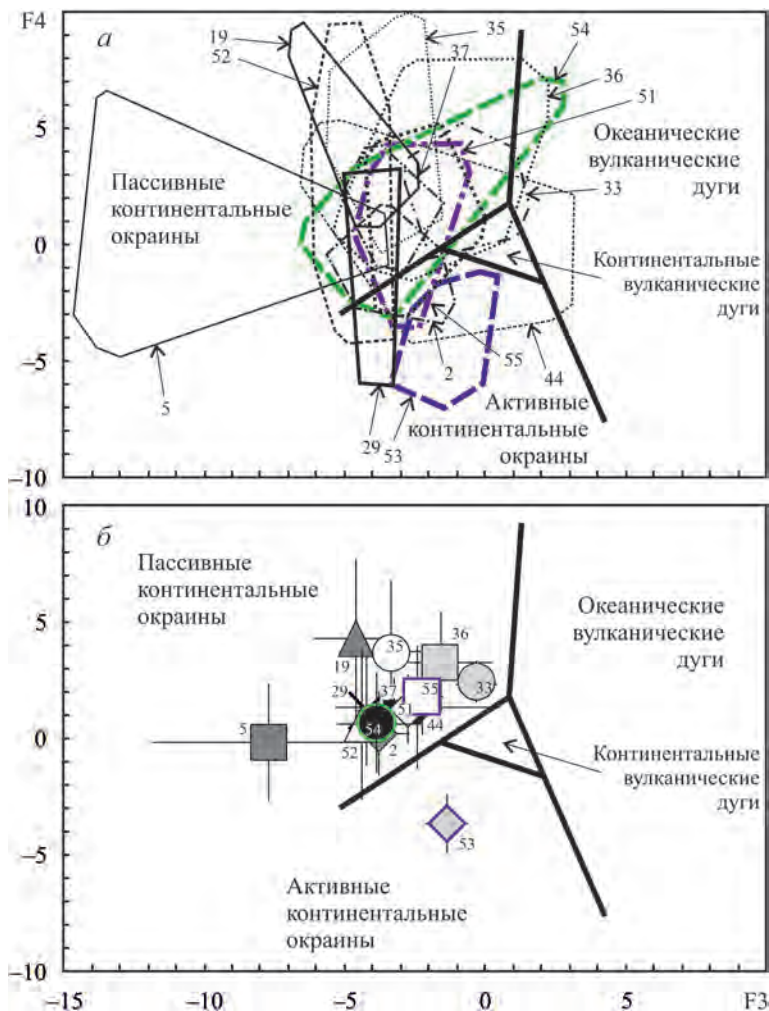


Рис. 3.6. Положение полей (а) и средних точек (б) состава синрифтовых песчаников на диаграмме М. Бхатиа и К. Крука для реконструкции палеогеодинамических обстановок формирования терригенных ассоциаций [Bhatia, Crook, 1986]

точены преимущественно в области состава псаммитов пассивных континентальных обстановок, занимая почти всю ее площадь (рис. 3.7, а). Исключениями из сказанного, как и в случае с диаграммой Дж. Мейнарда с соавторами, являются поля песчаников пермской формации Malužiná (объект 33) и песчаников мезопротерозойско-неопротерозойской серии Vanxi (объект 37), локализованные почти полностью в области составов псаммитов активных континентальных окраин. Более отчетливо все сказанное видно при анализе распределения средних для рассматриваемых нами синрифтовых песчаниковых ассоциаций точек состава (рис. 3.7, б). Последние на указанной диаграмме, как и на диаграмме М. Бхатиа и К. Крука, занимают примерно половину обла-

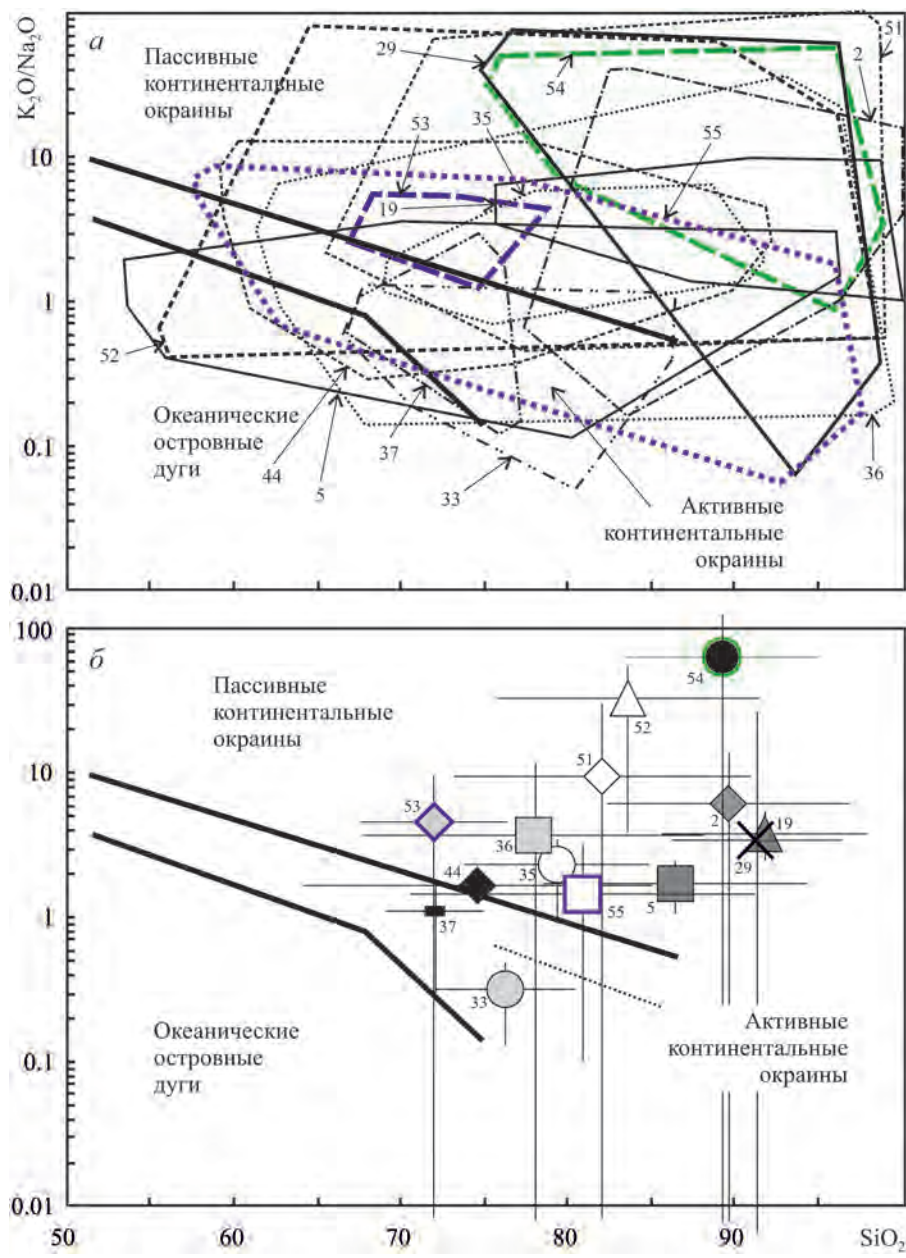


Рис. 3.7. Положение полей (а) и средних точек (б) состава синрифтовых песчаников на диаграмме Б. Розера и Р. Корша [Roser, Korsch, 1986]

сти составов терригенных пород пассивных континентальных окраин. Однако намечать, исходя из этого, особую область синрифтовых псаммитов нам представляется не вполне конструктивным, так как в этой же части данной об-

ласти диаграммы действительно сосредоточено, как правило, множество точек псаммитов пассивных окраин континентов [McCann, 1998; Das et al., 2006; Dostal, Keppie, 2009; Etemad-Saeed et al., 2011; Descourvieres et al., 2011; Wang et al., 2013; и др.]. Песчаниковые ассоциации базальных уровней нижнего и среднего рифея типового разреза, а также псаммиты аршинской серии восточного крыла Башкирского мегантиклинория локализованы на указанной диаграмме в области составов пассивных континентальных окраин.

*Диаграмма DF1–DF2 С. Верма и Дж. Армстронга-Алтрина*<sup>11</sup>. Как уже отмечено, на данной диаграмме впервые появляется область составов терригенных пород, формировавшихся в условиях рифтогенеза. Насколько соответствуют ей поля составов и средние точки исследованных нами синрифтовых песчаниковых ассоциаций разного возраста?

Распределение на данной диаграмме полей состава индивидуальных образцов синрифтовых псаммитов осадочных последовательностей из нашего банка данных носит, как и в большинстве рассмотренных случаев, достаточно хаотичный характер, тем более что от трети до половины площади некоторых из них (например, объекты 29, 35, 36, 52, 54 и др.) расположено не только собственно в области рифтогенных терригенных образований, но и в области составов, сформированных в коллизионных обстановках (рис. 3.8, а).

При рассмотрении положения на диаграмме DF1–DF2 средних точек состава синрифтовых песчаников различных ассоциаций картина становится более четкой (рис. 3.8, б). Средние точки трех объектов – песчаников нижней части надсерии Vindhyan (объект 29), мезопротерозойской надсерии Belt-Purcell (объект 51) и серий Oronto и Bayfield рифтовой области Мидконтинента (объект 52) – попадают в область составов терригенных пород, характерных, по мнению С. Верма и Дж. Армстронга-Алтрина, для коллизионных обстановок. Точки остальных объектов из нашего банка данных, в том числе песчаниковых ассоциаций верхнего докембрия Южного Урала (объекты 53 – айская свита, 54 – машакская свита и 55 – аршинская серия), на данной диаграмме локализованы в области составов, свойственных рифтогенным обстановкам. Можно предполагать, это в какой-то мере «сглаживает» ранее высказанное Ю.Г. Леоновым мнение о том, что «возможность субъективных оценок велика... тогда, когда рифт устанавливается на основании состава пород, считающихся индикаторами рифтового режима, и при отсутствии структурных признаков рифта. Помимо того что представления о породах-индикаторах, в том числе магматических, вообще довольно размыты, в реальных ситуациях, особенно в складчатых поясах, эти породы часто представлены фрагментами, нередко к тому же претерпевшими тектоническую и метаморфическую переработку...» [Осадочные бассейны..., 2004, с. 45]. Подобная точка зрения применима, как раньше считал и один из авторов настоящей работы, к ряду ранне- и среднерифейских объектов западного склона Южного Урала, как и к части позднедокембрийских комплексов Северо-Американской и Восточно-Европейской платформ

---

<sup>11</sup> Подавляющее большинство валовых химических анализов песчаников из нашего банка данных характеризуется содержаниями  $\text{SiO}_{2\text{adj}} > 63$  мас. %, поэтому нами использована диаграмма С. Верма и Дж. Армстронга-Алтрина [Verma, Armstrong-Altrin, 2013] для высококремнистых составов.

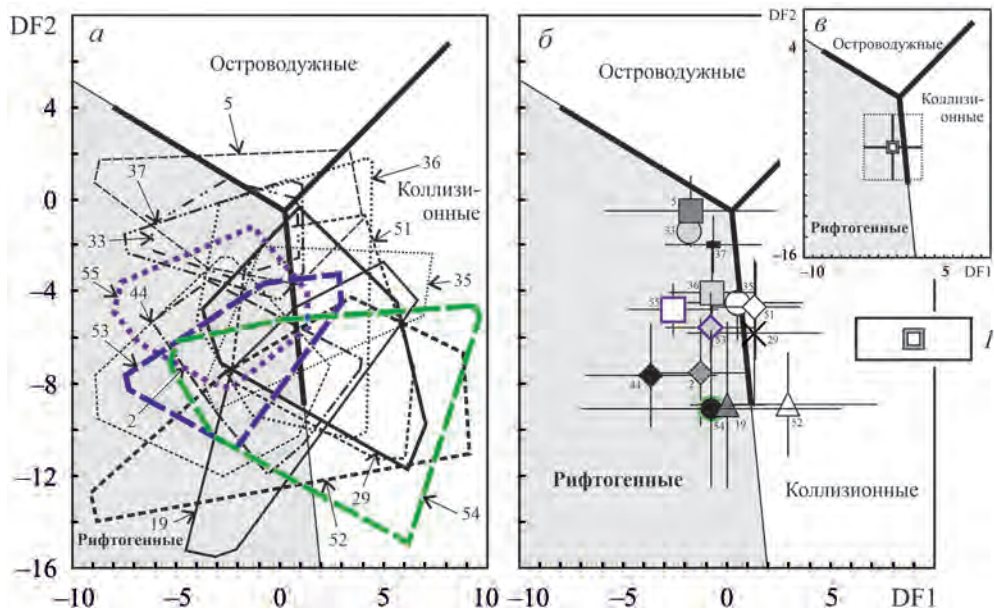


Рис. 3.8. Положение полей (а) и средних точек (б), а также «общей точки» (в) состава синрифтовых песчаников на диаграмме С. Верма и Дж. Армстронга-Алтрина [Verma, Armstrong-Altrin, 2013].

*I* – общая/средняя точка состава синрифтовых песчаников из проанализированной нами базы данных

[Маслов, 1994а], но в свете рассмотренных ранее данных эти представления, вполне вероятно, нуждаются в определенной корректировке.

Таким образом, так называемый «процент/доля успеха/соответствия» в исследованной нами ситуации составляет ~80%, тогда как, по данным авторов [Verma, Armstrong-Altrin, 2013], для диаграммы с  $63 < \text{SiO}_{2\text{adj}} < 95$  мас. % «процент соответствия» для образцов из рифтогенных обстановок варьировал в пределах 79–85%, а для диаграммы с  $\text{SiO}_{2\text{adj}}$  от 35 до 63 мас. % – был равен 75–92% [Маслов и др., 2016б].

Наконец, мы рассчитали для всей совокупности индивидуальных валовых химических анализов синрифтовых песчаников из нашего банка данных средние значения DF1 и DF2. Соответствующая им средняя точка оказалась расположена в области составов, характерных для терригенных пород рифтогенных геодинамических обстановок (рис. 3.8, в).

Следует, однако, подчеркнуть еще одно обстоятельство. Так как на диаграмме DF1–DF2 нет области, отвечающей составам песчаников пассивных континентальных окраин, то мы вынесли на диаграмму с  $\text{SiO}_{2\text{adj}} > 63$  мас. % составы ряда платформенных и сходных с ними псаммитовых ассоциаций. В итоге поля точек разных объектов этого класса распределились между областями, характерными для рифтогенных и коллизионных образований [Маслов и др., 2016б], т. е. фактически мы вернулись к ситуации с распределением полей и средних точек состава рифтогенных песчаников и песчаников пас-



сивных континентальных окраин на диаграммах М. Бхатиа и К. Крука, а также Б. Розера и Р. Корша.

### 3.6. Обсуждение результатов и выводы

Анализ приведенных данных позволяет сделать ряд выводов относительно валового химического состава и особенностей распределения полей синрифтовых песчаников (ситуация 1, см. Введение) и их средних точек на широко используемых в настоящее время дискриминантных палеогеодинамических диаграммах для терригенных пород. Поля синрифтовых песчаников характеризуются широким разбросом значений  $\log(\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3)$  (0.4–3.5) и  $\log(\text{Na}_2\text{O}/\text{K}_2\text{O})$  (~0.2–6.0 и более). Ряд из них вообще не укладывается в типовые области песчаников классификационной диаграммы [Петгиджон и др., 1976]. Их средние точки ведут себя несколько по-иному, в основном соответствуя классификационным областям, за исключением граувакк и лититов. Из сказанного следует вывод о том, что состав синрифтовых песчаников может быть различным, так как контролируется значительным числом факторов. Это не противоречит мнению, что из распределения полей и средних точек синрифтовых песчаниковых ассоциаций на диаграмме F1–F2 [Bhatia, 1983; Bhatia, Crook, 1986] можно сделать заключение о формировании их основной части за счет размыва богатых кварцем осадочных пород и в ряде случаев кислых магматических образований.

Диаграмма Дж. Мейнарда с соавторами непригодна для отнесения тех или иных песчаниковых ассоциаций к категории синрифтовых псаммитов, несмотря на то что на ней показана область составов песчаников пассивных континентальных окраин, т. е. объектов, характеризующихся в существенной степени «спокойной геодинамикой».

На диаграммах М. Бхатиа и К. Крука, а также Б. Розера и Р. Корша и поля, и средние точки составов синрифтовых песчаников, напротив, в основном расположены в области пассивных континентальных окраин. В этой же области локализованы, естественно, и точки собственно псаммитов пассивных окраин, что делает невозможным использование и названных диаграмм для более или менее убедительного отнесения тех или иных песчаниковых ассоциаций к категории выполняющих внутриконтинентальные рифты.

На диаграмме С. Верма и Дж. Армстронга-Алтрина, напротив, около 80% объектов из нашего банка данных локализованы в области составов, отнесенной названными специалистами к категории свойственных рифтогенным обстановкам. Это весьма хорошо соотносится и с их оценкой «процента/доли соответствия» для образцов из рифтогенных обстановок (79–85%) [Verma, Armstrong-Altrin, 2013] для диаграммы с  $63 < \text{SiO}_{2\text{adj}} < 95$  мас. %.

Таким образом, все сказанное показывает, что в ситуации 1 наиболее приемлемой дискриминантной палеогеодинамической диаграммой для отнесения тех или иных песчаниковых ассоциаций к категории синрифтовых является диаграмма С. Верма и Дж. Армстронга-Алтрина. Другие диаграммы не позволяют сделать это корректно во многом, по всей видимости, вследствие ошибочно выбранных «поисковых предпочтений».

Общий вывод может быть следующим – в настоящее время на основе данных о валовом химическом составе песчаников мы можем с достаточно высокой степенью вероятности судить о принадлежности их к периостроводужным/приостроводужным бассейнам осадконакопления, бассейнам, сформированным на пассивных континентальных окраинах и рифтогенным внутрикратонным структурам. Корректно ли последнее для данных о валовом химическом составе глинистых пород и может ли быть разграничено по литохимическим данным осадочное выполнение разных типов рифтов – это вопросы будущего.

---

## 4. СИТУАЦИЯ 2 – СИНРИФТОВЫЕ ГЛИНИСТЫЕ ПОРОДЫ: ВАЛОВЫЙ ХИМИЧЕСКИЙ СОСТАВ И ПОЛОЖЕНИЕ НА ДИСКРИМИНАНТНЫХ ПАЛЕОГЕОДИНАМИЧЕСКИХ ДИАГРАММАХ

---

Приводимые далее сведения основаны на собранном нами банке данных о валовом химическом составе глинистых пород осадочных последовательностей (рис. 4.1), выполняющих различные типы рифтовых структур. Основным инструментом исследований, как и в случае песчаников, являлся анализ положения полей фигуративных точек составов глинистых пород (аргиллитов/глинистых сланцев/метапелитов) (учтено порядка 400 полных химических анализов), представляющих интракратонные рифты (объекты 2, 70, 78 и 87), рифты, сформированные на ранних этапах распада суперконтинентов (объекты 74, 76, 79, 81, 83 и 88), и рифтовые структуры, так или иначе связанные с процессами субдукции (объект 77) и коллапсом орогенов (объект 82) на таких дискриминантных палеогеодинамических диаграммах, как  $K_2O/Na_2O-SiO_2/Al_2O_3$  [Maynard et al., 1982],  $SiO_2-K_2O/Na_2O$  [Roser, Korsch, 1986] и DF1–DF2 [Verma, Armstrong-Altrin, 2013].

### 4.1. Материал и подходы к его анализу

К рассматриваемым в настоящей главе объектам относятся глинистые породы: 1) неопротерозойской серии Uinta Mountain, США (объект 2) [Condie et al., 2001]; 2) ордовикской (тремадок) формации Tiñu, Южная Мексика (объект 47) [Murphy et al., 2005]; 3) серий Asu River и Cross River Трога Lower Benue, Юго-Восточная Нигерия (объект 70) [Adeigbe, Jimoh, 2013]; 4) формаций Bir Maghara и Safa, байос-бат, Северный Синай, Египет (объект 74) [Ghandour et al., 2003]; 5) Бассейна Congo, нижний мел, Западная Африка (объект 76) [Harris, 2000]; 6) основания разреза Японского моря, нижний миоцен, Юго-Западная Япония (объект 77) [Ishiga et al., 1999]; 7) Бассейна Oliete, альб, Северо-Восточная Испания (объект 78) [Lopez et al., 2005]; 8) Бассейна Krishna-Godavari, Бенгальский залив, Индия (объект 79) [Mazumdar et al., 2015]; 9) верхнего триаса-нижней юры гор Peloritani, Северо-восточная Сицилия, Южная Италия (объект 81) [Perri et al., 2011]; 10) эоцен-олигоценовые от-

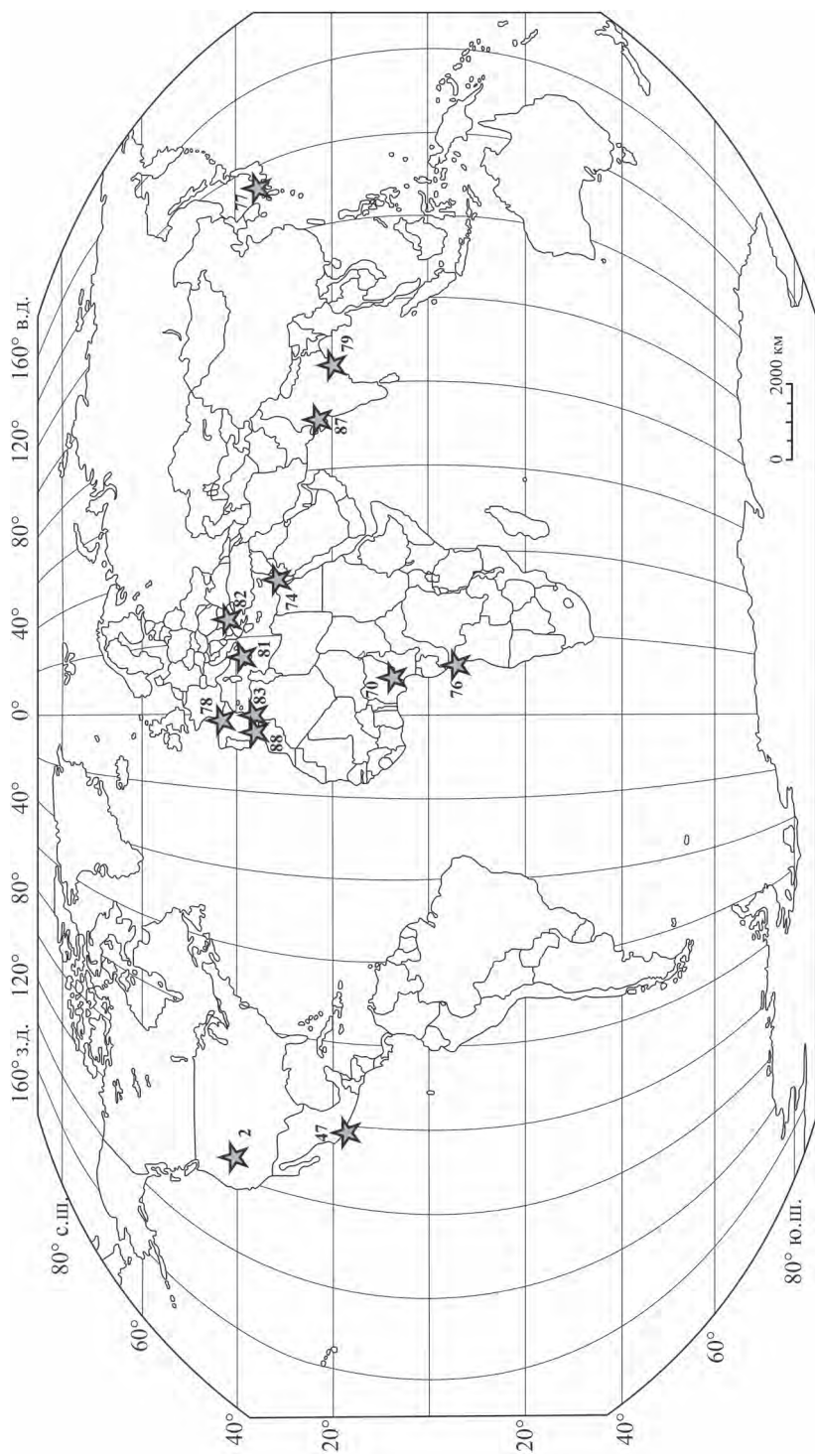


Рис. 4.1. Рифтогенные структуры, аналитические данные для глинистых пород которых рассмотрены в настоящей работе, географическая основа по [Verma, Armstrong-Altrin, 2013] с некоторыми изменениями.

Объекты: 2 – серия Uinta Mountain; 47 – формация Tūi; 70 – серия Asu River и Cross River; 74 – формация Bir Maghara и Safa; 76 – то же Бассейна Congo; 77 – нижний миоцен, Юго-Западная Япония; 78 – осадочное выполнение Бассейна Олетье; 79 – то же Бассейна Křishna-Godavari; 81 – верхний триас-нижняя юра гор Peloritani; 82 – эоцен-олигоцен Бассейна Thrace; 83 – средний триас-верхняя юра Internal Domains запада Центрального Средиземноморья; 87 – формация Tadkeshwar; 88 – средний-верхний триас Rifian sector, Maghrebian Chain

ложения Бассейна Thrace, Северо-Восточная Греция (объект 82) [Perri et al., 2015]; 11) среднего триаса-верхней юры Internal Domains запада Центральномедиземноморского региона (объект 83) [Perri, Ohta, 2014]; 12) формации Tadkeshwar, нижний эоцен, Бассейн Cambay, Индия (объект 87) [Pundaree et al., 2015]; 13) средний-верхний триас Rifian sector, Maghrebain Chain, Марокко (объект 88) [Zaghloul et al., 2010]. Приуроченность всех перечисленных объектов к различным категориям рифтов в соответствии с систематикой [Sengör, 1995; Sengör, Natal'in, 2001] показана на рис. 4.2.

Средние, минимальные и максимальные содержания основных породообразующих оксидов в синрифтовых глинистых породах перечисленных объектов приведены в табл. 3.1. Общий подход к анализу этих данных принципиально не отличался от подхода к исследованию валового состава синрифтовых псаммитов. Вначале рассмотрено положение полей состава синрифтовых глинистых пород на классификационных диаграммах, затем свойственное им распределение основных породообразующих оксидов сопоставлено с PAAS. После этого мы обратились к анализу присущих тонкозернистым обломочным/глинистым породам значений  $K_2O/Na_2O$  и  $SiO_2/Al_2O_3$ , что в определенной степени позволило судить о степени преобразованности их процессами калиевого метасоматоза и окременения. Далее поля составов синрифтовых глинистых пород были вынесены на диаграмму F1–F2; это дало возможность установить ориентировочный состав пород-источников тонкой алюмосиликокластики для них. Наконец, мы исследовали расположение полей синрифтовых глинистых пород на ряде дискриминантных палеогеодинамических диаграмм, как на тех, на которых поле собственно рифтогенных осадочных образования отсутствует, так и на диаграмме DF1–DF2, где оно есть. Все сказанное способствовало получению общего представления о литохимических особенностях синрифтовых глинистых пород осадочного выполнения рифтогенных структур различных типов.



Рис. 4.2. Глинистые породы осадочного заполнения различных категорий рифтов (серая заливка, систематика [Sengör, 1995; Sengör, Natal'in, 2001]), речь о которых идет в данной главе

## 4.2. Положение полей синрифтовых глинистых пород на классификационных диаграммах

На классификационной диаграмме для глинистых пород  $[(\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O})/\text{Al}_2\text{O}_3] - [(\text{Fe}_2\text{O}_3^* + \text{MgO})/\text{SiO}_2]$  (диаграмма НКМ–ФМ [Юдович, Кетрис, 2000]) поля составов перечисленных объектов сосредоточены в основном в областях I (преимущественно каолинитовые глины), II (преимущественно смектитовые с примесью каолинита и гидрослюды глины), IV (хлорит-гидрослюдистые глины) и V (хлорит-смектит-гидрослюдистые глины) (рис. 4.3). При этом наблюдается значительное перекрытие большинства полей, что указывает на сходство составов синрифтовых глинистых пород различного возраста, выполняющих разные типы рифтогенных структур. Небольшое количество фигуративных точек глинистых пород объектов присутствует в области III (преимущественно хлоритовые с примесью Fe-гидрослюды глины). Глинистые образования формации Tadkeshwar (объект 87), «протолитом» для которых выступали породы основного и/или ультраосновного состава, что следует из свойственных им высоких содержаний  $\text{Fe}_2\text{O}_3^*$  (среднее – 8.68 мас. %),  $\text{MgO}$  (5.78) и  $\text{TiO}_2$  (8.80) и низких концентраций  $\text{SiO}_2$  (среднее – 44.74 мас. %), характеризуются значениями  $(\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O})/\text{Al}_2\text{O}_3 < 0.1$  и занимают на этой и ряде других диаграмм обособленную позицию.

Распределение полей состава синрифтовых глинистых пород на классификационной диаграмме

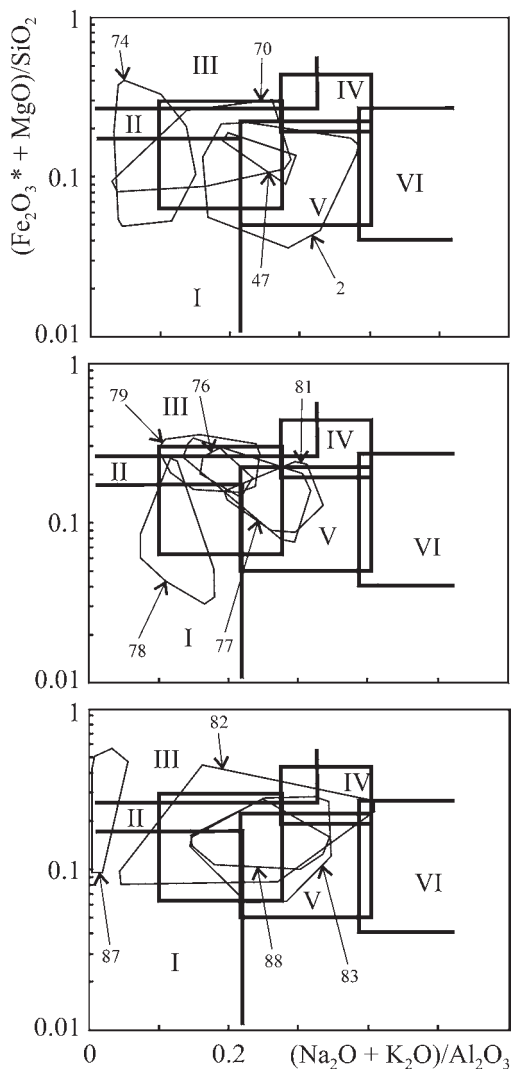


Рис. 4.3. Положение полей состава глинистых пород различных рифтогенных структур на диаграмме  $[(\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O})/\text{Al}_2\text{O}_3] - [(\text{Fe}_2\text{O}_3^* + \text{MgO})/\text{SiO}_2]$ .

Номера полей здесь и далее соответствуют рассматриваемым в данной работе объектам, см. рис. 4.1.

I–VI – области глин разного состава: I – преимущественно каолинитовых, II – преимущественно смектитовых с примесью каолинита и гидрослюды, III – преимущественно хлоритовых с примесью Fe-гидрослюды, IV – хлорит-гидрослюдистых, V – хлорит-смектит-гидрослюдистых, VI – гидрослюдистых со значительной примесью дисперсных полевых шпатов

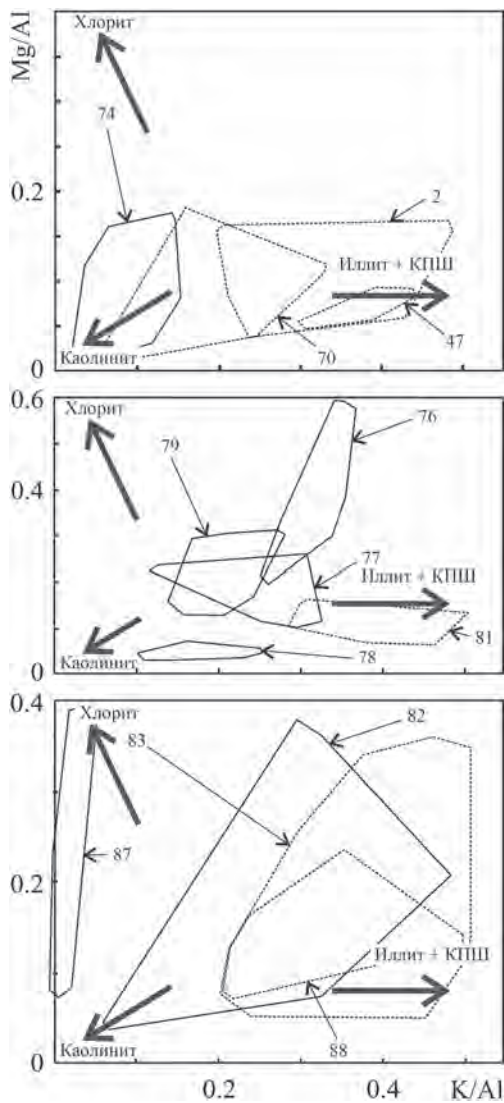


Рис. 4.4. Положение полей состава синрифтовых глинистых пород на диаграмме K/Al–Mg/Al.

Штриховыми линиями здесь и далее показаны поля, образованные породами, подвергшимися воздействию процессов К-метасоматоза

K/Al–Mg/Al [Turgeon, Bramsack, 2006] (рис. 4.4) позволяет сделать вывод, что подавляющее большинство их принадлежит гидрослюдистым глинам с той или иной примесью хлорита и каолинита. Более или менее существенная доля первого, при крайне низком содержании полевых шпатов, характерна, по всей видимости, для глинистых пород нижнеэоценовой формации Tadkeshwar, тогда как второго – для байос-батских отложений Северного Синая (объект 74) и отчасти эоцен-олигоценых отложений Бассейна Thrace (объект 82).

### 4.3. Общие особенности валового химического состава синрифтовых глинистых пород

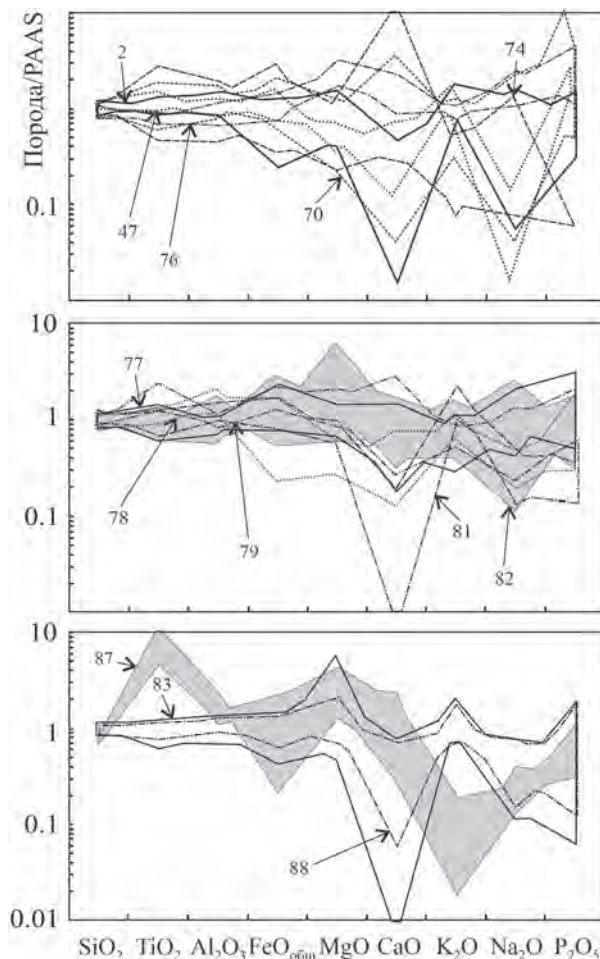
Средние содержания оксида кремния в синрифтовых глинистых породах, представленных в нашей выборке, варьируют от 44.74 до 66.42 мас. % (в постархейском австралийском глинистом сланце, PAAS [Taylor, McLennan, 1985], содержание  $\text{SiO}_2$  62.80 мас. %). В глинистых породах формации Tadkeshwar среднее содержание  $\text{TiO}_2$  составляет 8.80 мас. %; в тонкозернистых обломочных породах остальных объектов параметр  $\text{TiO}_{2\text{cp}}$  изменяется от 0.73 до 1.78 мас. %. Минимальное среднее содержание  $\text{Al}_2\text{O}_3$  (16.62 мас. %) присуще глинистым породам нижнего мела Бассейна Congo (объект 76), максимальное (29.92 мас. %) характерно для тонкозернистых обломочных пород формации Tadkeshwar (объект 87); содержание оксида алюминия в PAAS равно 18.90 мас. %. Величина  $\text{Fe}_2\text{O}_3^*$  варьирует от 4.17 мас. % (объект 78) до 12.40 мас. % (объект 79). Существенные вариации характерны для средних содержаний MgO и CaO (соответственно 0.76–5.78 и 0.05–4.84 мас. %). Это же свойственно  $\text{Na}_2\text{O}$  (0.06–2.14 мас. %; в PAAS – 1.20 мас. %) и  $\text{K}_2\text{O}$

Рис. 4.5. Содержания основных породообразующих оксидов в синрифтовых глинистых породах, нормированные к ПААС

(0.24–5.77 мас. %; в ПААС – 3.70 мас. %). Сопоставление средних содержаний основных породообразующих оксидов в синрифтовых глинистых породах с содержанием их в ПААС представлено на рис. 4.5.

При интерпретации валовых химических составов тонкозернистых обломочных пород одним из принципиальных является вопрос о влиянии на них калиевого метасоматоза. Последний ведет, как правило, к существенному завышению содержаний  $K_2O$  и, соответственно, искажению индикаторных отношений  $(Na_2O + K_2O)/Al_2O_3$ ,  $K/Al$ ,  $K_{2O_{обр}}/K_{2O_{ПААС}}$ ,  $K_2O/Na_2O$ , величин различных дискриминантных функций и др. [Fedo et al., 1995; и др.]. Для разграничения глинистых пород, затронутых процессами К-метасоматоза и не затронутых ими, часто используется диаграмма  $K_2O/Na_2O-SiO_2/Al_2O_3$  [Bolnar et al., 2005], на которой породы с признаками влияния К-метасоматоза локализованы в области значений  $K_2O/Na_2O > 20$ , а близкие к 8–10 величины  $SiO_2/Al_2O_3$  рассматриваются как свидетельство воздействия на глинистые породы процессов окремнения.

В имеющейся в нашем распоряжении выборке синрифтовых глинистых пород в соответствии с приведенными критериями несомненно преобразованными процессами калиевого метасоматоза являются образования формации Тіңи (объект 47) (рис. 4.6), а тонкозернистые обломочные породы объектов 2, 70, 81, 83 и 88, по всей видимости, изменены указанными процессами в той или иной степени. В целом этот вопрос сложнее, чем представляется, так как присутствие в тонкозернистых обломочных породах обломочного (тонкоразтертого) калиевого полевого шпата ведет во многих ситуациях к существенному возрастанию величины  $K_2O/Na_2O$ .





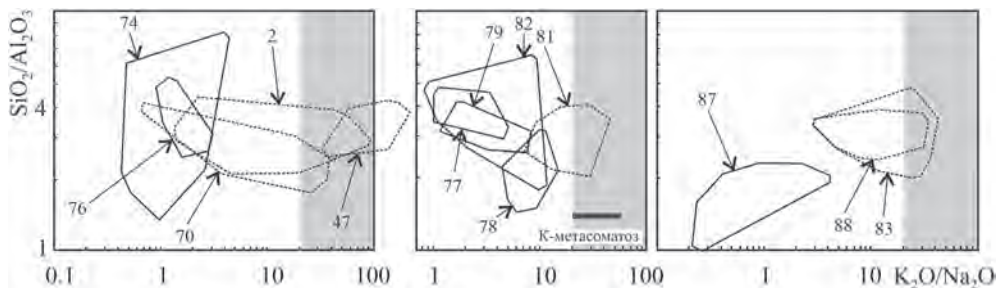


Рис. 4.6. Положение полей фигуративных точек состава синрифтовых глинистых пород на диаграмме  $K_2O/Na_2O-SiO_2/Al_2O_3$ .

Серый фон – область значений  $K_2O/Na_2O$  и  $SiO_2/Al_2O_3$ , дающих основание предполагать, по представлениям [Volnar et al., 2005], воздействие на породы процессов калиевого метасоматоза и окремнения

#### 4.4. Состав пород-источников сноса для синрифтовых глинистых образований

На диаграмме F1–F2 [Roser, Korsch, 1988], позволяющей судить о составе пород-источников тонкозернистой алюмосиликокластики, можно видеть в целом два типа распределения полей состава глинистых пород различных рифтогенных структур (рис. 4.7). Первый характеризуется приуроченностью по-

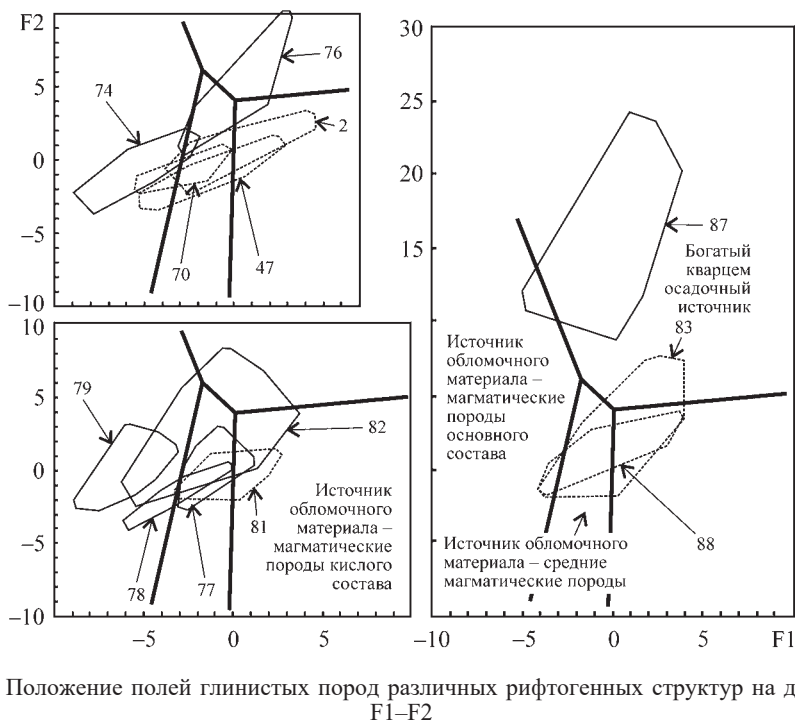


Рис. 4.7. Положение полей глинистых пород различных рифтогенных структур на диаграмме F1–F2

давляющей части фигуративных точек индивидуальных проб того или иного объекта к одной области названной диаграммы. Например, поля синрифтовых глинистых пород Северного Синая (формации Bir Maghara и Safa) и Бассейна Krishna-Godavari (объекты 74 и 79) тяготеют к области составов, источником тонкой алюмосиликокластики для которой выступали основные магматические породы. Поля тонкозернистых обломочных образований серий Asu River и Cross River Трога Lower Venue и альбских аргиллитов Бассейна Oliete (объекты 70 и 77) приурочены к области составов диаграммы F1–F2, считающейся сложенной продуктами разрушения магматических пород среднего состава, тогда как поле глинистых пород нижнего эоцена Бассейна Cambay (объект 87) расположено в области значений F1 и F2, свойственных составам, сформированным за счет размыва осадочных источников.

Второй тип распределения полей состава глинистых пород различных рифтогенных структур – расположение их в нескольких областях диаграммы, что предполагает существование в областях размыва существенно более пестрых по составу ассоциаций пород-источников тонкой алюмосиликокластики. Так, фигуративные точки тонкозернистых обломочных образований среднего триаса-верхней юры запада Центральномедиземноморского региона (объект 83) присутствуют в четырех областях; нет их только в области составов, образованных продуктами размыва магматических пород основного состава.

#### **4.5. Положение полей синрифтовых глинистых пород на дискриминантных палеогеодинамических диаграммах**

*Диаграмма Мейнарда с соавторами.* Ранее мы отмечали, что одной из первых дискриминантных палеогеодинамических диаграмм, в которой использована информация о валовом химическом составе песчаников и глинистых пород, является диаграмма  $K_2O/Na_2O-SiO_2/Al_2O_3$  [Maynard et al., 1982]. Для ее разработки были привлечены данные о химическом составе современных глубоководных песков и ассоциирующих с ними пелитовых осадков различных островодужных обстановок (сдвиговых, преддуговых, задуговых, континентальных и выдвинутых в океан дуг и др.). Учтена также информация о составе древних граувакковых песчаников. Очевидно, что применять эту диаграмму для расшифровки палеогеодинамических обстановок формирования синрифтовых глинистых пород, по всей видимости, нельзя, так как степень неопределенности полученных результатов может быть весьма высокой. Тем не менее мы показали расположение на диаграмме  $K_2O/Na_2O-SiO_2/Al_2O_3$  (в рисовке [Rosser, Korsch, 1986; Hassan et al., 1999; Ghosh, Sarkar, 2010]) средних точек состава глинистых пород, выполняющих различные рифтогенные структуры (рис. 4.8). Точки 12 из 13 объектов локализованы на ней в области составов, характерных для обстановок пассивных континентальных окраин, и только средняя точка глинистых пород нижнего эоцена Бассейна Cambay (объект 87) оказалась в области составов, отвечающих обстановкам активных континентальных окраин, хотя, по данным [Pundaree et al., 2015], указанный бассейн считается принадлежащим к категории интракратонных рифтов.

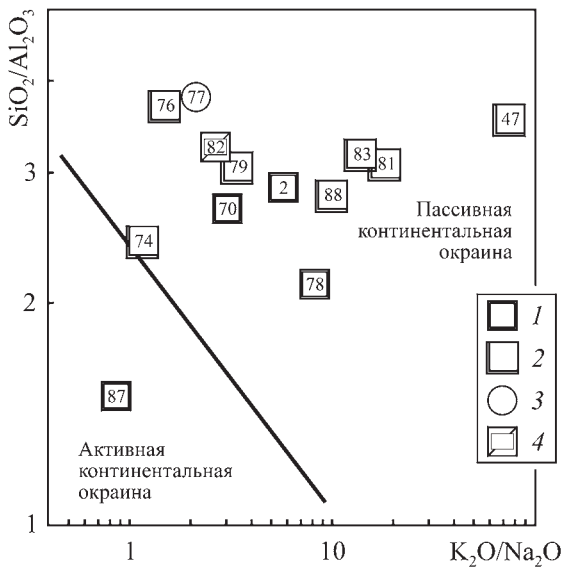


Рис. 4.8. Положение средних точек глинистых пород различных рифтогенных структур на диаграмме  $K_2O/Na_2O-SiO_2/Al_2O_3$ .

1 – интракратонные рифты; 2 – рифтовые структуры ранних стадий раскрытия океанических бассейнов; 3 – рифтовые структуры ранних стадий формирования краевых морей; 4 – рифтогенные структуры, формирующиеся на стадии коллапса орогенов. Цифры в квадратах и других значках соответствуют номерам рассматриваемых в данной работе объектов

Следует подчеркнуть, что в распределении средних точек тонкозернистых обломочных пород в области составов пассивной континентальной окраины нет какой-либо закономерности. Например, глинистые породы рифтовых структур

ранних стадий раскрытия океанических бассейнов могут характеризоваться как весьма высокими (~76, объект 47), так и достаточно низкими (~1.2 и 1.5, объекты 74 и 76) величинами  $K_2O/Na_2O_{ср}$ .

*Диаграмма Розера и Корша.* На диаграмме  $SiO_2-K_2O/Na_2O$  [Roser, Korsch, 1986] поля индивидуальных точек синрифтовых глинистых пород распределены во всех трех ее областях (составы, характерные для пассивных континентальных окраин; составы, свойственные обстановкам активных континентальных окраин; составы, присущие приостроводужным бассейнам осадконакопления) (рис. 4.9). Значительная часть полей (например, объектов 2, 70, 74, 76, 77, 78 и 79) охватывает несколько областей данной диаграммы. В некоторых случаях (объекты 70, 74, 77, 79) индивидуальные точки состава глинистых пород присутствуют во всех трех классификационных областях диаграммы  $SiO_2-K_2O/Na_2O$ , т. е., если находиться на формальных позициях, в составе одной естественной совокупности тонкозернистых обломочных пород, вы-

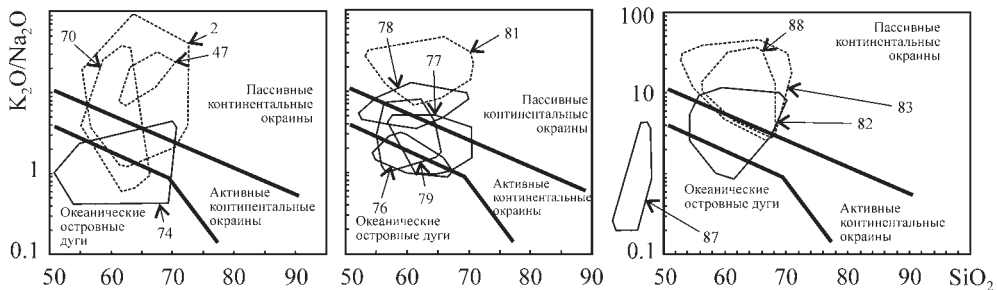


Рис. 4.9. Положение полей фигуративных точек глинистых пород различных рифтогенных структур на диаграмме  $SiO_2-K_2O/Na_2O$

полняющей ту или иную рифтогенную структуру, присутствуют образования, имеющие валовый химический состав, характерный как для отложений пассивных и активных континентальных окраин, так и для океанических островных дуг. Поверить в реальность такой ситуации весьма трудно, и, следовательно, вывод из сказанного может быть только один – диаграмма  $\text{SiO}_2\text{--K}_2\text{O}/\text{Na}_2\text{O}$  не позволяет корректно разграничить синрифтовые глинистые породы и тонкозернистые обломочные образования других геодинамических обстановок, поскольку она, как и диаграмма  $\text{K}_2\text{O}/\text{Na}_2\text{O--SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$ , построена преимущественно на основе данных по валовому химическому составу граувакковых песчаниково-аргиллитовых последовательностей, сформированных в приостроводужных обстановках. Аналитических данных по различным субобстановкам пассивных окраин в работе [Roser, Korsch, 1986] в целом немного, не разделена на них и область составов соответствующих глинистых пород.

*Диаграмма Верма и Армстронга-Алтрина.* Положение полей синрифтовых глинистых пород из нашего банка данных на диаграмме DF1–DF2 [Verma, Armstrong-Altrin, 2013] весьма своеобразно. Ни на диаграмме для пород с высоким содержанием  $\text{SiO}_{2\text{adj}}$  (рис. 4.10, а), ни на диаграмме для пород с содержанием  $\text{SiO}_{2\text{adj}} < 63$  мас. % (рис. 4.10, б, в) практически ни одно из полей, за исключением поля тонкозернистых обломочных пород нижнего мела Бассейна Congo (объект 76), не расположено полностью в области составов, свойственных, по представлениям [Verma, Armstrong-Altrin, 2013], для рифтогенных обстановок. В подавляющем большинстве случаев образующие те или иные поля индивидуальные фигуративные точки состава глинистых пород распределяются между областями, характеризующими коллизионные и рифтогенные обстановки. Фигуративные точки, образующие поля двух объектов (74 и 77), расположены во всех трех классификационных областях диаграммы DF1–DF2. Точки глинистых пород нижнего эоцена формации Tadkeshwar (объект 87) сосредоточены как в области, типичной для составов терригенных пород коллизионных обстановок, так и в области составов, характерных для островодужных пород. На диаграммах  $\text{K}_2\text{O}/\text{Na}_2\text{O--SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$  и  $\text{SiO}_2\text{--K}_2\text{O}/\text{Na}_2\text{O}$  последние также занимают, как мы видели ранее, обособленное положение, располагаясь соответственно в полях активных континентальных окраин и океанических островных дуг.

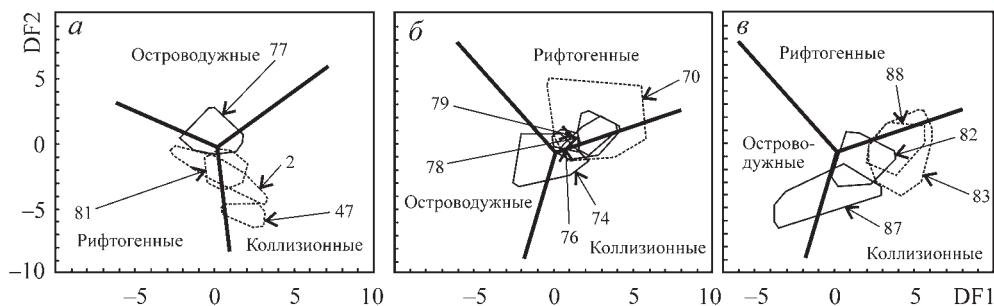


Рис. 4.10. Положение полей фигуративных точек состава синрифтовых глинистых пород различных объектов на диаграмме DF1–DF2.

а – породы с содержанием  $\text{SiO}_{2\text{adj}} > 63$  мас. %; б, в – то же с  $\text{SiO}_{2\text{adj}} < 63$  мас. %

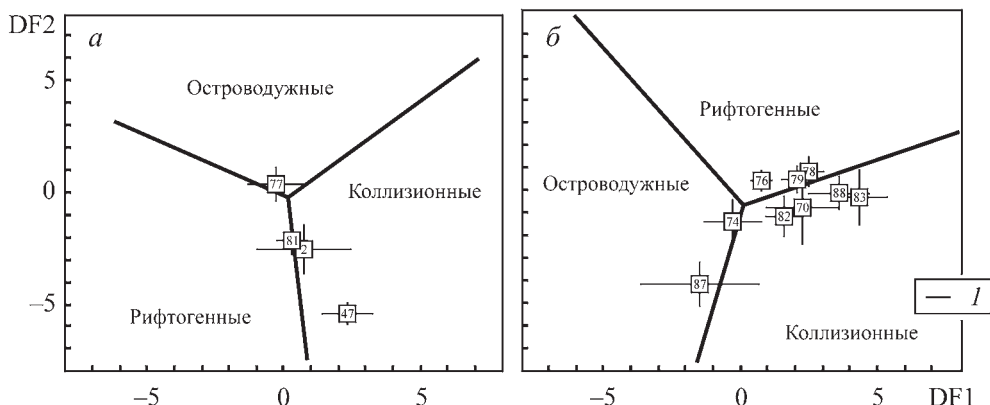


Рис. 4.11. Средние точки состава синрифтовых глинистых пород различных структур (номера в квадратиках) на диаграмме DF1–DF2.

*a* – породы с содержанием  $\text{SiO}_{2\text{adj}} > 63$  мас. %, *б* – породы с содержанием  $\text{SiO}_{2\text{adj}} < 63$  мас. %.  
*I* – линии с торцевыми ограничениями – величины стандартного отклонения

Не «спасает ситуацию» и обращение к анализу распределения на указанных диаграммах средних точек состава синрифтовых глинистых пород (рис. 4.11). Большинство таких точек локализовано на диаграмме DF1–DF2 в области составов, характерных для коллизионных обстановок. Средние точки объектов 76, 78 и 79 расположены в области составов, типичных для терригенных пород рифтогенных обстановок, но при этом тяготеют к линии, разделяющей области рифтогенных и коллизионных осадочных образований. Средняя точка глинистых пород нижнего эоцена Бассейна Самбау и здесь попадает в область составов, свойственных островодужным обстановкам.

## 4.6. Обсуждение результатов и выводы

В рассматриваемой нами в настоящей работе ситуации 2 положение точек состава индивидуальных образцов синрифтовых глинистых пород на классификационных диаграммах  $[(\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O})/\text{Al}_2\text{O}_3] - [(\text{Fe}_2\text{O}_3^* + \text{MgO})/\text{SiO}_2]$  и  $\text{K}/\text{Al} - \text{Mg}/\text{Al}$  показывает, что они сложены преимущественно каолинитом, смектитом, хлоритом и гидрослюдами. Существенное перекрытие полей тонкозернистых обломочных пород различных объектов указывает на сходство составов синрифтовых глинистых пород различных типов рифтогенных структур. В целом для синрифтовых глинистых пород характерны значительные вариации валового химического состава. Например, средние содержания  $\text{SiO}_2$  варьируют от 44.74 до 66.42 мас. %, среднее содержание  $\text{Al}_2\text{O}_3$  меняется от 16.62 до 29.92 мас. %, а величины параметра  $\text{K}_2\text{O}_{\text{cp}}$  находятся в пределах 0.24–5.77 мас. %.

В проанализированной выборке синрифтовых глинистых образований, несомненно, преобразованными процессами калиевого метасоматоза являются только породы формации Ти́и; глинистые породы ряда других объектов (2, 70, 81 и др.) изменены указанными процессами в той или иной степени.

Исходя из распределения фигуративных точек состава синрифтовых глинистых пород различных объектов на диаграмме F1–F2, можно считать, что источниками тонкой алюмосиликокластики для них являлись магматические породы широкого спектра составов и осадочные образования.

На диаграмме  $K_2O/Na_2O-SiO_2/Al_2O_3$  Дж. Мейнарда с соавторами подавляющее число средних точек состава синрифтовых глинистых пород расположено в области составов, характерных для обстановок пассивных континентальных окраин.

На диаграмме  $SiO_2-K_2O/Na_2O$  поля индивидуальных точек синрифтовых глинистых пород распределены во всех трех ее классификационных областях, при этом значительная часть полей охватывает две или три области. В такой ситуации формально можно считать, что в составе одной естественной совокупности рифтогенных тонкозернистых обломочных пород присутствуют образования, имеющие валовый химический состав, характерный как для отложений пассивных и активных континентальных окраин, так и для океанических островных дуг. Это, однако, достаточно маловероятно, и, следовательно, можно думать, что диаграмма  $SiO_2-K_2O/Na_2O$ , как и диаграмма  $K_2O/Na_2O-SiO_2/Al_2O_3$ , не позволяет корректно разграничить синрифтовые глинистые породы и тонкозернистые обломочные образования других геодинамических обстановок.

Положение полей представленных в нашем банке данных синрифтовых глинистых пород на диаграмме DF1–DF2 [Verma, Armstrong-Altrin, 2013] также своеобразно. В большинстве случаев они занимают то или иное положение в областях, характеризующих коллизионные и рифтогенные обстановки,

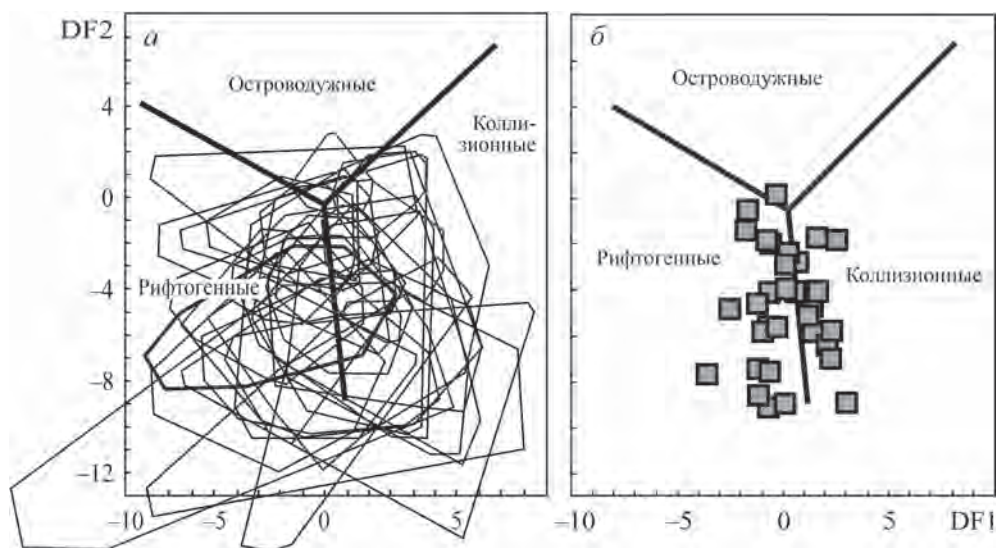


Рис. 4.12. Положение полей фигуративных точек состава терригенных образований (песчаников и глинистых пород), выполняющих различных рифтогенные структуры, на диаграмме DF1–DF2 ( $SiO_{2adj} > 63$  мас. %) (а) и распределение на такой же диаграмме средних точек состава синрифтовых песчаников и тонкозернистых обломочных образований (б)

а ряд полей расположен во всех трех классификационных областях диаграммы. Существенная доля средних точек синрифтовых глинистых пород локализована здесь в области составов, характерных для коллизионных обстановок. Представляется, что все сказанное свидетельствует о том, что и диаграмма DF1–DF2 не позволяет получить корректное суждение о геодинамической природе тонкозернистых обломочных пород рифтогенных ассоциаций.

Такой же вывод можно сделать, исходя из анализа характера распределения на диаграмме DF1–DF2 полей состава синрифтовых тонкозернистых осадочных образований (ситуация 2), а также рифтогенных песчаников и глинистых пород (ситуация 3, см. далее) (рис. 4.12, *а*), локализованных между областями составов, характерных для рифтогенных и коллизионных обстановок. В последней области сосредоточено и порядка 40% средних точек состава синрифтовых терригенных образований (рис. 4.12, *б*).

---

## **5. СИТУАЦИЯ 3 – СИНРИФТОВЫЕ ПЕСЧАНИКИ И ГЛИНИСТЫЕ ПОРОДЫ: ВАЛОВЫЙ ХИМИЧЕСКИЙ СОСТАВ И ПОЛОЖЕНИЕ НА ДИСКРИМИНАНТНЫХ ПАЛЕОГЕОДИНАМИЧЕСКИХ ДИАГРАММАХ**

---

Сопоставление валового химического состава синрифтовых песчаников и ассоциирующих с ними глинистых пород (ситуация 3) и анализ распределения образуемых ими естественных полей на диаграммах  $\log(\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3) - \log(\text{Na}_2\text{O}/\text{K}_2\text{O})$ ,  $\text{SiO}_2 - \text{K}_2\text{O}/\text{Na}_2\text{O}$  и DF1–DF2 показали, что представленные в нашем банке данных песчаники принадлежат преимущественно к грауваккам, лититам, аркозам и субаркозам. Существенно меньше среди них сублититов и кварцевых аренитов. Синрифтовые глинистые породы сложены более зрелым материалом, источниками которого, как это следует из положения их фигуративных точек на диаграмме F1–F2, выступали преимущественно осадочные образования. Установлено, что распределение полей синрифтовых песчаников и глинистых пород на диаграмме  $\text{SiO}_2 - \text{K}_2\text{O}/\text{Na}_2\text{O}$  не имеет каких-либо выраженных индивидуальных особенностей. Фигуративные точки терригенных пород рифтогенных структур локализованы на ней преимущественно в областях состава, характерных для пассивных и активных континентальных окраин. На диаграмме DF1–DF2 большинство естественных полей синрифтовых псаммитов и ассоциирующих с ними глинистых пород расположено в областях составов характерных для рифтогенных и коллизионных обстановок, т. е. выполняющие различные типы рифтогенных структур песчано-глинистые породы несут в своем валовом химическом составе признаки обеих обстановок. Однако нам такая ситуация представляется маловероятной.

### **5.1. Материал и подходы к его анализу**

Приводимые далее данные и результаты их обсуждения основаны на собранном нами банке данных о валовом химическом составе (основные породообразующие оксиды, редкие и рассеянные элементы) глинистых пород и песчаников более чем 30 осадочных последовательностей разного возраста, на-



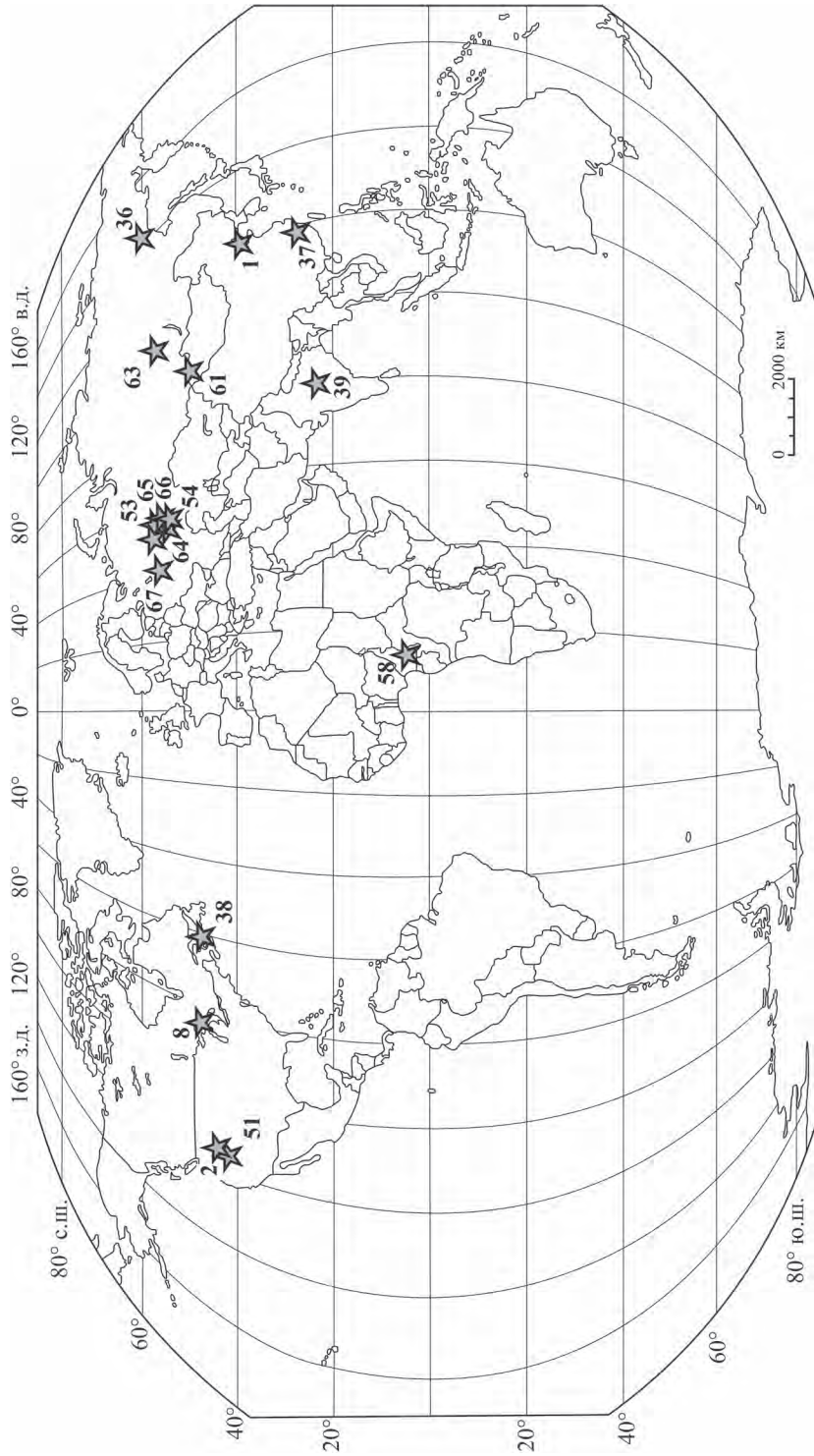


Рис. 5.1. Рифтогенные структура, аналитические данные для терригенных пород осадочного заполнения которых рассмотрены в настоящей работе (расшифровку см. в тексте), географическая основа по [Verta, Armstrong-Altrin, 2013] с некоторыми изменениями



Рис. 5.2. Песчаники и тонкозернистые обломочные/глинистые породы осадочного заполнения различных категорий рифтов (серая заливка, классификация по [Sengör, 1995; Sengör, Natal'in, 2001]), речь о которых идет в данной главе

капливавшихся в различных типах рифтовых структур. Главным инструментом исследований явился анализ положения полей фигуративных точек составов песчаников и ассоциирующих с ними аргиллитов/глинистых сланцев/метапелитов 14 таких объектов (рис. 5.1) (учтено почти 230 полных химических анализов тонкозернистых обломочных/глинистых пород и ~300 анализов песчаников), представляющих интракратонные рифты (объекты 2, 36, 51, 53, 54 и др.), рифты, сформированные на этапах распада суперконтинентов (объекты 8, 58), пулл-апарт бассейны (объект 39) и рифтовые структуры, так или иначе связанные с процессами субдукции (объекты 1, 38, 61) (рис. 5.2), на таких дискриминантных палеогеодинамических диаграммах<sup>12</sup>, как  $\text{SiO}_2\text{-K}_2\text{O/Na}_2\text{O}$  [Roser, Korsch, 1986] и DF1–DF2 [Verma, Armstrong-Altrin, 2013].

К числу рассматриваемых нами осадочных образований относятся песчаники и глинистые породы: 1) неогенового Бассейна Jiuyang, Северный Китай (объект 1) [Cai et al., 2008, 2011]; 2) неопротерозойской серии Uinta Mountain, США (объект 2) [Condie et al., 2001]; 3) палеопротерозойской формации Serpent надсерии Huronian, Канада (объект 8) [Fedo et al., 1997]; 4) мезопротерозойской уйской серии, Учуро-Майский регион, Россия (объект 36) [Подковыров, 2001; Khudoley et al., 2001; Подковыров и др., 2002; Cullers, Podkovyrov, 2002]; 5) отложений мезопротерозоя юго-восточной части Блока Yangtze, Южный Китай (объект 37) [Deru et al., 2007]; 6) неопротерозойской формации Gamble Brook, Авалонский террейн, Канада (объект 38) [Murphy, 2002]; 7) перми и триаса Центральной Индии (объект 39) [Ghosh et al., 2012]; 8) мезопротерозойской надсерии Belt-Purcell, США (объект 51) [González-Alvarez, 2005]; 9) айской свиты нижнего рифея (бурзяния) Башкирского мегантиклинория (объект 53) [Маслов и др., 2002; Maslov, Isherskaya, 2002; и др.]; 10) машак-

<sup>12</sup> На первой диаграмме нет собственно области составов, характерных для рифтогенных структур, на второй такая область есть.

ской свиты среднего рифея (юрматиния) той же структуры (объект 54) [Маслов и др., 2002; Maslov, Isherskaya, 2002; и др.]; 11) мелового Бассейна Douala, Юго-Восточный Камерун (объект 58) [Ngueutchoua et al., 2017]; 12) формации Nanmingshui нижнего карбона Северо-Восточного Junggar, Китай (объект 61) [Tao et al., 2014]; 13) неопротерозойской чингасанской серии Енисейского кряжа (объект 63) [Ножкин и др., 2007, 2008; Лиханов, Ревердатто, 2015]; 14) прикамской свиты нижнего рифея Волго-Уральской области (объект 64) [Маслов, 1994б; Маслов, Ишерская, 1998].

Кроме того, для сравнения использованы сведения о валовом химическом составе 22 образцов глинистых сланцев и 32 песчаников из разрезов зигазино-комаровской и авзянской свит среднего рифея западного склона Южного Урала, принадлежащих к категории «надрифтовых» образований (соответственно объекты 65 и 66) [Маслов и др., 2012а]; привлечены также аналогичные данные о составе алевропесчаных пород ряда эратем рифея и систем фанерозоя Русской плиты (объект 67) [Ронов и др., 1995].

## **5.2. Положение полей синрифтовых песчаников и ассоциирующих с ними глинистых пород на классификационных диаграммах**

На классификационной диаграмме  $\log(\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3) - \log(\text{Na}_2\text{O}/\text{K}_2\text{O})$  [Петтиджон и др., 1976] точки состава ассоциирующих с глинистыми породами синрифтовых песчаников сосредоточены преимущественно в областях граувакк, лититов, аркозов и субаркозов, а также сублититов (рис. 5.3, а). Относительно небольшая часть их присутствует в области кварцевых аренитов. Примерно четверть всей выборки представлена псаммитами с величинами  $\log(\text{Na}_2\text{O}/\text{K}_2\text{O}) < -1.0$ ; такие породы не вписываются в стандартные поля песчаников, обозначенные на данной классификационной диаграмме.

В составе ассоциирующих с песчаниками синрифтовых глинистых пород, как это следует из анализа их валового химического состава, преобладает гидрослюда с той или иной долей смектита, каолинита и хлорита (рис. 5.3, б). Ряд образцов, представляющих объекты 8 (формация *Serpent*) и 58 (меловые отложения Бассейна Douala), предположительно содержит заметную долю тонко-обломочных полевых шпатов.

На диаграмме F1–F2 индивидуальные точки состава синрифтовых псаммитов и ассоциирующих с ними глинистых пород распределены в существенной степени по-разному. Если первые можно видеть во всех классификационных областях указанного графика, то вторые доминируют в области составов, сложенных продуктами разрушения «богатого кварцем осадочного источника» (ср. рис. 5.3, в, г) или, иными словами, химически достаточно зрелого источника, представленного неоднократно переотложенными/рециклированными осадочными образованиями. Это, по всей видимости, демонстрирует локальный/местный характер источников песчаного материала, тогда как тонкая синрифтовая алюмосиликокластика (как это в общем случае и должно быть) представляет существенно более обширные водоразделы.

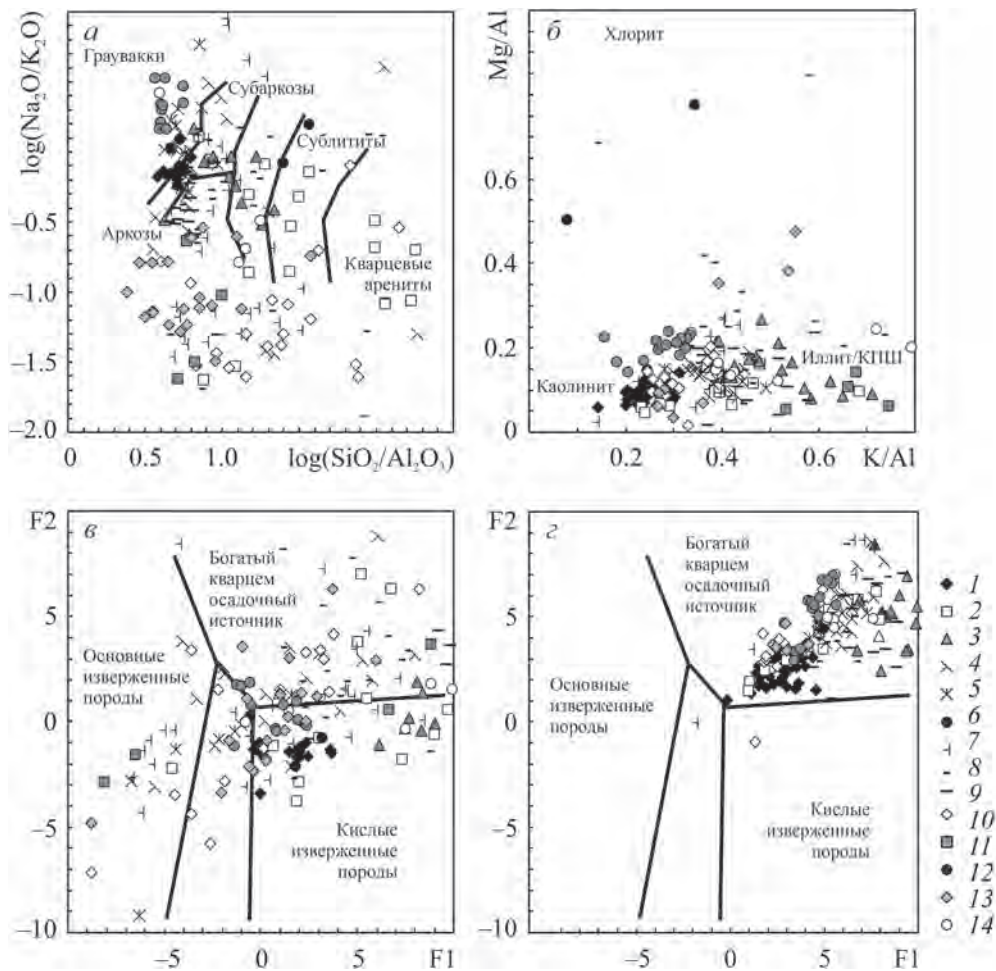


Рис. 5.3. Распределение точек состава синрифтовых песчаников и ассоциирующих с ними глинистых пород на классификационных диаграммах  $\log(\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3)$ – $\log(\text{Na}_2\text{O}/\text{K}_2\text{O})$  [Петтиджон и др., 1976] (а) и  $\text{K}/\text{Al}$ – $\text{Mg}/\text{Al}$  [Turgeon, Brumsack, 2006] (б), а также диаграмме F1–F2 (в, г).

Обозначения на рисунке (например, объекты 39 или 64) соответствуют номерам анализируемых в тексте объектов и их номерам в табл. 3.1.

Объекты: 1 – Бассейн Jiyang; 2 – серия Uinta Mountain; 3 – формация Serpent; 4 – уйская серия; 5 – отложения мезо- и неопротерозоя юго-восточной части Блока Yangtze; 6 – формация Gamble Brook; 7 – отложения перми и триаса Центральной Индии; 8 – надсерия Belt-Purcell; 9 – айская свита; 10 – машакская свита; 11 – Бассейн Douala; 12 – формация Nanmingshui; 13 – чингасанская серия; 14 – прикамская свита

### 5.3. Общие особенности валового химического состава синрифтовых песчаников и ассоциирующих с ними глинистых пород

Средние арифметические ( $\text{SiO}_{2\text{cp}}$ ), минимальные и максимальные содержания основных породообразующих оксидов и значения ряда индикаторных их отношений в синрифтовых песчаниках и ассоциирующих с ними глинистых породах, рассматриваемых в настоящей работе, приведены в табл. 3.1.

Анализ этих данных показывает, что среднее содержание  $\text{SiO}_2$  в песчаниках различных рифтогенных структур варьирует от ~64.0 мас. % (формация Nanmingshui, объект 61) до ~90.0 мас. % (серия Uinta Mountain, объект 2). Среднее содержание оксида кремния для всех синрифтовых песчаников из нашего банка данных составляет ~77.0 мас. %, тогда как в среднем протерозойском кратонном песчанике оно равно ~92.0 мас. % [Condie, 1993], а в породах верхней континентальной коры [Rudnick, Gao, 2003] составляет примерно 67.0 мас. %. Минимальные содержания  $\text{SiO}_2$  в синрифтовых псаммитах, представленных в нашем банке данных, составляют от ~58.0 (объект 63) до 87.0 мас. % (объект 64), а в ассоциирующих с ними глинистых породах изменяются от ~49 до 62 мас. % (соответственно объекты 38 и 37) (рис. 5.4). Величины  $\text{SiO}_{2\text{макс}}$  варьируют от ~72 до 99 мас. % (объекты 13 и 2) и от ~63.0 до 81.0 мас. % (объекты 39 и 53). Для «надрифтовых» псаммитов среднего рифея Южного Урала параметр  $\text{SiO}_{2\text{cp}}$  составляет от ~81.0 до 90.0 мас. %, а алевропесчаные породы Восточно-Европейской плиты характеризуются значениями  $\sim 67.0 < \text{SiO}_{2\text{cp}} < 81.0$  мас. % (см. табл. 3.1).

В синрифтовых аргиллитах и глинистых сланцах, ассоциирующих с псаммитами, величина  $\text{SiO}_{2\text{cp}}$  варьирует от ~60.0 мас. % (мезонеопротерозой юго-востока Блока Yangtze, объект 37; пермо-триасовые отложения Центральной Индии, объект 39; формация Nanmingshui, нижний карбон, объект 61) до ~67.0 мас. % (объект 37). Значения  $\text{SiO}_{2\text{cp}}$  в «надрифтовых» глинистых сланцах среднего рифея Южного Урала отвечают указанному интервалу. Величина  $\text{SiO}_{2\text{cp}}$ , составляющая для всех синрифтовых глинистых пород из нашей аналитической выборки ~63.2 мас. %, достаточно близка к значению этого параметра в PAAS (62.8 мас. % [Condie, 1993]).

Сопоставление собственных синрифтовым псаммитам и глинистым породам интервалов содержания оксида кремния, охватывающих диапазон от минимальных до максимальных величин данного параметра (рис. 5.5, а), показывает, что есть несколько ситуаций. Во-первых, для объектов 1, 61 и 63 мы видим либо существенное, либо почти полное перекрытие интервалов значений  $\text{SiO}_2$  в песчаниках и глинистых породах. Во-вторых, для ряда объектов наблюдаются не только отсутствие сколько-нибудь видимого перекрытия полей, но и существенный разрыв между ними (объекты 54 и 64). В-третьих, для объектов 2, 38, 39 и ряда других интервалы содержаний  $\text{SiO}_2$  в песчаниках «продолжают» такие же интервалы для глинистых пород.

Параметр  $\text{Al}_2\text{O}_{3\text{cp}}$  для синрифтовых песчаников из нашего банка данных варьирует от ~4.0 мас. % (объект 2) до ~17.0 мас. % (объект 58). В указанный интервал попадают и средние содержания оксида алюминия в «надрифтовых» псаммитах юрматинской серии Южного Урала и в использованных нами

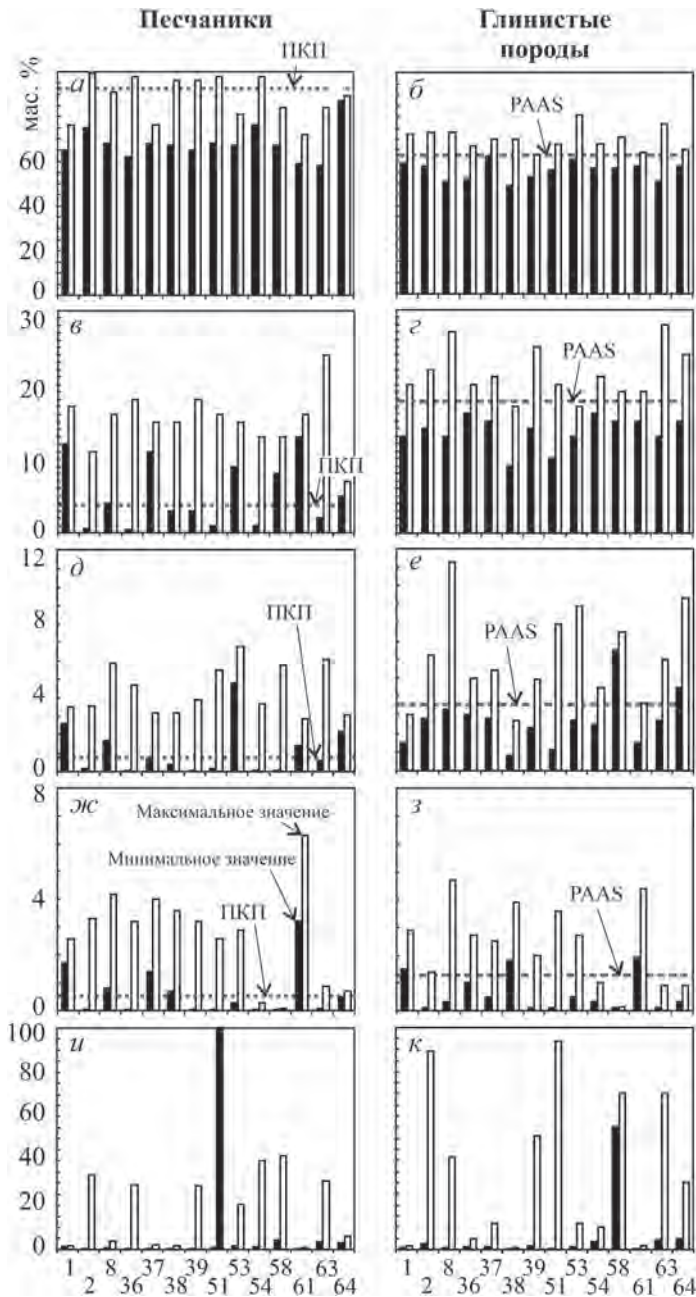


Рис. 5.4. Интервалы распределения содержаний оксидов кремния (а, б), алюминия (в, в), калия (d, e), натрия (ж, з) и значений  $K_2O/Na_2O$  (и, к) в синрифтовых песчаниках и ассоциирующих с ним глинистых породах различных рифтогенных структур.

ПКП – средний протерозойский кратонный песчаник, РААС – средний постархейский австралийский глинистый сланец [Condie, 1993]. Вдоль горизонтальной оси диаграмм показаны различные рифтогенные объекты из нашего банка данных. Они соответствуют номерам объектов в тексте и их номерам в табл. 3.1

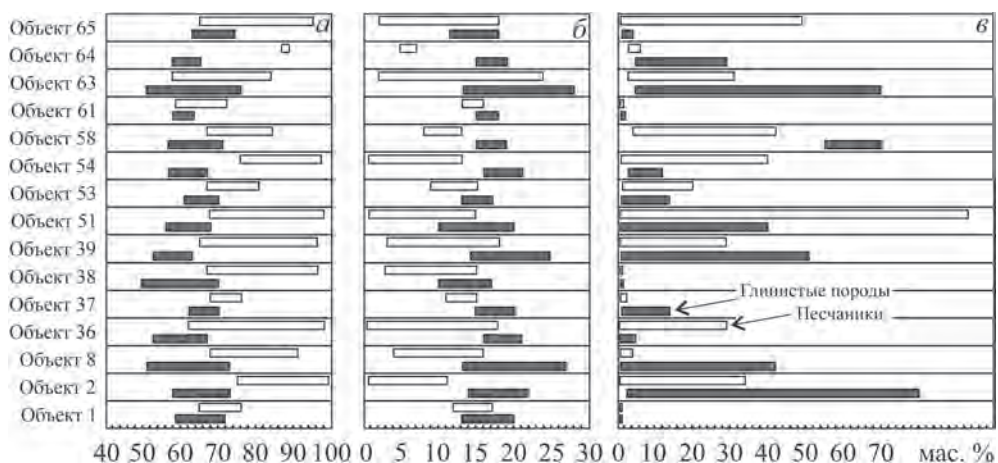


Рис. 5.5. Распределение содержаний оксидов кремния (а) и алюминия (б), а также величин  $K_2O/Na_2O$  (в) в синрифтовых песчаниках и ассоциирующих с ним глинистых породах различных рифтогенных структур

для сопоставления алевропесчаных породах рифея и фанерозоя Восточно-Европейской плиты. Синрифтовые аргиллиты обладают заметно более узким коридором величин  $Al_2O_{3\text{ср}}$ : от  $\sim 15.0$  мас. % (айская свита, объект 53) до  $\sim 19.0$  мас. % (машакская свита, объект 54; серия Uinta Mountain, объект 2). Примерно такие же по диапазону вариаций значения рассматриваемого параметра характерны для «надрифтовых» глинистых пород среднего рифея Южного Урала. Распределение  $Al_2O_3$  в синрифтовых псаммитах и ассоциирующих с ними тонкозернистых обломочных породах зеркально по отношению к распределению  $SiO_2$  (рис. 5.5, б).

Минимальные содержания оксида алюминия в синрифтовых песчаниках изменяются от  $\sim 0.4$  до 13 мас. %, а максимальные соответствуют интервалу  $\sim 7\text{--}24$  мас. %. Среднее значение  $Al_2O_3$  для всех псаммитов из нашей выборки составляет  $10.1 \pm 3.2$  мас. %, что почти в 3 раза выше, чем в средних протерозойском или фанерозойском (соответственно 3.8 и 3.6 мас. %) кратонных песчаниках К. Конди [Condie, 1993]. Содержание  $Al_2O_3$  в UCC<sup>13</sup>, напомним, оценивается в 15.4 мас. % [Rudnick, Gao, 2003]. Для синрифтовых глинистых пород минимальные концентрации  $Al_2O_3$  соответствуют интервалу значений 9–16 мас. %, максимальные – 17–28 мас. %. Среднее содержание  $Al_2O_3$  для всей исследованной нами выборки достигает  $17.0 \pm 1.2$  мас. %; в PAAS этот параметр немногим больше (18.9 мас. %).

Максимальное среднее содержание  $Fe_2O_3^*$  в синрифтовых псаммитах составляет  $\sim 7.0$  мас. % (объект 37), минимальное – несколько больше 1.0 мас. % (объекты 2 и 64). Примерно такие же по диапазону вариаций значения  $Fe_2O_3^*_{\text{ср}}$  характерны для «надрифтовых» песчаников зигазино-комаровской и авзянской свит Южного Урала и алевропесчаных образований ряда стратиграфических уровней Восточно-Европейской плиты. Ассоциирующие с синрифтовыми

<sup>13</sup> UCC – верхняя континентальная кора.

ми песчаниками аргиллиты и глинистые сланцы обладают средними содержаниями  $Fe_2O_3^*$  от 4.0 мас. % (объект 58) до 12.0 мас. % (машакская свита, объект 54). Тонкозернистые обломочные породы «надрифтовых» осадочных последовательностей Южного Урала характеризуются сопоставимыми с наблюдаемыми в синрифтовых песчаниках значениями  $Fe_2O_3^*_{cp}$  (~6.0 мас. %).

Величина  $Na_2O_{cp}$  в синрифтовых псаммитах изменяется от ~0.1 мас. % (машакская свита, объект 54; осадочное выполнение Бассейна Douala, объект 58) до ~4.2 мас. % (формация Nanmingshui). Коридор значений  $Na_2O_{cp}$  для алевропесчаных пород ряда уровней Восточно-Европейской плиты (см. табл. 3.1) составляет ~0.4–0.8 мас. %, а для «надрифтовых» псаммитов среднего рифея Южного Урала ~0.1–1.2 мас. %. Синрифтовые глинистые породы характеризуются содержаниями  $Na_2O_{cp}$  от ~0.1 мас. % (объект 58) до ~2.8 мас. % (объект 38). В этом интервале находятся и значения  $Na_2O_{cp}$  для «надрифтовых» глинистых сланцев юрматинской серии Южного Урала.

Минимальные концентрации  $Na_2O$  в синрифтовых псаммитах составляют от 0.01 до 3.2 мас. %, максимальные соответствуют интервалу 0.1–6.3 мас. %. Внутри указанного диапазона вариаций находится среднее содержание оксида натрия в УСС, которое, в соответствии с оценкой [Rudnick, Gao, 2003], составляет ~3.3 мас. %.

Минимальное значение  $K_2O_{cp}$  в песчаниках нашей выборки составляет ~1.4 мас. % (машакская свита), максимальное достигает ~5.9 мас. % (айская свита). Для «надрифтовых» псаммитов Южного Урала данный параметр равен ~2.0 мас. %, а для алевропесчаных пород различных стратиграфических интервалов Восточно-Европейской плиты – варьирует от 1.3 (силур) до ~4.0 мас. % (нижний рифей). Вариации минимальных и максимальных содержаний оксида калия в синрифтовых песчаниках выражены несколько менее ярко, чем у оксида алюминия. Минимальные содержания  $K_2O$  укладываются в интервал 0.1–4.8 мас. %, максимальные – изменяются от 2.9 до 6.8 мас. %. Среднее содержание  $K_2O$  во всех синрифтовых песчаниках, входящих в нашу аналитическую выборку, равно  $2.5 \pm 1.1$  мас. %. Это примерно в 2.5 раза больше, чем в протерозойском и фанерозойском кратонных песчаниках К. Конди (соответственно 0.88 и 0.91), но сопоставимо с содержанием оксида калия в УСС, оцениваемым в 2.8 мас. % [Rudnick, Gao, 2003].

Ассоциирующие с синрифтовыми песчаниками тонкозернистые обломочные породы обладают величинами  $K_2O_{cp}$  от ~1.8 мас. % (объект 38) до ~6.1 (объект 8) и ~7.0 мас. % (меловые отложения Бассейна Douala и прикамская свита нижнего рифея Волго-Уральской области). Примерно такие же значения  $K_2O_{cp}$  присущи глинистым породам «надрифтовых» осадочных последовательностей среднего рифея Южного Урала. Значения  $K_2O_{мин}$  варьируют от 0.8 до 6.5 мас. %, а величины  $K_2O_{макс}$  попадают в интервал 2.7–11.3 мас. %. Среднее содержание оксида калия для этого типа осадочных образований в нашем банке данных составляет  $4.3 \pm 1.5$  мас. %, что примерно соответствует содержанию  $K_2O$  в PAAS (3.7 мас. %) [Condie, 1993].

Вариации величины  $K_2O/Na_2O_{cp}$  в синрифтовых песчаниках весьма значительны: от 1.1 (объекты 37 и 38) до 11.5 (чингасанская серия, объект 63) и ~26.0 (меловые отложения Бассейна Douala, объект 58). Минимальные величины  $K_2O/Na_2O$  для синрифтовых песчаников варьируют от 0.1 (объект 39) до 4.3 (объект 58), тогда как максимальные изменяются от ~0.7 (объект 61) до >100



(объект 51). Средняя величина  $K_2O/Na_2O$  для синрифтовых песчаников составляет порядка 8.7, в среднем протерозойском кратонном песчанике она равна ~1.7 [Condie, 1993]. В синрифтовых глинистых породах разброс минимальных и максимальных значений  $K_2O/Na_2O$  несколько меньше. Так, первые соответствуют интервалу величин 0.3...~55, вторые – 0.7...~94.

Среднее значение  $K_2O/Na_2O$  в ассоциирующих с синрифтовыми псаммитами глинистых породах из нашего банка данных равно 14.4, а в PAAS этот параметр существенно меньше (~3.1). Для «надрифтовых» псаммитов рифея Южного Урала он составляет от ~6.0 (зигазино-комаровская свита) до ~27.0 (авзянская свита). Алевропесчаные породы различных стратиграфических уровней Восточно-Европейской плиты характеризуются величинами  $K_2O/Na_2O$  от 2.2 (неоген) до 5.3 (нижний рифей и кембрий). Синрифтовые глинистые породы в подавляющем большинстве случаев характеризуются преобладанием  $K_2O$  над  $Na_2O$  ( $\sim 1.2 < K_2O/Na_2O < \sim 62.0$ ); исключением являются только тонкозернистые обломочные породы неопротерозойской формации Gamble Brook (объект 38), сформированные в обстановке внутридугового растяжения [Murphy, 2002].

Распределение интервалов значений  $K_2O/Na_2O$  между минимальными и максимальными их величинами в выборке синрифтовых песчаников и глинистых пород описывается несколькими сценариями (см. рис. 5.5, в). Во-первых, для объектов 1, 38 и 61 такие интервалы для обоих типов пород в существенной степени сопоставимы. Во-вторых, для объектов 2, 8, 37, 39, 63 и 64 интервалы значений  $K_2O/Na_2O$  в тонкозернистых обломочных породах существенно больше, чем в песчаниках (ср., например, данные для объекта 2: в песчаниках  $0.2 < K_2O/Na_2O < 33.8$ , в глинистых породах –  $2.4 < K_2O/Na_2O < 80.4$ ). В-третьих, значения  $K_2O/Na_2O$  в глинистых породах могут быть существенно выше, чем в песчаниках, и образуемые ими интервалы не имеют перекрытия. Такой сценарий характерен, например, для меловых отложений Бассейна Douala Юго-Восточного Камеруна (объект 58): здесь песчаники обладают величинами  $K_2O/Na_2O$  от 4.3 до 42.2, а тонкозернистые обломочные образования – от 55.3 до ~70.0.

Значения  $K_2O/Na_2O > 10$ , которые часто рассматриваются как свидетельство интенсивно проявленного калиевого метасоматоза [Bolnar et al., 2005 и ссылки в этой работе], присущи в нашем банке данных тонкозернистым обломочным породам неопротерозойской серии Uinta Mountain (объект 2), пермтриаса Центральной Индии (объект 39), мезопротерозойской надсерии Belt-Purcell (объект 51), мела Бассейна Douala, Юго-Восточный Камерун (объект 58), неопротерозойской чингасанской серии Енисейского кряжа (объект 63), а также нижнерифейской прикамской свиты Камско-Бельского авлакогена (объект 64). То, что среди перечисленных объектов есть не только дофанерозойские, для которых, в соответствии с представлениями [Fedo et al., 1995 и др.], мы априори должны предполагать заметное влияние К-метасоматоза<sup>14</sup> на со-

---

<sup>14</sup>Как правило, для «снятия» влияния К-метасоматоза при расчете одного из наиболее широко используемых литохимических палеоклиматических индикаторов – индекса CIA [Nesbitt, Young, 1982] – используется диаграмма А-CN-K [Fedo et al., 1995]. Однако если для коррекции величин CIA алгоритм ее применения апробирован, то введение с помощью названной диаграммы поправок к отношению  $K_2O/Na_2O$ , одному из главных параметров ряда классификационных и дискриминантных палеогеодинамических диаграмм, существенно более дискуссионно.

Рис. 5.6. Положение фигуративных точек состава синрифтовых глинистых пород на диаграмме  $K_2O/Na_2O-SiO_2/Al_2O_3$ .

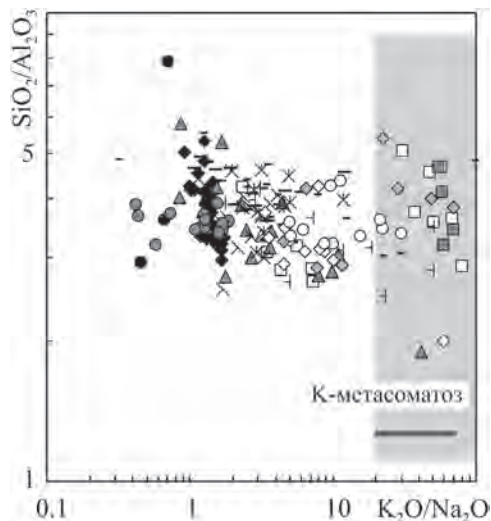
Серый фон – область значений  $K_2O/Na_2O$ , позволяющих предполагать [Bolnar et al., 2005] воздействие на породы процессов калиевого метасоматоза.

Условные обозначения см. на рис. 5.3

держание и соотношение щелочей, но и более молодые образования, дает основание считать, что с возрастом выветрелости субстрата и накопления «первичных» глин кальций и натрия «сбрасываются»/уходят из профилей выветривания, а удельная калиевоность алевроглинистых осадков в результате увеличивается. Собственно это хорошо демонстрирует и предложенный в публикации [Harnois, 1988] химический индекс выветривания, формула которого в отличие от химического индекса изменения (CIA<sup>15</sup>) не содержит оксида калия [ $CIW = 100 \times Al_2O_3 / (Al_2O_3 + CaO + Na_2O)$ ]. Вполне возможно, что заметные вариации величины  $K_2O/Na_2O$  в тонкозернистых обломочных породах связаны с наличием в их составе собственно калиевых полевых шпатов.

На отсутствие существенных метасоматических трансформаций валового химического состава глинистых пород перечисленных выше объектов указывает также распределение фигуративных точек на диаграмме  $K_2O/Na_2O-SiO_2/Al_2O_3$  [Bolnar et al., 2005] (рис. 5.6), где подавляющая их часть сосредоточена в области значений  $K_2O/Na_2O < 20$ . Этот же вывод следует и из присутствия в составе ряда выборок (например, объекты 2, 39 и 63) тонкозернистых обломочных пород со значениями  $K_2O/Na_2O$  как большими, так и существенно меньшими 20.

Еще один аргумент в пользу сказанного – относительно небольшие (от  $0.97 \pm 0.33$ , объект 51, до  $1.58 \pm 0.83$ , объект 63) значения параметра  $[(Th/U)_{cp}]/[(Th/U)_{UCC}]^{16}$ . Известно, что отношение Th/U, как и индексы CIA, CIW и др., используется для расшифровки характера процессов выветривания [Taylor, McLennan, 1985; McLennan et al., 1993, 1995; и др.]: возрастание интенсивности последних ведет к увеличению данного параметра. Во всех исследованных нами объектах с высокими величинами  $K_2O/Na_2O$  значения  $Th/U_{cp}$  не являются аномальными.



<sup>15</sup> Химический индекс изменения рассчитывается по формуле  $CIA = 100 \times (Al_2O_3) / (Al_2O_3 + CaO^* + Na_2O + K_2O)$ , при этом содержания породообразующих оксидов берутся в молекулярных количествах [Nesbitt, Young, 1982; и др.].

<sup>16</sup> Содержания Th и U в UCC ней заимствованы из [Rudnick, Gao, 2003].

#### 5.4. Состав пород-источников сноса для синрифтовых песчаников и ассоциирующих с ними глинистых пород

Распределение фигуративных точек ассоциирующих с глинистыми породами синрифтовых псаммитов на диаграмме F1–F2 [Roser, Korsch, 1988] (см. рис. 5.3, в) дает основание считать, что источниками обломочного материала для них являлся широкий спектр как магматических, так и осадочных образований. Положение точек собственно глинистых пород на этой диаграмме иное – практически все они локализованы в области составов, сформированных за счет «богатого кварцем осадочного источника» (см. рис. 5.3, г).

#### 5.5. Положение полей синрифтовых песчаников и глинистых пород на дискриминантных палеогеодинамических диаграммах

Далее рассмотрено распределение естественных полей синрифтовых песчаников и глинистых пород только на двух дискриминантных палеогеодинамических диаграммах –  $\text{SiO}_2\text{--K}_2\text{O/Na}_2\text{O}$  и DF1–DF2.

*Диаграмма  $\text{SiO}_2\text{--K}_2\text{O/Na}_2\text{O}$ .* Положение полей синрифтовых песчаников и ассоциирующих с ними глинистых пород различных объектов на диаграмме  $\text{SiO}_2\text{--K}_2\text{O/Na}_2\text{O}$  [Roser, Korsch, 1986] показано на рис. 5.7. Очевидно, что в большинстве случаев песчаники, характеризующиеся более высокими содержаниями оксида кремния и, наоборот, более низкими концентрациями оксида алюминия, чем глинистые породы, смещены на данной диаграмме в правую часть. Однако песчаники и тонкозернистые обломочные образования ряда объектов (например, 1, 37, 53 и 61) обладают достаточно близкими содержаниями  $\text{SiO}_2$  и, соответственно, образуемые ими поля в существенной степени перекрываются. Какая-либо значимая дифференциация полей синрифтовых песчаников и ассоциирующих с ними тонкозернистых обломочных образований по присущим им величинам отношения  $\text{K}_2\text{O/Na}_2\text{O}$  в большинстве случаев не наблюдается. Только для объектов 36 и 54 часть образцов песчаников обладает большими значениями данного параметра, чем глинистые породы, а некоторые псаммиты объектов 37, 39 и 61 характеризуются как сопоставимыми с глинистыми породами величинами  $\text{K}_2\text{O/Na}_2\text{O}$ , так и заметно меньшими.

В распределении полей синрифтовых песчаников и глинистых пород относительно намеченных на диаграмме  $\text{SiO}_2\text{--K}_2\text{O/Na}_2\text{O}$  областей состава пород различной геодинамической природы также можно видеть по меньшей мере две ситуации. Первая из них – локализация фигуративных точек и песчаников, и тонкозернистых обломочных образований преимущественно в пределах области составов, типичных для обстановок активных континентальных окраин (объекты 1, 8, 36, 37, 53). В случае объекта 61 (формация Nanmingshui, Северо-Восточный Junggar) практически все точки псаммитов и значительная часть точек глинистых пород сосредоточены вообще в пределах области составов, свойственных океаническим островным дугам, что не противоречит общей геологической ситуации, в которой накапливались указанные образования. Вторая ситуация – тяготение большинства точек и песчаников, и глини-



стых пород к области составов, характерных для пассивных континентальных окраин. Она в наиболее ярком виде присуща объектам 2 (серия Uinta Mountain, неопротерозой), 51 (надсерия Belt-Purcell, мезопротерозой) и 63 (чингасанская серия, неопротерозой). Распределение точек «надрифтовых» песчаников и глинистых пород среднего рифея Южного Урала на диаграмме  $\text{SiO}_2\text{-K}_2\text{O/Na}_2\text{O}$  сопоставимо со второй из описанных ситуаций (ср., например, положение полей для объектов 65, 39 и 51, с одной стороны, и объектов 66 и 54, с другой). Следовательно, в таком случае на диаграмме трудно разграничить составы терригенных образований, сформированных в рифтогенных и пострифтогенных обстановках.

Наконец, средние точки алевропесчаных пород Восточно-Европейской плиты на диаграмме Б. Розера и Р. Корша в основном сосредоточены в области составов, характерных для отложений пассивных континентальных окраин. Исключением из сказанного являются песчаники и алевролиты силура, точка которых расположена на границе, разделяющей области отложений пассивных и активных континентальных окраин.

Положение полей синрифтовых песчаников и ассоциирующих с ними тонкозернистых обломочных образований айского (низы нижнего рифея) и машакского (низы среднего рифея) уровней типового разреза рифея Южного Урала на данной диаграмме несколько различается. Если для айского уровня наблюдается достаточно компактное распределение фигуративных точек состава и песчаников и глинистых пород, а их общее поле тяготеет к границе, разделяющей области пассивных и активных континентальных окраин, то для машакского уровня мы видим полностью разобобщенные поля песчаников и глинисто-алевритовых образований. Если последние в той или иной мере сопоставимы и по значениям  $\text{SiO}_2$ , и по величинам  $\text{K}_2\text{O/Na}_2\text{O}$  с глинистыми породами айской свиты, то синрифтовые псаммиты машакской свиты являются существенно более зрелыми, чем песчаники основания типового разреза рифея. Основной причиной этого нам видится различие в составе размывавшихся на палеоводосборах в начале раннего и в начале среднего рифея образований, так как принципиальных отличий в палеогеодинамическом плане для рассматриваемой территории в указанные временные интервалы по геологическим данным не установлено [Пучков, 2000; Маслов и др., 2002].

Резюмируя сказанное, можно сделать вывод, что на диаграмме  $\text{SiO}_2\text{-K}_2\text{O/Na}_2\text{O}$  естественные поля составов, образованные фигуративными точками индивидуальных образцов синрифтовых песчаников и ассоциирующих с ними глинистых пород из нашего банка данных, не имеют какой-либо определенной локализации. Эти поля в основном расположены в областях составов, свойственных пассивным и активным континентальным окраинам, а в ряде случаев тяготеют к области составов, присущих отложениям океанических островных дуг, и здесь нет каких-либо противоречий, так как представленные вниманию читателей объекты принадлежат широкому спектру рифтогенных структур, сформированных на разных этапах цикла Уилсона.

Все рассмотренные ситуации более наглядно можно видеть при обращении к анализу средних для тех или иных объектов величин  $\text{SiO}_2$  и  $\text{K}_2\text{O/Na}_2\text{O}$ , а также присущих им значений стандартных отклонений (рис. 5.8).

*Диаграмма DF1–DF2.* Как уже отмечено, на данной диаграмме ее авторами впервые показана область составов терригенных пород, сформированных в

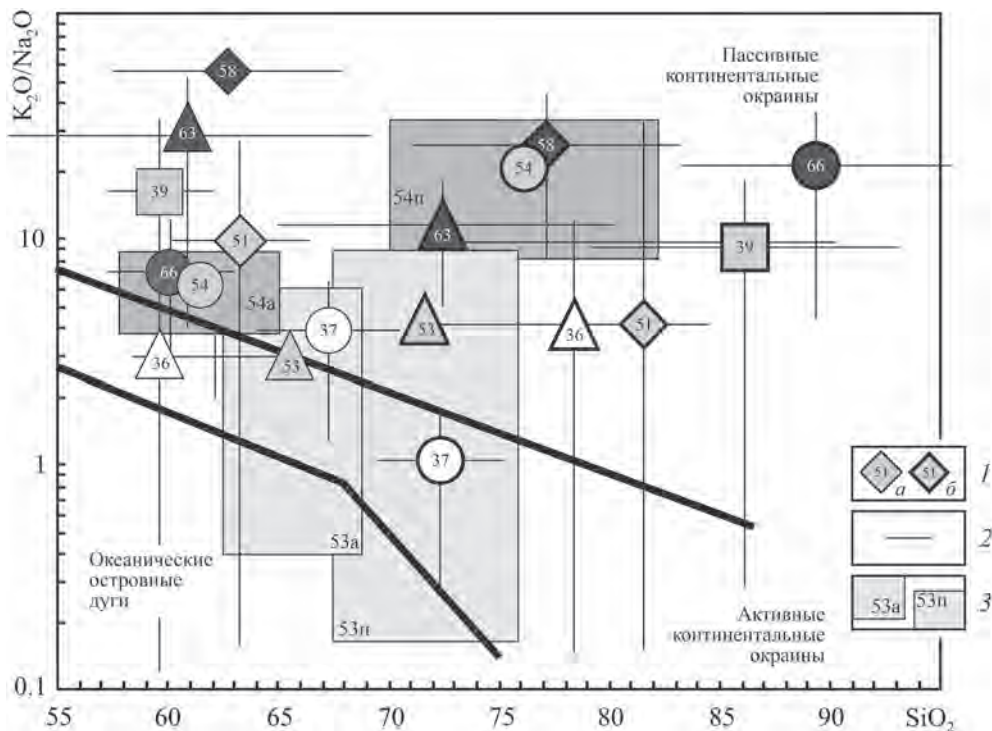


Рис. 5.8. Положение средних точек состава синрифтовых песчаников и ассоциирующих с ними глинистых пород на диаграмме  $\text{SiO}_2\text{--K}_2\text{O/Na}_2\text{O}$ .

1 – средние точки: а – глинистых пород, б – песчаников; 2 – величины стандартных отклонений; 3 – поля песчаников (53п) и ассоциирующих с ними глинистых пород (53а) одних и тех же рифтогенных структур. Цифры внутри геометрических фигур на рисунке соответствуют номерам рассматриваемых в тексте объектов и их номерам в табл. 3.1

рифтогенных обстановках. Насколько соответствуют ей поля составов и средние точки исследованных нами синрифтовых песчаников и ассоциирующих с ними глинистых пород разного возраста?

В целом распределение полей песчаников и тонкозернистых обломочных образований, выполняющих разные категории рифтогенных структур, на диаграмме DF1–DF2 более компактное (рис. 5.9), чем наблюдается на диаграмме  $\text{SiO}_2\text{--K}_2\text{O/Na}_2\text{O}$ . Для 12 объектов из нашего банка данных характерно существенное перекрытие полей, образованных индивидуальными точками песчаников и глинистых пород. К исключениям можно отнести только объекты 54 (машакская свита, Южный Урал) и 63 (чингасанская серия, Енисейский кряж), для которых локализация полей синрифтовых песчаников существенно иная, чем таковая полей, образованных точками состава глинистых сланцев и мелкозернистых глинистых алевролитов. Интересно, что распределение на диаграмме DF1–DF2 полей различных терригенных пород чингасанской серии весьма похоже на локализацию здесь же «надрифтовых» песчаников и глинистых сланцев авзянской свиты юрматинской серии Южного Урала: практически все точки песчаников сосредоточены в области рифтогенных образований,

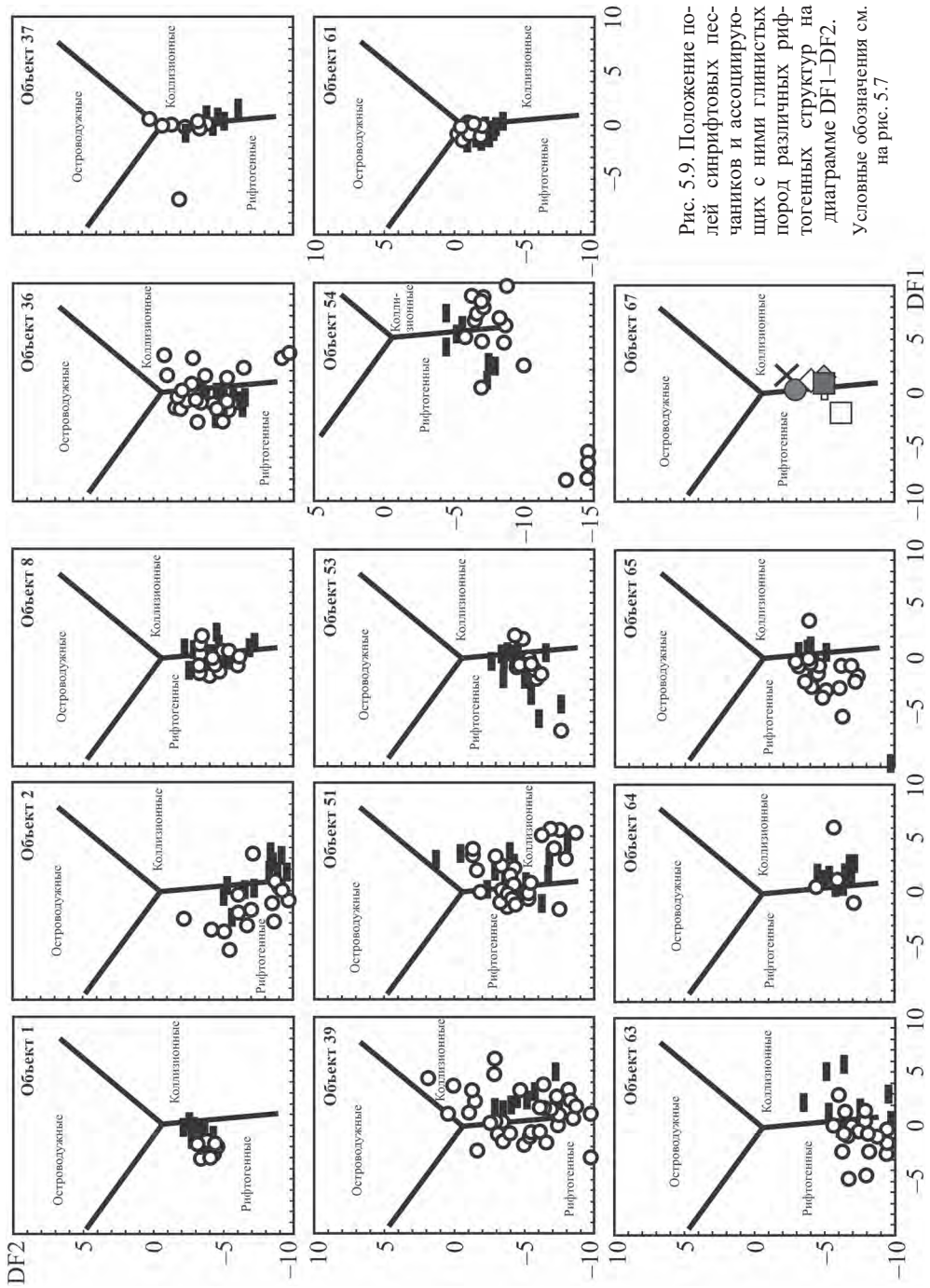


Рис. 5.9. Положение пород синрифтовых песчаников и ассоциирующих с ними глинистых пород различных рифтогенных структур на диаграмме DF1—DF2. Условные обозначения см. на рис. 5.7

тогда как ассоциирующие с ними глинистых сланцы либо присутствуют в области отложений коллизионных обстановок, либо попадают на линию, разделяющую указанные области.

Области отложений собственно рифтогенных обстановок на диаграмме DF1–DF2 на 80–90% отвечают только терригенные породы объектов 1 (неогеновые отложения Бассейна Jiayang), 53 (айская свита, нижний рифей) и отчасти 2 (серия Uinta Mountain, неопротерозой). Подавляющее большинство других синрифтовых осадочных последовательностей из нашего банка данных (объекты 8, 36, 37, 39, 51 и 64) характеризуется тем, что примерно половина фигуративных точек состава индивидуальных образцов (как песчаников, так и глинистых пород) расположена в области рифтогенных образований, другая половина – в области составов, типичных, по представлениям [Verma, Armstrong-Altrin, 2013], для отложений коллизионных обстановок (см. рис. 5.9). Есть и третья ситуация: точки синрифтовых песчаников и глинистых пород нижнекаменноугольной формации Nanmingshui Северо-Восточного Junggar (объект 61) тяготеют к центральной части диаграммы DF1–DF2, где сходятся границы всех трех представленных здесь, различных по геодинамической природе, областей составов терригенных образований.

Средние точки алевропесчаных пород верхнего докембрия и фанерозоя Восточно-Европейской плиты на диаграмме DF1–DF2 в основном также сосредоточены у линии, разделяющей области составов терригенных образований, характерных для рифтогенных и коллизионных обстановок. Средняя точка алевропесчаников среднего рифея Восточно-Европейской плиты вообще попадает в область отложений рифтогенной природы.

Тенденция тяготения полей рифтогенных терригенных ассоциаций, представленных в нашем банке данных, к границе областей составов, характерных для рифтогенных и коллизионных геодинамических обстановок, хорошо проявлена и при рассмотрении распределения на диаграмме DF1–DF2 средних точек рифтогенных песчаников и ассоциирующих с ними глинистых пород различных объектов (рис. 5.10, *а*), а также полей, построенных с учетом величин стандартных отклонений (рис. 5.10, *б*, *в*). Кроме того, при таком подходе более рельефно выглядит ряд особенностей распределения полей песчаников и тонкозернистых обломочных образований одних и тех же рифтогенных структур. Например, поля синрифтовых песчаников и ассоциирующих с ними глинистых пород объекта 53 (айская свита Южного Урала) в существенной степени перекрываются. Поле тонкозернистых обломочных пород (глинистых сланцев и мелкозернистых глинистых алевролитов) объекта 54 (машакская свита Южного Урала) на порядок меньше поля песчаников этого же объекта и локализовано в области составов, типичных для рифтогенных образований, в то время как примерно треть поля псаммитов расположена в области составов, характерных для коллизионных обстановок.

Приблизительно такая же ситуация свойственна распределению построенных по средним значениям DF1 и DF2 и величинам стандартных отклонений полям песчаников и глинистых пород (см. поля 36а и 36п на рис. 5.10, *б*, *в* соответственно) уйской серии Учуро-Майского региона. Поля «надрифтовых» песчаников и глинистых сланцев авзянской свиты юрматиния Южного Урала (см. поля 66п и 66а на рис. 5.10, *б*, *в*) тяготеют к области составов коллизионных обстановок. При этом между двумя указанными полями на данной диаграм-



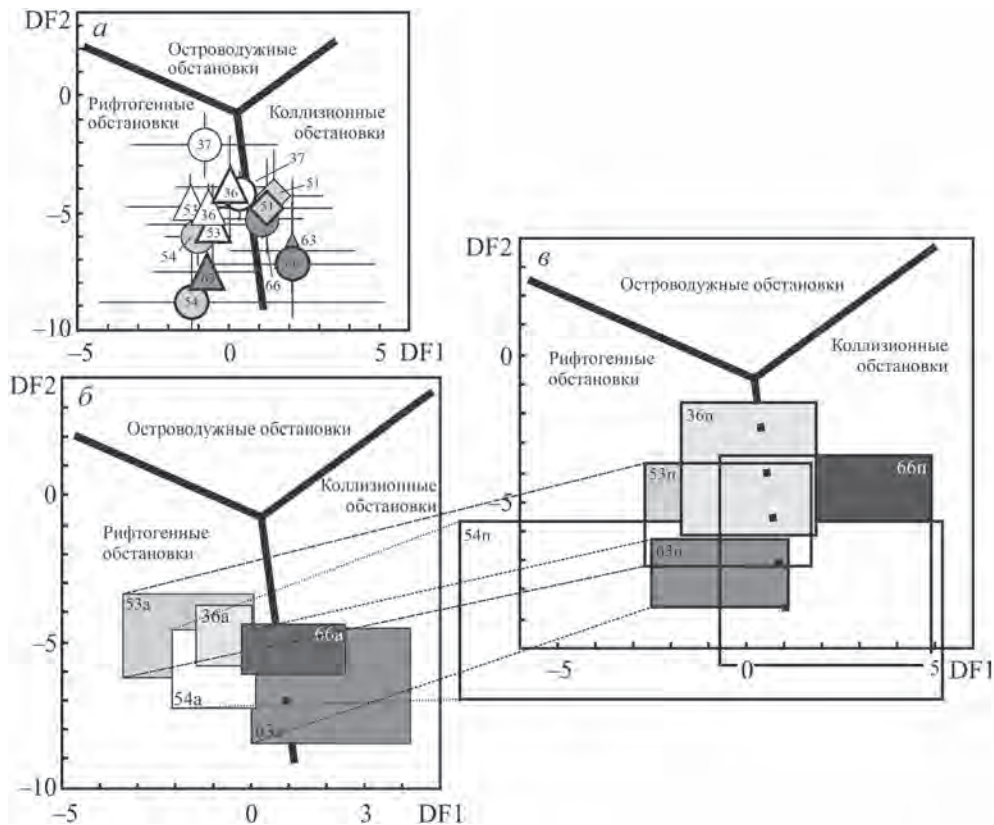


Рис. 5.10. Положение средних точек состава синрифтовых песчаников и ассоциирующих с ними глинистых пород на диаграмме DF1–DF2 (а) и полей состава песчаников (например, 53п) и тонкозернистых обломочных пород (53а) одних и тех же объектов, построенных по средним значениям дискриминантных функций и величинам стандартных отклонений (б, в)

ме наблюдается существенное перекрытие, тогда как на диаграмме  $\text{SiO}_2\text{--K}_2\text{O}/\text{Na}_2\text{O}$  они разобщены (ср. рис. 5.8 и 5.10).

## 5.6. Обсуждение результатов и выводы

Анализ приведенных данных позволяет сделать ряд выводов относительно валового химического состава синрифтовых песчаников и ассоциирующих с ними глинистых пород (ситуация 3, см. Введение) и особенностей распределения образуемых их фигуративными точками полей на таких широко используемых в настоящее время дискриминантных палеогеодинамических диаграммах для терригенных пород, как  $\text{SiO}_2\text{--K}_2\text{O}/\text{Na}_2\text{O}$  [Roser, Korsch, 1986] и DF1–DF2 [Verma, Armstrong-Altrin, 2013].

Представленные в нашем банке данных ассоциирующие с тонкозернистыми обломочными/глинистыми породами синрифтовые песчаники по валово-

му химическому составу в соответствии с классификацией Ф.Дж. Петтиджона с соавторами [1976] принадлежат преимущественно грауваккам, лититам, аркозам и субаркозам. Существенно меньше среди них сублититов и кварцевых аренитов. Заметную долю в проанализированной выборке составляют псаммиты со значениями  $\log(\text{Na}_2\text{O}/\text{K}_2\text{O}) < -1.0$ . На диаграмме Петтиджона в ее традиционном виде песчаников с такими величинами данного параметра нет. Это показывает, что осадочное выполнение рифтов, как и следовало ожидать, объединяет довольно незрелые в геохимическом отношении песчаники, обломочный каркас которых сформирован за счет размыва достаточно разнообразных по составу магматических и осадочных образований. Сказанное подтверждает преимущественно локальный характер источников кластики для песчаников, участвующих в строении осадочного выполнения рифтогенных структур, в отличие, например, от песчаников осадочных последовательностей пассивных континентальных окраин.

Глинистые породы, ассоциирующие с песчаниками в разрезах рифтогенных структур, сложены, исходя из особенностей их валового химического состава, в основном гидрослюдой с той или иной примесью каолинита, хлорита и тонкорастертых калиевых полевых шпатов, т. е. являются «обычными» по составу тонкозернистыми обломочными образованиями. Источниками материала для них, как это следует из положения фигуративных точек состава на диаграмме F1–F2, выступали преимущественно осадочные, некоторое количество раз рециклированные отложения. Таким образом, если синрифтовые песчаники представлены, по всей видимости, продуктами относительно недалекого переноса и не подвергались заметной гомогенизации на путях транзита, то глинистые породы рифтогенных структур отражают состав пород-источников обломочного материала, распространенных на больших по площади водосборах, возможно, в той или иной степени выходящих за пределы рифтов, и в геохимическом плане более однородны.

Сопоставление интервалов распределения ряда основных породообразующих оксидов в синрифтовых песчаниках и ассоциирующих с ними глинистых породах показывает, что какой-либо принципиальной разницы между ними и, например, «надрифтовыми» псаммитами и глинистыми сланцами или алевропесчаными породами, встречающимися в верхнедокембрийско-фанерозойском осадочном мегакомплексе Восточно-Европейской плиты, нет. В то же время между синрифтовыми псаммитами и, например, кратонными песчаниками протерозоя или фанерозоя такие различия есть, существуют они и между валовыми химическими составами синрифтовых песчаников и верхней континентальной коры.

Распределение полей состава синрифтовых песчаников и ассоциирующих с ними глинистых пород на диаграмме Б. Розера и Р. Корша не имеет каких-либо выраженных индивидуальных особенностей. Поля, образуемые точками состава первых, в большинстве случаев сдвинуты в сторону больших содержаний оксида кремния, в то время как по величине параметра  $\text{K}_2\text{O}/\text{Na}_2\text{O}$  синрифтовые песчаники и глинистые породы в достаточной степени сопоставимы. Фигуративные точки терригенных пород рифтогенных структур локализованы на диаграмме  $\text{SiO}_2\text{--K}_2\text{O}/\text{Na}_2\text{O}$  преимущественно в областях, характерных для пассивных и активных континентальных окраин, что, как мы отмечали ранее, не позволяет провести четкой границы между рифтогенными осадоч-

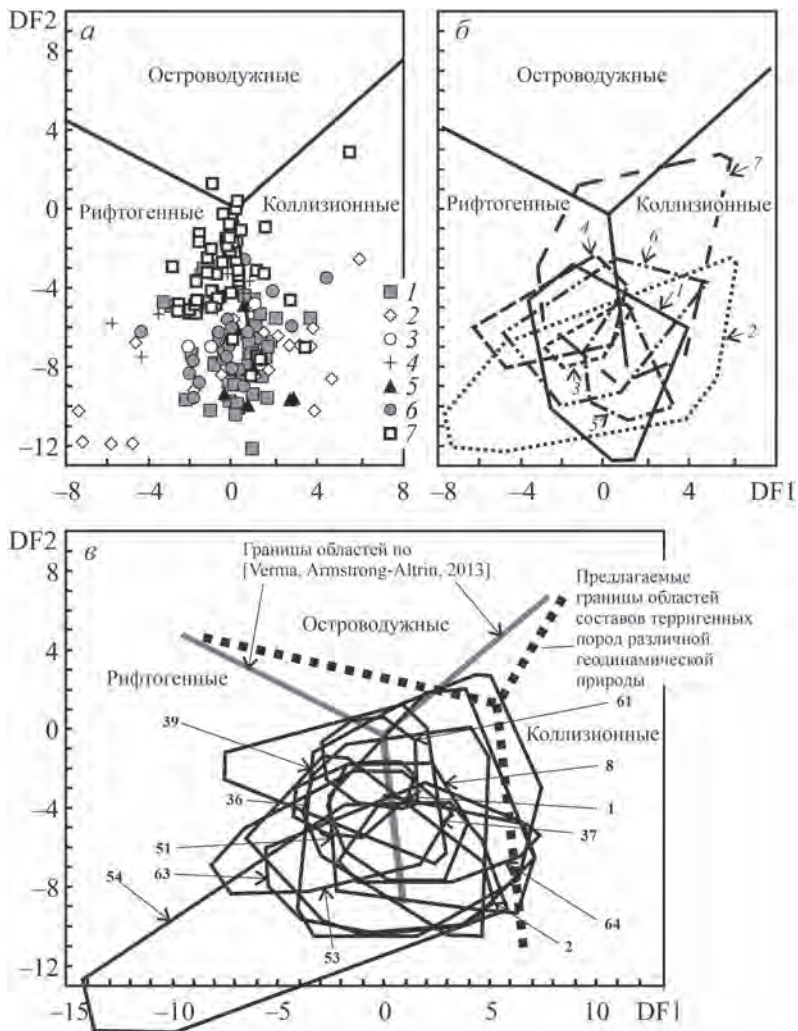


Рис. 5.11. Распределение фигуративных точек и полей состава терригенных пород различных рифтогенных структур на диаграмме DF1–DF2 (*a*, *б*) [Маслов и др., 2016а] и предлагаемое нами по результатам настоящего исследования положение границ областей составов терригенных пород различной геодинамической природы (*в*).

*a*, *б*: 1 – песчаники рифея Пашско-Ладожского грабена; 2 – песчаники айской и машакской свит Южного Урала; 3 – песчаники прикамской свиты Камско-Бельского авлакогена; 4 – глинистые породы айской и машакской свит; 5 – терригенные породы карьерной, лопатинской и оленьинской свит Енисейского кряжа; 6 – терригенные породы чингасанской серии той же структуры; 7 – песчаники и глинистые породы уйской серии Учуро-Майского региона.

*в*: обозначения 39, 64 и другие соответствуют номерам рассматриваемых в тексте объектов и их номерам в табл. 3.1

ными образованиями и отложениями различных по геодинамической природе континентальных окраин.

Ранее [Маслов и др., 2016а] мы уже рассматривали общие особенности распределения на дискриминантных палеогеодинамических диаграммах разных поколений (середина 1970–начало 1990-х гг. и начало 2010-х гг.) полей, образованных песчаниками и глинистыми породами разнообразных осадочных последовательностей (платформенных, рифтогенных и др.) В указанной работе отложения рифтогенных обстановок представлены песчаниками приозерской и салминской свит рифея Пашско-Ладожского грабена, песчаниками и глинистыми породами айской и машакской свит, песчаниками прикамской свиты, а также терригенными образованиями чингасанской и уйской серий Енисейского кряжа и Учуро-Майского региона. В настоящей публикации выборка объектов и аналитических данных существенно шире, но, как мы увидим далее, это принципиально не меняет суть дела. В результате сделан вывод, что на диаграмме DF1–DF2 нет принципиальных различий в расположении полей терригенных пород платформенных, рифтогенных и коллизионных ассоциаций. Было также установлено, что на указанном графике отсутствуют поля, строго относящиеся к какой-либо одной классификационной области.

Большинство индивидуальных полей псаммитов и глинистых пород занимают, как правило, часть области составов терригенных пород, характерных для рифтогенных обстановок, и часть области составов, свойственных, по мнению [Verma, Armstrong-Altrin, 2013], обстановкам коллизионным (рис. 5.11). Сейчас, благодаря более представительной выборке, мы получили примерно такое же распределение полей и это дает основания предложить, основываясь сугубо на «аналоговом подходе», несколько иное положение границы между областями терригенных пород рифтогенных и коллизионных палеогеодинамических обстановок, чем то, что принято в [Verma, Armstrong-Altrin, 2013]. Однако этот вопрос еще нуждается в верификации как, возможно, путем привлечения дополнительных аналитических данных по другим рифтогенным структурам, так и по результатам анализа соотношения естественных полей составов терригенных пород рифтогенных и коллизионных обстановок. Для получения наиболее корректных выводов следует использовать информацию совместно и по песчаникам, и по глинистым/тонкозернистым обломочным породам.

---

## **6. СИНРИФТОВЫЕ ОСАДОЧНЫЕ ОБРАЗОВАНИЯ РИФЕЯ ЮЖНОГО УРАЛА**

---

В верхнедокембрийско-палеозойской последовательности Уральского складчатого пояса несколько раз повторяются сходные по палеогеодинамическим обстановкам формирования крупные комплексы отложений – рифтогенные (базальные уровни бурзянской и юрматинской серий рифея, верхнекембрийско-нижнеордовикские образования), молассовые (верхневендские и верхнепермско-триасовые отложения) и др. В большинстве своем они в настоящее время достаточно хорошо изучены с позиций стратиграфии, литологии, петрографии, петрологии, минерагении и т. п., однако в том, что касается литохимических особенностей слагающих их осадочных пород, многие вопросы еще требуют доработки. Связано это с тем, что валовый химический состав осадочных образований многие годы не воспринимался исследователями как сколько-нибудь информативный в отличие от пород магматических и вулканических.

Из всех макрорегионов Уральского складчатого пояса в этом отношении в наибольшей степени повезло Южному Уралу, так как в пределах его западного склона в Башкирском мегантиклинории расположен эталонный разрез рифея [Стратотип..., 1983; Семихатов и др., 2015; и др.], объединяющий разнообразные осадочные последовательности суммарной мощностью до 12–15 км. Именно на их примере в 1980–1990-х гг. был выполнен крупный комплекс региональных геохимических исследований [Гареев, 1982, 1986, 1987, 1988, 1989, 1997, 1998 и др.]. Полученные при этом материалы актуальны до настоящего времени и позволяют решать самые разнообразные задачи [Маслов, Гареев, 1992, 1994; Маслов и др., 2003а, 2003б, 2003в, 2004а, 2004б, 2005, 2006, 2007, 2008б, 2013, 2016а, 2016б и др.; Ножкин и др., 2009; и др.].

### **6.1. Разрез рифея Южного Урала и место в нем рифтогенных осадочных ассоциаций**

Стратотипический разрез рифея Южного Урала объединяет три седиментационные серии – бурзянскую, юрматинскую и каратаускую [Стратотип..., 1983; Маслов и др., 2001, 2002; и др.]. Отложения каратауской серии несогласно перекрыты породами ашинской серии венда.

Бурзянская серия (типичное подразделение нижнего рифея) включает в северо-восточных районах мегантиклинория айскую (объект 53), саткинскую и бакальскую свиты (рис. 6.1), а в центральной его части аналогами названных свит являются большеинзерская, суранская и юшинская соответственно. Согласно представлениям С.Н. Иванова [1977, 1980, 1981 и др.], В.П. Парначева [1981, 1988; Парначев и др., 1986; и др.], В.Н. Пучкова [2000, 2010, 2013, 2016 и др.] и других исследователей, айская свита считается *первой синрифтовой ассоциацией* верхнедокембрийского разреза Южного Урала.

В нижней части айской свиты (мощность 1700–2500 м) преобладают песчаники с прослоями гравелитов и конгломератов и покровами metabазальтов, а в верхней – низкоуглеродистые<sup>17</sup> глинистые сланцы (НГС) с прослоями песчаников и алевролитов. По петрографическому составу песчаники данного уровня типа рифея отвечают в основном аркозам, граувакковым аркозам, субаркозам и полевошпато-кварцевым разностям (по классификации В.Д. Шутова [1967]). Саткинская свита (до 3000–3500 м) сложена преимущественно доломитами, в том числе строматолитовыми; в средней ее части присутствует 180–200-метровая толща низкоуглеродистых глинистых сланцев с прослоями доломитов и алевролитов. Бакальская свита (1500–1650 м) представлена в нижней части низкоуглеродистыми глинистыми сланцами с прослоями доломитов и алевролитов, а в верхней – объединяет несколько алюмосиликокластических и карбонатных пачек.

Машакская свита (объект 54) является базальным подразделением юрматинской серии Башкирского мегантиклинория (типичное подразделение среднего рифея [Стратотип..., 1983]) (см. рис. 6.1). Выше нее в разрезе серии присутствует последовательность терригенных (зигальгинская и зигазино-комаровская свиты) и терригенно-карбонатных (авзянская свита) отложений. Породы машакской свиты распространены в центральной части и на восточном крыле Башкирского мегантиклинория, где несогласно залегают на отложениях юшинской свиты нижнего рифея [Стратотип..., 1983]. На северо-востоке мегантиклинория в Бакало-Саткинском и Кусинском районах Челябинской области отложения машакской свиты отсутствуют, и на породах бакальской свиты нижнего рифея несогласно залегают конгломераты и кварцитовидные песчаники зигальгинской свиты.

Машакская свита (1600–3000 м) прослеживается почти непрерывной полосой (протяженность ~270 км, ширина 5–10 км) от г. Златоуст на севере до широты пос. Верхний Авзян на юге [Пучков, 2000; Ларионов и др., 2006]. Свита представлена песчаниками, конгломератами и алевролитами с подчиненными им прослоями и пакетами глинистых сланцев. В нижней и средней ее частях наблюдаются многочисленные силлы долеритов, потоки и покровы базальтов и экструзивно-субвулканические тела кислых магматических пород. В центральной части Башкирского мегантиклинория (северная половина Ямантауского антиклинория) количество магматических пород в разрезах машакской свиты достигает 70–80% [Ротарь, 1974; Стратотип..., 1983].

---

<sup>17</sup> В соответствии с [Юдович, Кетрис, 1988] к низкоуглеродистым глинистым сланцам относятся черные сланцы с содержанием  $C_{орг}$  от 1 до 3 мас. %.

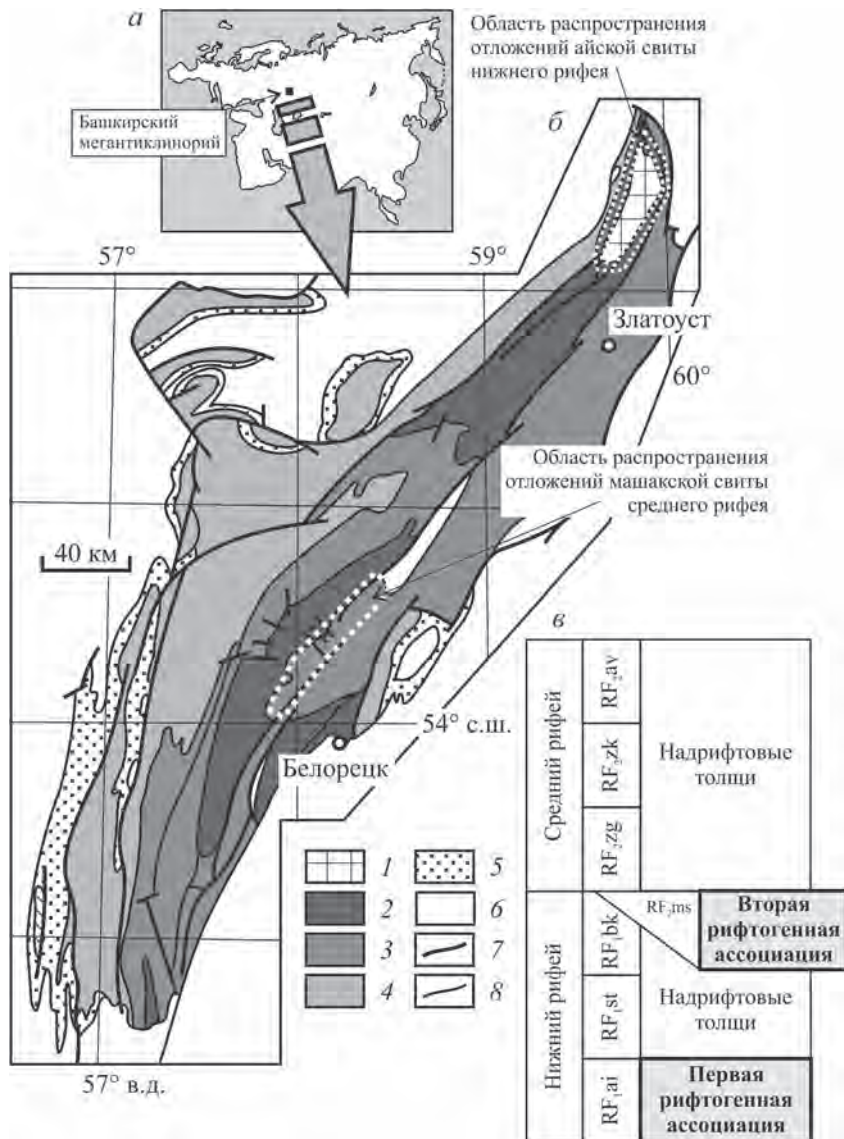


Рис. 6.1. Обзорная схема (а), схематическая геологическая карта Башкирского мегантиклинория (б) и положение различных осадочных ассоциаций в разрезах нижнего и среднего рифея (в).

1 – дорифейские кристаллические образования; 2 – породы нижнего рифея (бурзянская серия); 3 – породы среднего рифея (юрматинская серия); 4 – отложения верхнего рифея (каратауская серия); 5 – вендские осадочные образования (ашинская серия); 6 – палеозойские отложения; 7 – тектонические нарушения; 8 – геологические границы.

Свиты: RF<sub>1ai</sub> – айская, RF<sub>1st</sub> – саткинская, RF<sub>1bk</sub> – бакальская, RF<sub>2ms</sub> – машакская, RF<sub>2zg</sub> – зигальгинская, RF<sub>2zk</sub> – зигазино-комаровская, RF<sub>2av</sub> – авзянская

Относительно стратиграфического расчленения свиты существуют разные точки зрения [Ротарь, 1974; Стратотип..., 1983; Парначев и др., 1986; Ларионов и др., 2006; Козлов и др., 2007; и др.]. Не останавливаясь на них подробно, отметим только, что, по представлениям [Козлов и др., 2007; Краснобаев и др., 2013б], машакская свита объединяет три подсвиты. Нижняя подсвита (мощность ~800–1000 м) включает metabазальты, риодациты, НГС, алевролиты, песчаники и конгломераты. В схеме расчленения машакской свиты А.Ф. Ротаря [1974] указанная подсвита отвечает кузьелгинской, казавдинской и быковской подсвитам. Средняя подсвита (мощность до 900 м) объединяет песчаники, metabазальты, кварцито-песчаники, туфопесчаники и туфоалевролиты. Подчиненную роль в ее составе играют алевролиты и конгломераты. Эта подсвита отвечает калпакской, куянтавской и каранской подсвитам А.Ф. Ротаря [1974]. Верхняя подсвита (1100–1200 м) представлена песчаниками, алевролитами и НГС с прослоями туфоалевролитов и известковистых доломитов. В схеме А.Ф. Ротаря она соответствует шакитарской и ямантауской подсвитам. По данным Н.Н. Ларионова с соавторами [2006, с. 24, 25], машакская свита может быть расчленена на четыре подсвиты, «образующие на хр. Бол. Шатак сдвоенный разрез. Первые три практически совпадают с ранее выделенными... кузьелгинской, казавдинской и быковской подсвитами. Верхняя (четвертая) толща показана нами как нерасчлененные калпакская, куянтавская, каранская, шакитарская и ямантауская, хотя объем ее не вполне соответствует объему перечисленных подсвит».

По данным С.Н. Иванова [1977, 1980, 1981 и др.], В.П. Парначева [1988; Парначев и др., 1986 и др.], В.Н. Пучкова [2000, 2010, 2013, 2016 и др.] и других исследователей, это *вторая синрифтовая ассоциация* в эталонном разрезе рифея.

Зигальгинская свита (500–700 м) складывается преимущественно кварцевыми песчаниками. Зигазино-комаровская свита (750–1500 м) объединяет пачки неравномерного переслаивания глинистых сланцев, алевролитов и песчаников. Авзянская свита (1600–2300 м) представлена несколькими карбонатными и терригенными толщами. Терригенные и терригенно-карбонатные отложения перечисленных трех свит можно считать типичными «надрифтовыми отложениями», т. е. рассматривать их как отложения, выполняющие надрифтовую впадину.

Каратауская серия (тип верхнего рифея) объединяет ряд алюмосилико-кластических (зильмердакская, инзерская, криволукская) и карбонатных (катавская, миньярская, укская) свит. Максимальная мощность отложений серии оценивается в 5500–6000 м. Данный стратон в типовой для него местности (западное крыло и центральная часть Башкирского мегантиклинория) не содержит синрифтовых ассоциаций, подробная характеристика состава и строения разрезов всех литостратиграфических подразделений каратауской серии приведена в [Раабен, 1975; Стратотип..., 1983; Маслов, 1988; Маслов и др., 2001], и здесь на ней мы не останавливаемся. На восточном крыле названной структуры в последние годы В.Н. Пучковым и его соавторами отложения, ранее относившиеся к верхам каратауской серии, выделяются в самостоятельную аршинскую серию, в разрезах которой присутствуют вулканические породы плюмовой/рифтогенной природы [Пучков и др., 2013; Пучков, 2016; и др.] (см. далее).



Ашинская серия представлена исключительно терригенными образованиями, принадлежащими бакеевской (= толпаровской + суировской), урюкской, басинской, куккараукской и зиганской свитам, суммарной мощностью более 3000 м. В соответствии с традиционными представлениями [Беккер, 1968, 1988; Стратотип..., 1983], отложения ашинской серии рассматриваются как моласса, хотя есть и другие точки зрения.

На востоке Башкирского мегантиклинория в верхней части верхнепротерозойских образований присутствует комплекс вулканогенных и осадочных пород (аршинская свита/серия) (объект 55) [Маслов и др., 2018г]. Слагающие ее образования рассматриваются как терригенно-сланцевый рифтогенно-депресссионный комплекс, формирование которого связано с начальным этапом континентального рифтогенеза [Рыкус и др., 2002; и др.]. Эти представления подтверждает и распределение точек составов метаосадочных пород аршинской серии на диаграмме DF1–DF2 [Verma, Armstrong-Altrin, 2013]. С учетом данных о геодинамической природе метабазалтов названной серии [Маслов и др., 2018г] все сказанное делает представления о рифтогенной/плюмовой природе породных ассоциаций данного уровня верхнего докембрия Южного Урала достаточно хорошо обоснованными. Как показано в [Пучков, 2016], на нераспавшейся части Родинии (Балтика, Лаврентия, Калахари, Сибиря) в интервале 750–710 млн лет магматические образования образуют широкую, но сравнительно компактную область, и не исключено, что они вызваны суперплюмом. В этом случае аршинский (позднекарататауский) эпизод рифтогенеза принадлежит активному типу, является плюмзависимым и отражает один из этапов распада Родинии.

В 1960-х – начале 1970-х гг. верхнедокембрийские осадочные последовательности западного склона Южного Урала рассматривались как типичные миеогеосинклинальные образования [Смирнов, 1964; Гарань, 1969; Романов, 1973]. В начале 1980-х гг. была высказана точка зрения о рифтогенно-депресссионной природе рифейско-вендских отложений Башкирского мегантиклинория [Иванов, 1977, 1980, 1981; Иванов и др., 1986; Парначев, 1988; и др.].

Позднее получают распространение представления о том, что в раннем и среднем рифее в области сочленения современного западного склона Южного Урала и прилежащих к ней районов Восточно-Европейской платформы существовали относительно небольшие эпикратонные/надрифтовые бассейны, а для позднего рифея может быть реконструирован латеральный ряд формаций, сходный с рядами формаций, присущими океаническим бассейнам [Маслов и др., 2002; Пучков, 2010; и др.].

В последние годы высказано предположение, что процессы внутриконтинентального рифтогенеза начала раннего и среднего рифея были связаны с несколькими субглобальными плюмовыми событиями [Пучков, 2013, 2016; и др.]. Именно они привели к появлению в стратотипическом разрезе рифея нескольких синрифтовых вулканогенно-осадочных ассоциаций, объединяющих конгломераты, разнозернистые песчаники, НГС, основные и кислые вулканы.

## 6.2. Первая рифтогенная ассоциация типового разреза рифея (айская свита бурзянской серии)

Изучение валового химического состава песчаников айской свиты дало возможность сделать вывод, что они сложены продуктами разрушения как пород кристаллического фундамента Восточно-Европейской платформы, так и осадочных/метаосадочных пород ее платформенного проточехла. Глинистые породы айской свиты не содержат так называемой камуфлированной пирокластики, и, следовательно, процессы их накопления не сопровождались размывом вулканических пород или синхронной эксплозивной деятельностью. Им присущи в целом невысокие величины индекса CIA. Это позволяет предполагать формирование их в обстановках относительно выраженной тектонической активности в областях размыва, возможно нивелировавшей (?) воздействие процессов химического выветривания на обломочный материал. Анализ валового химического состава песчаников и глинистых пород дает основание предполагать, что источниками кластики для них выступали как кислые магматические породы, так и осадочные и/или метаосадочные образования с повышенным количеством кварца. Положение индивидуальных точек состава песчаников и глинистых пород айской свиты на диаграмме DF1–DF2 не позволяет сделать определенного вывода об их палеогеодинамической природе.

Настоящий подраздел имеет целью систематизацию и анализ общих литохимических особенностей осадочных пород (песчаников и тонкозернистых обломочных/глинистых пород) наиболее древней синрифтовой/рифтогенной осадочной ассоциации Башкирского мегантиклинория – айской свиты, возраст основных вулканитов в разрезах которой в настоящее время оценивается в  $1752 \pm 11$  млн лет (U-Pb, SIMS) [Краснобаев и др., 2013a]<sup>18</sup>.

### 6.2.1. Фактический материал

В основу нашего исследования положена выборка валовых химических анализов (потери при прокаливании менее 5 мас. %) песчаников (64 анализа) и глинистых сланцев (54 анализа) айской свиты, составленная по данным Банка «PrecSed» (ИГГД РАН, г. Санкт-Петербург, А.В. Сочава и В.Н. Подковыров) и коллекции Э.З. Гареева (ИГ БФ АН СССР/УНЦ РАН, г. Уфа). Эти материалы получены в разные годы методами классической «мокрой химии» и РФА, в том числе в Институте геологии БФ АН СССР/УНЦ РАН и Институте геологии и геохимии УрО РАН (г. Екатеринбург). Средние арифметические, минимальные и максимальные содержания основных породообразующих оксидов в песчаниках и глинистых породах исследованной выборки приведены в табл. 3.1 (объект 53).

---

<sup>18</sup> Соответственно современная оценка нижней границы рифея составляет ~1750 млн лет [Семихатов и др., 2015].

### 6.2.2. Результаты исследований и их обсуждение

На классификационной диаграмме  $\log(\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3) - \log(\text{Fe}_2\text{O}_3^*/\text{K}_2\text{O})$  [Herzog, 1988] подавляющее число фигуративных точек глинистых сланцев айской свиты сосредоточено в поле вакк, тогда как точки песчаников можно видеть в полях аркозов и литаренитов, а также сублитаренитов и субаркозов (рис. 6.2). Исходя из сказанного, очевидно, что в составе каркаса псаммитов айской свиты присутствуют продукты разрушения как кристаллических пород фундамента (так называемый петрогенный материал, т. е. материал прошедший только один седиментационный цикл), так и осадочных/метаосадочных образований дорифейского возраста (платформенный проточехол). Этот вывод хорошо согласуется с данными минералого-петрографических исследований [Чайка, 1966; и др.].

В соответствии с представлениями [Юдович, Кетрис, 2000] разграничение петрогенных и литогенных (многократно переотложенных) осадочных образований возможно с использованием ряда литохимических критериев. Так, в петрогенных образованиях, как правило, сохраняются исходные корреляционные связи между основными породообразующими оксидами и литохимическими модулями: между титановым (ТМ) и железным (ЖМ) модулями наблюдается положительная корреляция, тогда как между модулем общей щелочности (НКМ) и гидролизатным (ГМ<sup>19</sup>) – корреляция отсутствует. Для песчаников айской свиты корреляция между ТМ и ЖМ весьма слабая отрицательная ( $r = -0.17$ ), а между НКМ и ГМ она по сути отсутствует ( $r = 0.04$ ). Вместе с тем между значениями ГМ и ТМ в песчаниках существует выраженная положительная корреляция ( $r = 0.86$ ), тогда как в таких, несомненно, литогенных породах, как кварцевые песчаники, между указанными модулями наблюдается отчетливая отрицательная корреляция [Юдович, Кетрис, 2000]. Последнее представляется нам дополнительным к положению фигуративных точек составов псаммитов айской свиты на диаграммах М. Хиррона, а также Б. Розера и Р. Корша аргументом в пользу отнесения их к породам с существенной долей петрогенного материала.

На диаграмме  $(\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O})/\text{Al}_2\text{O}_3 - (\text{Fe}_2\text{O}_3^* + \text{MgO})/\text{SiO}_2$  [Юдович, Кетрис, 2000] точки состава глинистых сланцев айской свиты в основном сосредоточены в областях V (хлорит-сметтит-гидрослюдистые глины) и VI (гидрослюдистые глины со значительной примесью дисперсных полевых шпатов). При этом точка РААС на данном графике находится в зоне перекрытия областей II (преимущественно смектитовые с примесью каолинита и гидрослюды глины) и V (рис. 6.3). Среднее содержание оксида магния в глинистых сланцах айской свиты составляет  $2.31 \pm 1.1$  мас. % (минимум – 0.20 мас. %, максимум – 5.80 мас. %). Из 54 образцов глинистых сланцев только для 5 характерно содержание  $\text{MgO} > 3$  мас. % (последнее рассматривается как пороговая величина, разделяющая «обычные» глинистые породы и тонкозернистые обломочные образования с возможной примесью так называемой камуфлированной пирокла-

<sup>19</sup> Перечисленные модули рассчитываются по содержаниям основных породообразующих оксидов: ТМ =  $\text{TiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$ , ЖМ =  $(\text{Fe}_2\text{O}_3^* + \text{MnO})/(\text{TiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3)$ , НКМ =  $(\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O})/\text{Al}_2\text{O}_3$ , ГМ =  $(\text{Al}_2\text{O}_3 + \text{TiO}_2 + \text{Fe}_2\text{O}_3^* + \text{MnO})/\text{SiO}_2$ .

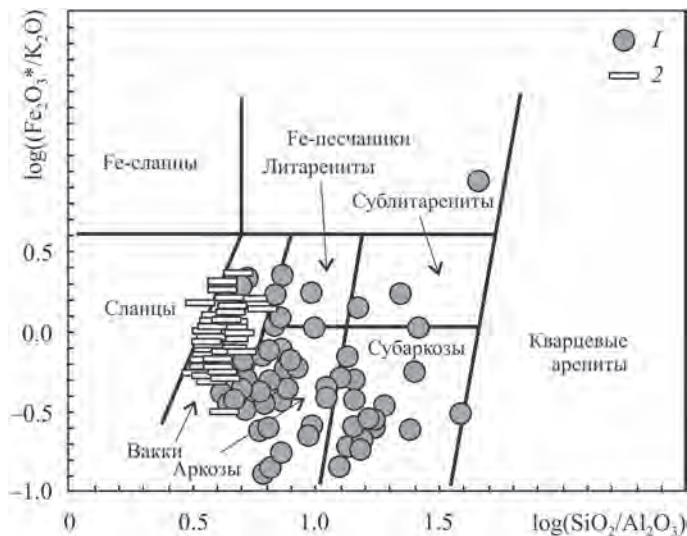
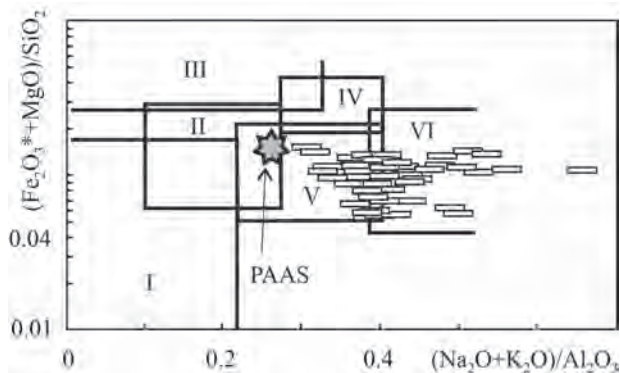


Рис. 6.2. Положение точек состава песчаников и глинистых пород айской свиты на классификационной диаграмме  $\log(\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3) - \log(\text{Fe}_2\text{O}_3^*/\text{K}_2\text{O})$ .

Здесь и на рис. 6.3, 6.5–6.7: 1 – песчаники; 2 – глинистые породы

Рис. 6.3. Положение фигуративных точек глинистых пород айской свиты на диаграмме  $(\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O})/\text{Al}_2\text{O}_3 - (\text{Fe}_2\text{O}_3^* + \text{MgO})/\text{SiO}_2$ .

Поля глин: I – преимущественно каолиновых, II – преимущественно смектитовых с примесью каолинита и гидрослюда, III – преимущественно хлоритовых с примесью Fe-гидрослюд, IV – хлорит-гидрослюдистых, V – хлорит-смектит-гидрослюдистых, VI – гидрослюдистых со значительной примесью дисперсных полевых шпатов



стики [Юдович, Кетрис, 2000]). Из сказанного можно сделать вывод, что такой пирокластике в составе глинистых пород рассматриваемого нами уровня эталонного разреза рифея нет.

Глинистые сланцы айской свиты характеризуются отсутствием корреляции как между ТМ и ЖМ ( $r = 0.05$ ), так и между НКМ и ГМ ( $r = -0.02$ ). Величина  $\text{K}_2\text{O}/\text{Al}_2\text{O}_{3\text{cp}}$  составляет для них  $0.29 \pm 0.08$  (минимум – 0.18, максимум – 0.56), при этом в 11 образцах из 44 указанный параметр в той или иной мере выше 0.30 – порогового значения, разделяющего, по мнению [Cox et al., 1995], литогенные и петрогенные глинистые породы. Все это дает основание предполагать, что глинистые сланцы исследованной нами выборки содержат определенную долю литогенного материала, причем примерно в четверти образцов она, по всей видимости, невелика.

Среднее значение химического индекса изменения (CIA) для глинистых пород айского уровня составляет  $63 \pm 4$  (минимум – 53, максимум – 70). Это может указывать на достаточно слабое химическое выветривание пород-источников тонкой алюмосиликокластики, или быть интерпретировано как следствие относительно выраженной/достаточно интенсивной тектоники в областях размыва.

Сравнение валового химического состава песчаников и глинистых пород айской синрифтовой ассоциации с составом таких референтных объектов, как средний протерозойский кратонный песчаник (ПКП [Condie, 1993]) и PAAS [Taylor, McLennan, 1985], показывает наличие в них достаточно широких вариаций содержаний основных породообразующих оксидов (рис. 6.4, а). В частности, среднее содержание оксида кремния в песчаниках айской свиты составляет от 0.68 до  $1.03 \times$  ПКП (среднее –  $0.85 \times$  ПКП) (табл. 6.1). Средние содержания оксидов титана, алюминия и натрия варьируют от  $\sim 2.3$  до  $2.5 \times$  ПКП. Средние содержания оксидов фосфора и калия еще выше –  $3.9$  и  $5.2 \times$  ПКП соответственно. Примерно такое же распределение основных породообразующих оксидов в песчаниках айской свиты наблюдается и при нормировании на «средний нижнерифейский алевропесчаник» Восточно-Европейской плиты [Ронов и др., 1995] (см. рис. 6.4, а). Очевидно, что присутствующие в разрезах айской свиты песчаники характеризуются заметной незрелостью химического состава, что, как можно предполагать, в какой-то, возможно и существенной, степени связано с их формированием в достаточно активных тектонических обстановках. На это указывает и заметно больший разброс содержаний в них оксидов кальция и натрия по сравнению с таковыми песчаников юшинской свиты нижнего рифея, принадлежащих ассоциации «надрифтовых толщ».

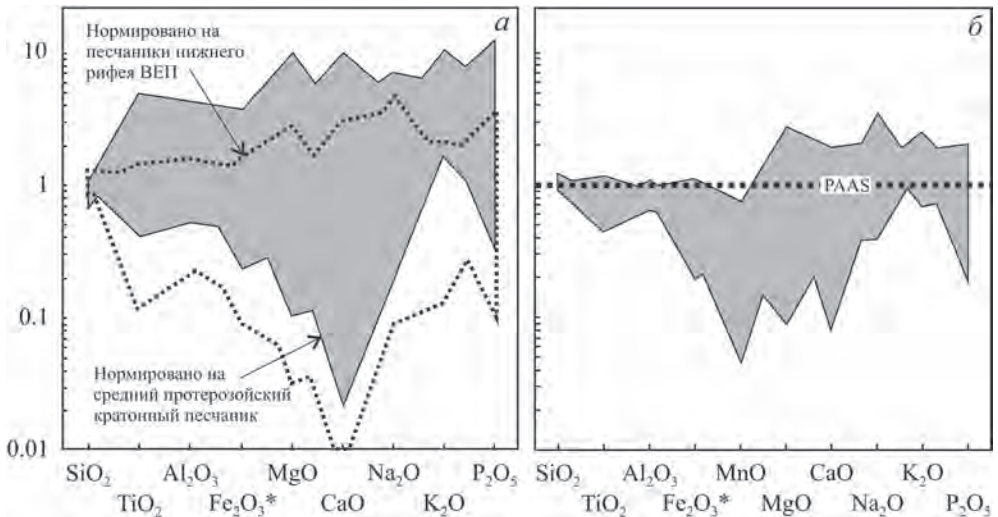


Рис. 6.4. Распределение основных породообразующих оксидов в песчаниках (а) и глинистых породах (б) айской свиты, нормированных по алевропесчаным породам нижнего рифея Восточно-Европейской плиты, среднему протерозойскому кратонному песчанику и PAAS

Таблица 6.1

**Соотношение основных породообразующих оксидов в песчаниках и глинистых сланцах айской свиты с составом ряда референтных геологических объектов**

Компонент, мас. %	А	Б	В
SiO <sub>2</sub>	<u>0.85 ± 0.09</u> 0.68–1.03	<u>1.07 ± 0.12</u> 0.86–1.29	<u>1.04 ± 0.05</u> 0.95–1.18
TiO <sub>2</sub>	<u>2.26 ± 1.17</u> 0.41–4.82	<u>0.65 ± 0.34</u> 0.12–1.39	<u>0.72 ± 0.15</u> 0.45–1.12
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	<u>2.5 ± 0.96</u> 0.53–4.25	<u>0.89 ± 0.34</u> 0.19–1.52	<u>0.85 ± 0.07</u> 0.67–1.04
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> *	<u>1.71 ± 1.04</u> 0.23–4.11	<u>0.64 ± 0.39</u> 0.09–1.54	<u>0.66 ± 0.20</u> 0.20–1.06
MnO	–	–	<u>0.24 ± 0.14</u> 0.05–0.68
MgO	<u>1.84 ± 1.92</u> 0.02–9.89	<u>0.52 ± 0.54</u> 0.01–2.78	<u>1.03 ± 0.52</u> 0.09–2.64
CaO	<u>1.50 ± 2.14</u> 0.02–9.62	<u>0.45 ± 0.65</u> 0.01–2.93	<u>0.49 ± 0.41</u> 0.08–1.94
Na <sub>2</sub> O	<u>2.45 ± 2.10</u> 0.14–6.95	<u>1.62 ± 1.39</u> 0.09–4.61	<u>1.63 ± 0.58</u> 0.39–3.38
K <sub>2</sub> O	<u>5.18 ± 2.19</u> 0.57–10.06	<u>1.12 ± 0.48</u> 0.12–2.18	<u>1.32 ± 0.38</u> 0.70–2.39
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	<u>3.91 ± 2.28</u> 0.33–12.07	<u>1.17 ± 0.68</u> 0.10–3.62	<u>1.09 ± 0.42</u> 0.19–1.95

Примечание. В числителе – среднее арифметическое и стандартное отклонение, в знаменателе – минимальное и максимальное значения. А – состав песчаников нормирован на ПКП; Б – состав песчаников нормирован на состав алевропесчаных пород нижнего рифея ВЕП; В – состав глинистых сланцев нормирован на состав РААС. Прочерк – нет данных.

Глинистые породы айской свиты характеризуются сопоставимыми с РААС средними содержаниями только трех оксидов – кремния, магния и фосфора (соответственно 1.04, 1.03 и 1.09 × РААС) (рис. 6.4, б). Средние содержания оксидов титана, алюминия и железа в них несколько ниже (0.72, 0.85 и 0.66 × РААС), а натрия и калия – несколько выше, чем в РААС (соответственно 1.63 и 1.32). Содержания оксидов марганца и кальция варьируют от 0.05 до 0.68 и от 0.08 до 1.94 при средних значениях соответственно 0.24 и 0.49 × РААС (см. табл. 6.1).

На диаграмме K<sub>2</sub>O/Na<sub>2</sub>O–SiO<sub>2</sub>/Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> [Bolnar et al., 2005] фигуративные точки глинистых пород айской свиты, все характеризующиеся величинами K<sub>2</sub>O/Na<sub>2</sub>O < 15, расположены в области составов, для которой можно предполагать отсутствие проявления сколько-нибудь масштабного калиевого метасоматоза (рис. 6.5). Соответственно, во всех дальнейших рассуждениях мы можем использовать данные о содержании в глинистых породах в основании нижнего рифея Башкирского мегантиклинория оксида калия без каких-либо поправок.

Известно, что процессы осадконакопления в рифтовых бассейнах тесно связаны с процессами тектоническими [Осадочные бассейны..., 2004] (см. также главу 2); последние контролируют объем и общую архитектуру области

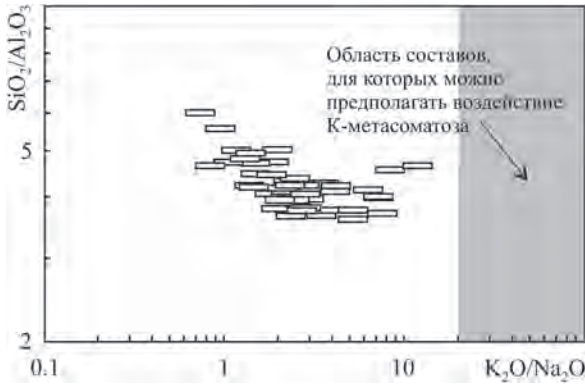


Рис. 6.5. Положение точек глинистых сланцев айской свиты на диаграмме  $K_2O/Na_2O-SiO_2/Al_2O_3$

аккомодации, способствуют появлению многочисленных локальных источников кластики и ловушек последней. В целом формирование осадочного заполнения рифтов является процессом неравновесным и незавершенным. В таких обстановках синрифтовые осадочные образова-

ния имеют весьма пестрый петрографический [Ingersoll et al., 1990; Garzanti et al., 2001; и др.] и, как мы видим, химический состав.

Основываясь на валовом химическом составе осадочных пород, можно в определенной мере судить и о составе пород-источников обломочного материала для них. Для этого обычно используется ряд различных диаграмм, наиболее широко – диаграмма F1–F2 [Roser, Korsch, 1988]. Распределение фигуративных точек состава песчаников и глинистых пород айской свиты на этой диаграмме (рис. 6.6) достаточно показательно. Львиная доля точек сосредоточена в области, представляющей продукты разрушения кислых магматических пород; существенно меньше их расположено в области составов, отвечающей продуктам разрушения осадочных и/или метаосадочных образований, содержащих заметную долю кварца. Такое распределение не противоречит выводу, сделанному ранее, при рассмотрении положения точек осадочных пород айской свиты на диаграмме М. Хиррона, а именно – в каркасе песчаников данного уровня эталонного разреза рифея присутствуют продукты разрушения кристаллических пород как фундамента, так и дорифейского проточехла.

Точки состава песчаников и глинистых пород айской свиты распределены на диаграмме DF1–DF2 [Verma, Armstrong-Altrin, 2013] в основном в областях, характерных для осадочных пород как рифтогенных, так и коллизионных обстановок. Небольшое количество их при-

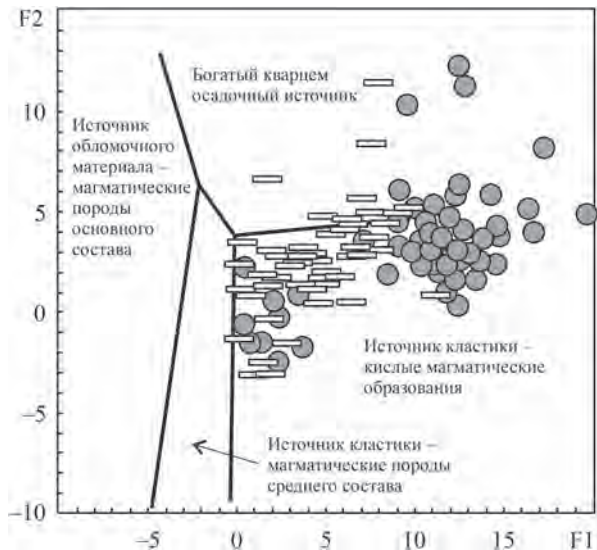


Рис. 6.6. Распределение точек состава песчаников и глинистых пород айской свиты на диаграмме F1–F2

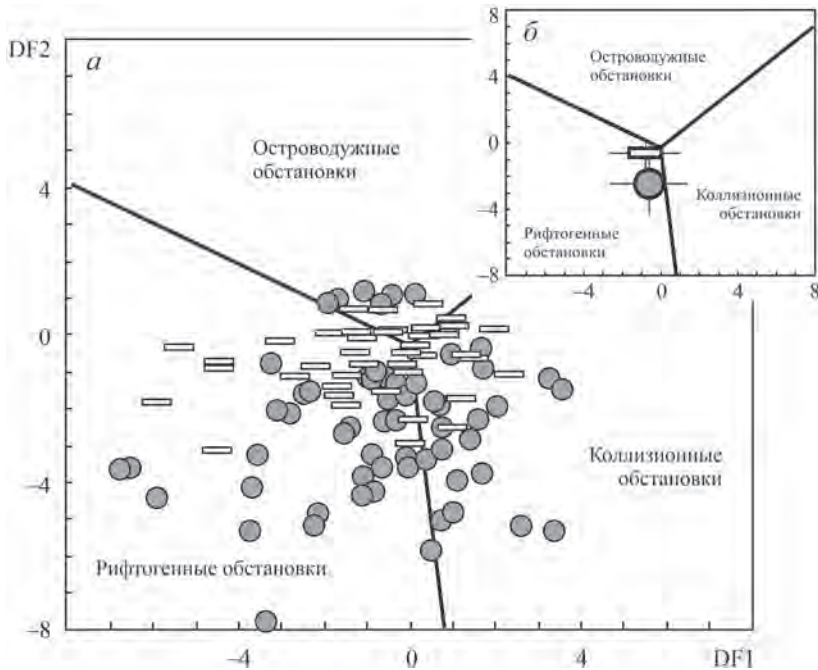


Рис. 6.7. Распределение частных (а) и средних (б) фигуративных точек состава песчаников и глинистых пород айской свиты на диаграмме DF1–DF2

существует также в поле составов, типичных для островодужных обстановок (рис. 6.7, а). Очевидно, что такое распределение не позволяет сделать вывод о принадлежности песчаников и глинистых пород айской свиты к той или иной палеогеодинамической обстановке. Для получения более строгого вывода мы нанесли на указанную диаграмму средние точки песчаников и глинистых сланцев айской свиты (рис. 6.7, б), которые попали в область составов, характерных для рифтогенных обстановок. Исходя из сказанного и с учетом геологических данных, осадочные породы айской свиты можно с существенной долей вероятности считать синрифтовыми образованиями.

### 6.3. Вторая рифтогенная ассоциация типового разреза рифея (машакская свита юрматинской серии)

В данном подразделе приведена краткая характеристика литохимических особенностей песчаников и глинистых пород машакской свиты юрматинской серии – второй синрифтовой осадочной ассоциации в стратотипе рифея. Проведено также их сопоставление с аналогичными характеристиками первой (раннерифейской) синрифтовой ассоциации Башкирского мегантиклинория (айская свита бурзьянской серии, см. подраздел 6.2). Показано, что песчаники свиты характеризуются широкими вариациями валового химического состава.



ва. Присутствие среди них кварцевых аренитов, а также относительно небольшая доля среди псаммитов аркозов и субаркозов отличают вторую синрифтовую ассоциацию от первой (айская свита бурзянской серии). На диаграмме  $\log(\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3) - \log(\text{Na}_2\text{O}/\text{K}_2\text{O})$  Ф.Дж. Петтиджона с соавторами для песчаников перекрытие между областями составов псаммитов машакской и айской свит отсутствует, что указывает на существенные различия питавших их провинций и общих особенностей накопления обломочных толщ указанных литостратиграфических подразделений. Глинистые породы машакской свиты по валовому химическому составу принадлежат к смектитовым с примесью каолинита и иллита глинам, а также их хлорит-смектит-иллитовым разновидностям. От глинистых пород айской свиты они отличаются меньшими значениями общей нормативной щелочности ( $0.27 \pm 0.06$  против  $0.42 \pm 0.07$ ). Установлено, что песчаники и глинистые породы машакской свиты содержат существенную долю петрогенного материала, т. е. сложены в основном продуктами, прошедшими один седиментационный цикл. Высокие ( $>20$ ) величины отношения  $\text{K}_2\text{O}/\text{Na}_2\text{O}$ , свойственные примерно половине исследованных образцов тонкозернистых обломочных пород машакской свиты, указывают на то, что они испытали влияние процессов калиевого метасоматоза. Распределение точек терригенных пород машакской свиты на диаграмме F1–F2 показывает, что они сложены продуктами размыва магматических и/или метаморфических пород кислого, среднего и основного состава. На диаграмме DF1–DF2 индивидуальные точки составов терригенных пород машакской свиты, как и средняя точка песчаников, сосредоточены в полях рифтогенных и коллизионных обстановок. Это не позволяет сделать вывод о принадлежности их к какой-либо палеогеодинамической обстановке, и решающее слово здесь остается за общегеологическими данными и петрогеохимическими характеристиками магматических пород.

### *6.3.1. Фактический материал*

В основу данного подраздела положены результаты анализа выборки валовых химических анализов песчаников (85 образцов), а также тонкозернистых обломочных пород – глинистых сланцев и мелкозернистых глинистых алевролитов (30 образцов) машакской свиты (возраст риолитов и риодацитов в нижней части свиты составляет  $\sim 1383 \pm 3$  млн лет (U-Pb, SHRIMP-II) [Краснобаев и др., 2013б]) юрматинской серии среднего рифея Башкирского мегантиклинория, составленной по данным Банка PrecSed (ИГГД РАН, г. Санкт-Петербург, А.В. Сочава и В.Н. Подковыров) и коллекций Э.З. Гареева и С.Г. Ковалева (ИГ БФ АН СССР/УНЦ РАН, г. Уфа), собранных в гипостратотипической местности (хр. Бол. Шатак). Эти материалы получены в разные годы методами классической «мокрой химии» и рентгеноспектральным флуоресцентным, в том числе в Институте геологии БФ АН СССР/УНЦ РАН, Институте геологии и геохимии УрО РАН (г. Екатеринбург) и центральной лаборатории ПГО «Севзапгеология» (г. Санкт-Петербург). Учтены только анализы с потерями при прокаливании  $<5$  мас. %. Средние арифметические, минимальные и максимальные содержания основных породообразующих оксидов в песчаниках

и тонкозернистых обломочных породах исследованной выборки приведены в табл. 3.1.

### 6.3.2. Результаты исследований и их обсуждение

По данным микропетрографических исследований в разрезах машакской свиты распространены кварцевые, полевошпато- и литокласто-кварцевые песчаники [Ротарь, 1976; Парначев и др., 1986; Маслов, 1995]. Наряду с зернами кварца и полевых шпатов в их каркасе наблюдаются фрагменты алевролитов, микрокварцитов, «зеленых» сланцев, гематитизированные обломки основных эффузивов и, редко, карбонатных пород. Присутствующие среди песчаников пласты и линзы конгломератов сложены довольно бедной гаммой обломков. По данным [Ротарь, 1976; Парначев и др., 1986] и нашим наблюдениям, среди них преобладают кварцито-песчаники; в конгломератах нижних уровней разреза машакской свиты иногда можно видеть обломки филлитовидных сланцев, сходных с теми, что типичны для подстилающей юшинской свиты. Для конгломератов средних и верхних уровней характерны также обломки хлоритизированных и эпидотизированных основных эффузивов [Ротарь, 1976].

На диаграмме  $\log(\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3) - \log(\text{Fe}_2\text{O}_3^*/\text{K}_2\text{O})$  [Herron, 1988] точки состава песчаников второй синрифтовой ассоциации присутствуют практически во всех ее классификационных областях – от вакк до кварцевых аренитов (рис. 6.8, а); основная масса их сосредоточена в областях вакк, литаренитов и сублитаренитов, Fe-песчаников. Точки состава тонкозернистых обломочных пород машакской свиты тяготеют к областям сланцев (преобладают) и вакк. Для сравнения на этом же графике показано поле составов терригенных пород первой синрифтовой ассоциации типового разреза рифея – айской свиты нижнего рифея. Оно также характеризуется существенной пестротой составов слагающих его пород, однако практически не содержит кварцевых аренитов, тогда как роль аркозов и субаркозов в разрезах айской свиты несколько выше, чем в разрезах машакского уровня.

На классификационной диаграмме  $\log(\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3) - \log(\text{Na}_2\text{O}/\text{K}_2\text{O})$  [Петтиджон и др., 1976] (рис. 6.8, б) песчаники машакской свиты присутствуют преимущественно в полях аркозов, сублититов и кварцевых аренитов и характеризуются значениями  $\log(\text{Na}_2\text{O}/\text{K}_2\text{O}) < 0$ , тогда как песчаники айской свиты, обладающие величинами указанного параметра  $> 0$ , тяготеют к полям граувакк, лититов и субаркозов. Перекрытия между областями составов песчаников второй и первой синрифтовых ассоциаций эталонного разреза рифея на рассматриваемой диаграмме нет.

На диаграмме  $(\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O})/\text{Al}_2\text{O}_3 - (\text{Fe}_2\text{O}_3^* + \text{MgO})/\text{SiO}_2$  [Юдович, Кетрис, 2000] точки глинистых сланцев и алевролитов машакской свиты сосредоточены в основном в зоне перекрытия областей I (преимущественно каолинитовые глины) и II (преимущественно смектитовые с примесью каолинита и иллита глины) и области V (хлорит-смектит-иллитовые глины) (рис. 6.8, в). Поле составов синрифтовых тонкозернистых обломочных пород айской свиты смещено относительно поля аналогичных по гранулометрическому составу пород машакской свиты в область больших значений параметра  $(\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O})/\text{Al}_2\text{O}_3$ .

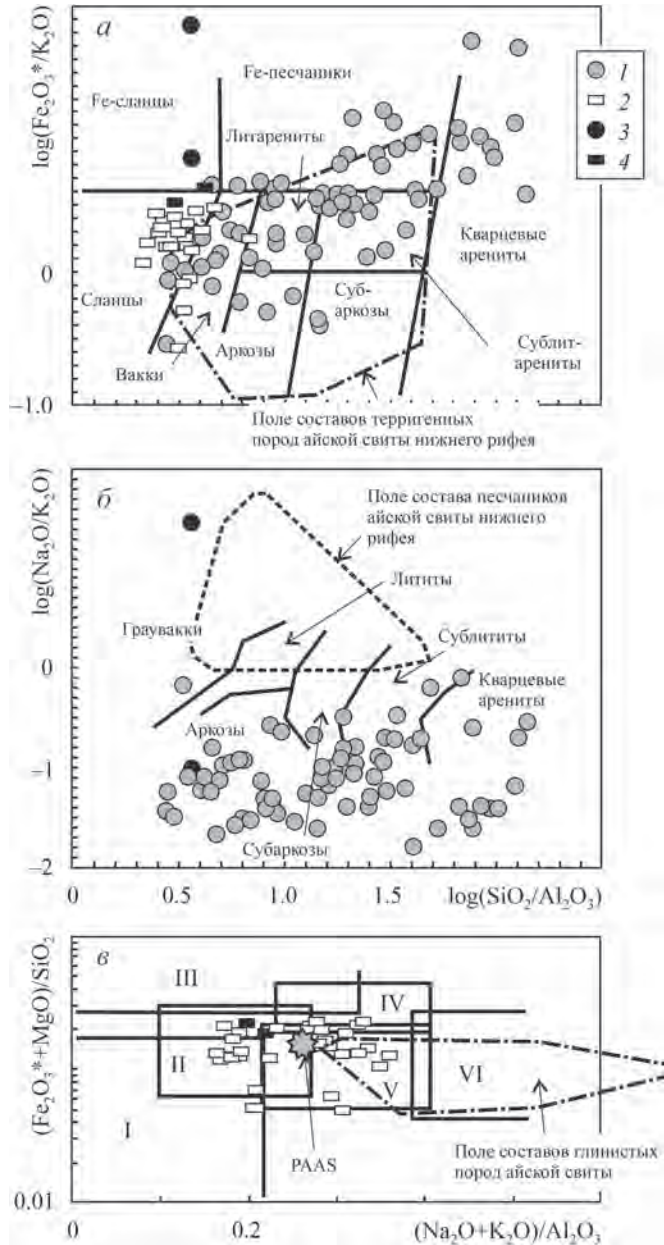


Рис. 6.8. Положение точек состава песчаников и тонкозернистых обломочных пород машакской свиты на классификационных диаграммах  $\log(\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3)$ – $\log(\text{Fe}_2\text{O}_3^*/\text{K}_2\text{O})$  (а),  $\log(\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3)$ – $\log(\text{Na}_2\text{O}/\text{K}_2\text{O})$  (б),  $(\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O})/\text{Al}_2\text{O}_3$ – $(\text{Fe}_2\text{O}_3^* + \text{MgO})/\text{SiO}_2$  (в).

Здесь и на рис. 6.9–6.11, 6.14, 6.15: 1 – песчаники; 2 – глинистые породы; 3 – туфопесчаники (?); 4 – туфоаргиллиты (?).

Поля глин: I – преимущественно каолиновых; II – преимущественно смектитовых с примесью каолинита и иллита; III – преимущественно хлоритовых с примесью Fe-иллитов; IV – хлорит-иллитовых; V – хлорит-смектит-иллитовых; VI – иллитовых со значительной примесью дисперсных полевых шпатов

Так как в случае с осадочными образованиями машакской свиты мы имеем дело с синрифтовыми образованиями, то логично ожидать, что они должны быть представлены в основном слабо преобразованным при перемещении и быстро накапливавшимся материалом. Как показано в монографии [Юдович, Кетрис, 2000], в петрогенных (прошедших один цикл седиментации) осадочных породах, как правило, сохраняются исходные корреляционные связи между литохимическими модулями – между титановым и железным модулями наблюдается положительная корреляция, между модулем общей щелочности и гидролизатным корреляция отсутствует. Для песчаников машакской свиты корреляция между ТМ и ЖМ положительная ( $r = 0.59$ ), а между НКМ и ГМ она отсутствует ( $r = -0.03$ ) (рис. 6.9, а, б). Исходя из сказанного, псаммиты второй синрифтовой ассоциации в стратотипическом разрезе рифея Южного Урала можно рассматривать, по всей видимости, как породы с заметной долей петрогенного материала. Песчаники первой синрифтовой ассоциации (айская свита) к этой категории не принадлежат [Маслов и др., 2018б].

Среднее содержание оксида магния в тонкозернистых обломочных породах машакской свиты составляет  $2.02 \pm 1.06$  мас. % (минимум – 0.37, максимум – 4.90 мас. %). Из 31 образца глинистых сланцев и алевролитов только для 5 характерно содержание  $MgO > 3$  мас. % (величина, разделяющая «обычные» глинистые породы и породы с примесью так называемой камуфлированной пирокластики [Юдович, Кетрис, 2000]). Таким образом, в составе тонкозернистых обломочных пород машакской свиты камуфлированной пирокластики, по всей видимости, нет.

Тонкозернистые обломочные породы машакской свиты характеризуются выраженной положительной корреляцией между ТМ и ЖМ ( $r = 0.54$ ) и слабой отрицательной корреляцией между НКМ и ГМ ( $r = -0.17$ ) (рис. 6.10, а, б). Вместе с приведенными аналогичными данными для песчаников это дает основание предполагать, что глинистые породы исследованной нами выбор-

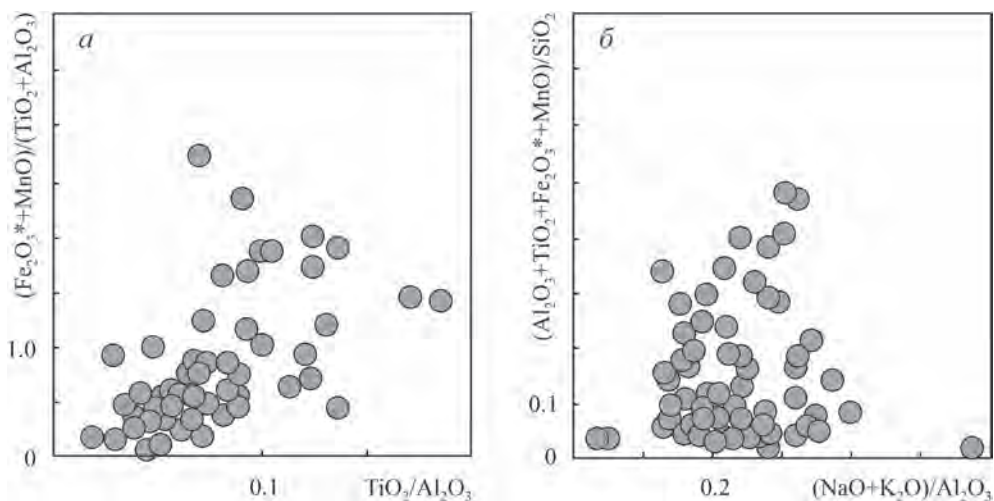


Рис. 6.9. Корреляция модулей ТМ и ЖМ (а) и НКМ и ГМ (б) в песчаниках машакской свиты

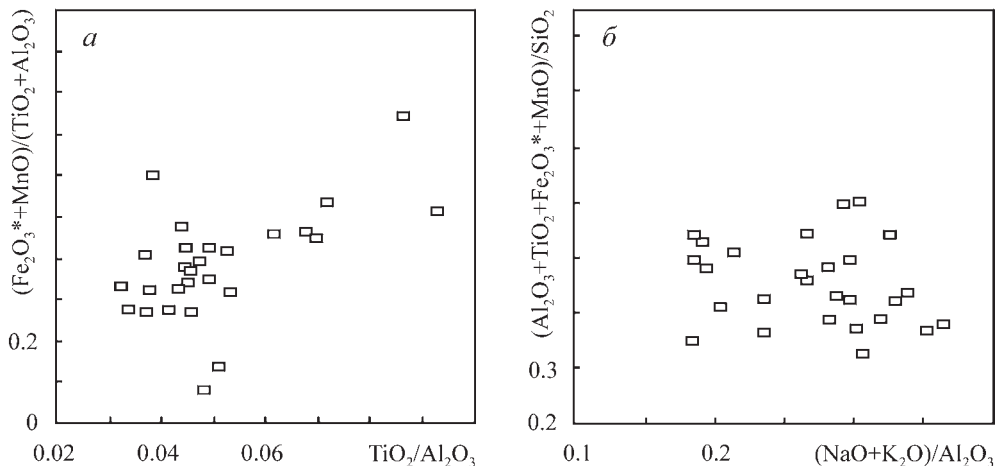


Рис. 6.10. Корреляция модулей ТМ и ЖМ (а) и НКМ и ГМ (б) в глинистых породах машакской свиты

ки имеют в составе заметную долю петрогенного материала. В то же время величина  $K_2O/Al_2O_{3cp}$  составляет для них  $0.25 \pm 0.07$ , при этом в 5 образцах из 31 данный параметр равен 0.30 или выше этого порогового значения, разделяющего, по мнению [Cox et al., 1995], литогенные и петрогенные глинистые породы.

На диаграмме  $K_2O/Na_2O-SiO_2/Al_2O_3$  примерно половина точек тонкозернистых обломочных пород машакской свиты расположена в области со значениями  $K_2O/Na_2O > 20$  (рис. 6.11), рассматриваемой как область составов, для которой можно предполагать проявление калиевого метасоматоза [Volnar et al., 2005]. Среднее значение  $K_2O/Na_2O$  для всей выборки составляет  $22.5 \pm 17.9$  (минимум – 2.8, максимум – 61.0). При этом для проб с  $K_2O/Na_2O < 20$  среднее значение данного параметра равно  $9.3 \pm 5.6$ . Таким образом, примерно половина образцов тонкозернистых обломочных пород машакской свиты из нашей выборки демонстрирует признаки влияния К-метасоматоза, тогда как для

глинистых пород первой синрифтовой ассоциации (айская свита) это в целом не характерно [Маслов и др., 2018б]. В песчаниках машакской свиты явно выраженных признаков К-метасоматоза не наблюдается.

Среднее значение индекса CIA для тонкозернистых обломочных образований машакской

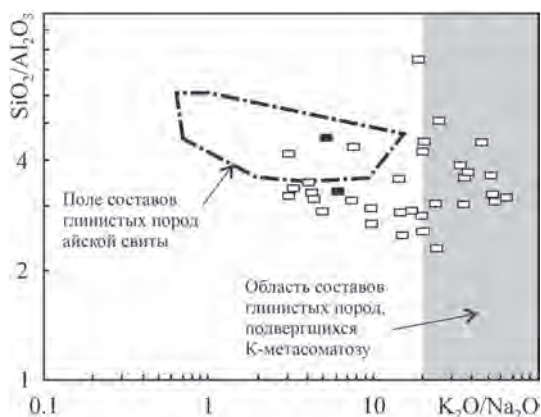


Рис. 6.11. Положение точек тонкозернистых обломочных пород машакской свиты на диаграмме  $K_2O/Na_2O-SiO_2/Al_2O_3$

свиты составляет  $75 \pm 4$ , что заметно выше, чем средняя величина CIA для глинистых пород айской свиты ( $63 \pm 4$ ). Это может указывать на относительно хорошо проявленное химическое выветривание пород-источников тонкой алюмосиликокластики, или, что нам представляется более правомерным, быть интерпретировано как следствие присутствия на палеоводосборах во время формирования отложений машакского уровня юрматиния существенной доли осадочных и метаосадочных пород.

Сравнение валового химического состава песчаников машакской синрифтовой ассоциации с составом среднего протерозойского кратонного песчаника [Condie, 1993] показывает наличие в них достаточно широких вариаций содержаний ряда основных породообразующих оксидов (рис. 6.12, а). При этом только среднее содержание оксида кремния примерно сопоставимо с содержанием данного компонента в ПКП ( $0.9 \times$  ПКП, минимум – 0.7, максимум – 1.1) (табл. 6.2А). Средние содержания оксидов титана и железа варьируют соответственно от  $\sim 2.3$  до  $2.6 \times$  ПКП. Средние содержания оксидов алюминия, магния, калия и фосфора составляют от 1.5 до  $1.8 \times$  ПКП. Распределение основных породообразующих оксидов в песчаниках первой синрифтовой ассоциации (айская свита) несколько иное (см. рис. 6.12, а).

При сопоставлении распределения основных породообразующих оксидов в песчаниках машакской свиты и «среднем среднерифейском алевропесчанике» (ССП) Восточно-Европейской плиты [Ронов и др., 1995] (см. рис. 6.12, б) можно видеть, что оба объекта характеризуются близкими средними содержаниями оксидов кремния, алюминия и железа (см. табл. 6.2Б). Средние содержания оксида титана в песчаниках машакской свиты несколько, а оксидов кальция, натрия, калия и фосфора существенно ниже, чем в ССП А.Б. Ронова, тогда как величина  $MgO_{cp}$  составляет  $\sim 1.8 \times$  ССП.

Наконец, сравнение средних содержаний основных породообразующих компонентов в песчаниках первой и второй синрифтовых ассоциаций показывает, что они сопоставимы по  $SiO_{2cp}$  и  $TiO_{2cp}$  (см. рис. 6.12, б, табл. 6.2В), но существенно разли-

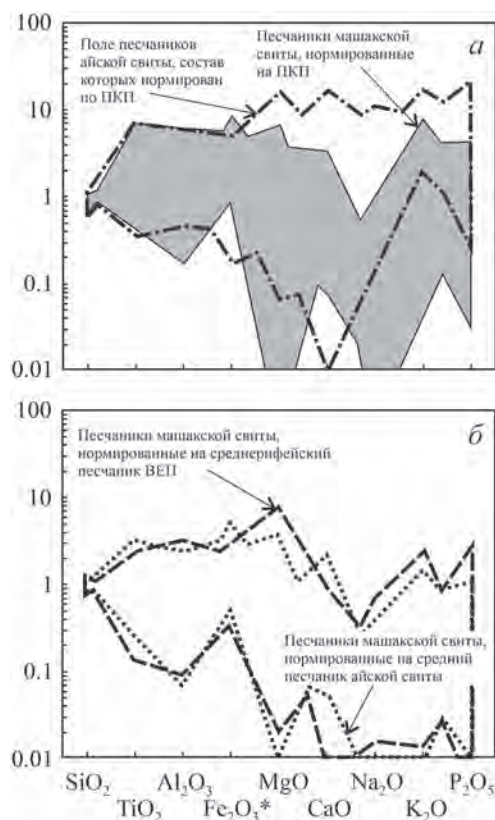


Рис. 6.12. Распределение основных породообразующих оксидов в песчаниках машакской свиты, нормированных по ПКП (а), алевропесчаным породам среднего рифея Восточно-Европейской плиты [Ронов и др., 1995] и среднему песчанику айской свиты (первая синрифтовая ассоциация) (б)

Таблица 6.2

**Средние значения и пределы изменения содержаний основных породообразующих оксидов в песчаниках и тонкозернистых обломочных породах машакской свиты, нормированные по составу ряда референтных геологических объектов**

Компонент, мас. %	А	Б	В	Г	Д
SiO <sub>2</sub>	<u>0.93 ± 0.10</u> 0.66–1.06	<u>1.06 ± 0.11</u> 0.75–1.20	<u>1.09 ± 0.12</u> 0.78–1.24	<u>1.01 ± 0.09</u> 0.86–1.29	<u>0.97 ± 0.09</u> 0.82–1.24
TiO <sub>2</sub>	<u>2.33 ± 1.54</u> 0.41–6.94	<u>0.80 ± 0.53</u> 0.14–2.36	<u>1.05 ± 0.69</u> 0.18–3.11	<u>0.94 ± 0.25</u> 0.55–1.62	<u>1.31 ± 0.35</u> 0.76–2.25
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	<u>1.77 ± 1.46</u> 0.17–6.06	<u>0.92 ± 0.75</u> 0.09–3.09	<u>0.72 ± 0.59</u> 0.07–2.43	<u>0.99 ± 0.15</u> 0.58–1.27	<u>1.17 ± 0.17</u> 0.68–1.49
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> *	<u>2.64 ± 1.46</u> 0.80–8.71	<u>1.01 ± 0.56</u> 0.30–3.30	<u>1.56 ± 0.86</u> 0.46–5.09	<u>1.04 ± 0.33</u> 0.26–1.70	<u>1.57 ± 0.49</u> 0.39–2.58
MnO	–	–	–	<u>0.23 ± 0.20</u> 0.09–1.00	<u>0.83 ± 0.72</u> 0.33–3.67
MgO	<u>1.46 ± 1.35</u> 0.001–6.95	<u>1.77 ± 1.54</u> 0.02–7.96	<u>0.84 ± 0.73</u> 0.01–3.78	<u>0.92 ± 0.48</u> 0.17–2.23	<u>0.89 ± 0.47</u> 0.16–2.16
CaO	<u>0.64 ± 0.78</u> 0.02–3.33	<u>0.18 ± 0.22</u> 0.01–0.94	<u>0.43 ± 0.52</u> 0.01–2.24	<u>0.27 ± 0.24</u> 0.04–0.92	<u>0.56 ± 0.48</u> 0.09–1.88
Na <sub>2</sub> O	<u>0.27 ± 0.43</u> 0.002–3.77	<u>0.22 ± 0.35</u> 0.002–3.05	<u>0.11 ± 0.17</u> 0.001–1.54	<u>0.31 ± 0.28</u> 0.06–1.06	<u>0.19 ± 0.17</u> 0.04–0.65
K <sub>2</sub> O	<u>1.78 ± 1.72</u> 0.05–7.68	<u>0.56 ± 0.54</u> 0.01–2.36	<u>0.35 ± 0.34</u> 0.01–1.48	<u>1.25 ± 0.41</u> 0.59–1.86	<u>0.94 ± 0.31</u> 0.45–1.40
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	<u>1.81 ± 3.17</u> 0.03–28.67	<u>0.17 ± 0.30</u> 0.003–2.69	<u>0.46 ± 0.80</u> 0.01–7.17	<u>0.63 ± 0.30</u> 0.08–1.25	<u>0.59 ± 0.28</u> 0.08–1.18

Примечание. А – по составу ПКП; Б – по составу среднего среднерифейского алевропесчаника ВЕП; В – по среднему составу песчаников айской свиты бурзянской серии (первая синрифтовая ассоциация); Г – по РААС; Д – по среднему составу глинистых пород айской свиты. Прочерк – нет данных.

чаются по средним содержаниям оксидов кальция, натрия, калия и фосфора. Концентрации последних в песчаниках машакской свиты составляют менее половины от их содержаний в псаммитах айского уровня.

Тонкозернистые обломочные породы машакской свиты характеризуются близкими к РААС средними содержаниями оксидов кремния, титана, алюминия, железа и магния (см. табл. 6.2Г, рис. 6.13, а); глинистые сланцы айской свиты, напротив, сопоставимы с РААС только по средним концентрациям трех оксидов – кремния, магния и фосфора [Маслов и др., 2018б]. Средние содержания оксидов марганца, кальция, натрия и фосфора в глинистых породах машакского уровня заметно ниже, чем в РААС, а оксида калия несколько выше (1.25 × РААС). Распределение перечисленных элементов в тонкозернистых обломочных породах айской свиты несколько иное (рис. 6.13, б).

Если сопоставить средние содержания основных породообразующих оксидов в тонкозернистых обломочных породах первой и второй синрифтовых осадочных ассоциаций стратотипа рифея, то мы увидим следующее. Средние содержания оксидов кремния, алюминия, магния и калия в обоих объектах

Рис. 6.13. Распределение основных породообразующих оксидов в тонкозернистых обломочных породах машакской свиты, нормированных по PAAS и среднему глинистому сланцу айской свиты (а), и сопоставление составов глинистых пород машакской и айской свит, нормированных к PAAS (б)

статистически не различаются (см. табл. 6.2Д, рис. 6.13, а). Значения  $TiO_{2\text{cp}}$  и  $Fe_2O_3^*_{\text{cp}}$  в породах машакской свиты в той или иной степени выше, чем в глинистых сланцах айского уровня, а средние содержания оксидов марганца, кальция, натрия и фосфора ниже (так, величина  $CaO_{\text{cp}}$  составляет только  $\sim 0.6$ , а  $Na_2O_{\text{cp}}$  – всего 0.2 от концентрации указанных оксидов в глинистых породах айской свиты). Это можно интерпретировать и как отражение присутствия в источниках сноса пород с повышенными содержаниями оксидов титана и железа (см. далее), и как следствие влияния выветривания с выводом из системы оксидов кальция и натрия.

Исходя из валового химического состава осадочных пород, в определенной мере можно судить как о составе пород-источников обломочного материала для них, так и о палеогеодинамических обстановках накопления осадочных последовательностей. Для реконструкции состава пород на палеоводосборах обычно используется ряд диаграмм, в том числе диаграмма F1–F2 [Roser, Korsch, 1988]. Распределение фигуративных точек песчаников и тонкозернистых обломочных пород машакской и айской свит на этом графике показано на рис. 6.14. Первые локализованы в основном в областях состава, представляющих продукты размыва магматических и/или метаморфических пород кислого, среднего и основного состава; примерно так же позиционировано на диаграмме F1–F2 поле составов терригенных пород надрифтовых образований среднего рифея Башкирского мегантиклинория – зигазино-комаровской и авзянской свит. Вторые тяготеют к областям, характерным для обломочного материала, образованного за счет эрозии кислых магматических/метаморфических и осадочных пород.

К числу более или менее уверенно распознаваемых по валовому химическому составу осадочных пород палеогеодинамических обстановок относятся пассивные и активные, в том числе с островными дугами разных типов, континентальные окраины, а также области проявления коллизионных и рифтогенных процессов. Последние «обрели свою область» только на недавно опубликованных дискриминантных диаграммах DF1–DF2 для терригенных пород с

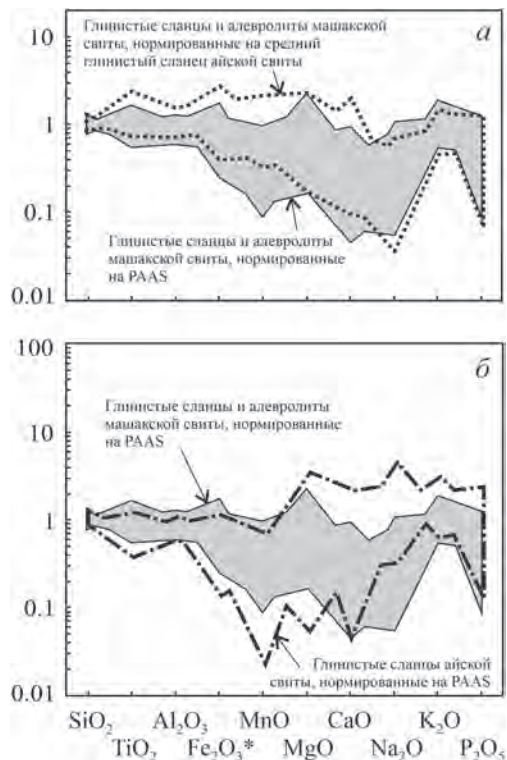






Рис. 6.14. Распределение точек состава песчанников и глинистых пород машакской свиты на диаграмме F1–F2.

Здесь и на рис. 6.15 поле составов песчанников и глинистых пород айской свиты по [Маслов и др., 2018б], поле составов терригенных пород надрифтовых толщ среднего рифея Башкирского мегантиклинория – оригинальные авторские данные

низким (35–63 мас. %) и высоким (63–95 мас. %) содержанием  $\text{SiO}_{2\text{adj}}$  [Verma, Armstrong-Altrin, 2013]. Поскольку в составе проанализированной нами коллекции терригенных пород машакской свиты присутствуют пробы как с низкими, так и высокими содержаниями оксида кремния, то для решения вопроса об их палеогеодинамической природе использованы обе диаграммы.

Точки песчанников и глинистых пород машакской свиты распределены на низкокремнистой диаграмме DF1–DF2 в основном в области составов, характерных для осадочных пород коллизионных обстановок. Небольшое количество их присутствует и в области, типичной для рифтогенных образований (рис. 6.15, а). Примерно так же распределены здесь терригенные породы зигазино-комаровской и авзянской свит юрматинской серии, относимые по геологическим данным к осадочным толщам «надрифтовой природы». На высококремнистой диаграмме DF1–DF2 (рис. 6.15, б) точки песчанников машакской синрифтовой ассоциации локализованы примерно поровну в областях составов, типичных для коллизионных и рифтогенных обстановок, тогда как точки тонкозернистых обломочных пород тяготеют в большей степени к последней области. Очевидно, что такое распределение, как и в случае терригенных пород первой синрифтовой ассоциации [Маслов и др., 2018б], не позволяет сделать определенный вывод о принадлежности песчанников и тонкозернистых обломочных пород машакской свиты к какой-либо палеогеодинамической обстановке. Средняя точка песчанников машакской свиты расположена вблизи линии, разграничивающей области составов, характерных для рифтогенных и коллизионных обстановок (рис. 6.15, в), что также не дает возможности сделать корректный вывод. Большая часть поля составов терригенных образований айской свиты (первая синрифтовая ассоциация) на этом графике отвечает области составов, характерных для рифтогенных обстановок, тогда как поле составов «надрифтовых образований» среднерифейской юрматинской серии (без пород зигальгинской свиты) тяготеет к точке схождения ли-

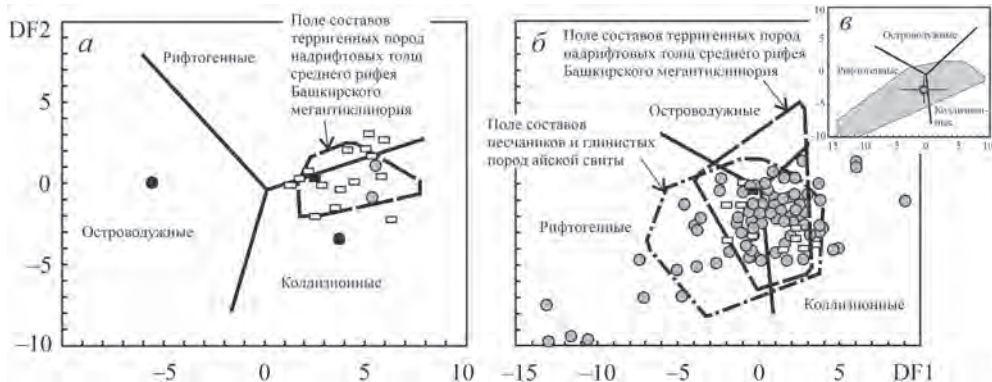


Рис. 6.15. Распределение частных (а, б) фигуративных точек состава песчаников и тонкозернистых обломочных пород машакской свиты и положение средней точки состава песчаников той же свиты (в) на низкокремнистой диаграмме DF1–DF2

ний, разграничивающих классификационные области данной диаграммы. Исходя из сказанного, можно констатировать, что сделать определенный вывод о палеогеодинамической природе терригенных пород машакской свиты из расположения их точек состава на диаграмме DF1–DF2 нельзя.

#### 6.4. Выводы

В составе песчаников айской свиты присутствуют продукты разрушения как кристаллического фундамента Восточно-Европейской платформы, так и осадочных/метаосадочных пород ее платформенного проточехла. Это определяет и наличие в составе как псаммитов, так и ассоциирующих с ними глинистых сланцев существенной доли литогенного (неоднократно переотложенного) материала.

Глинистые породы айской свиты в большинстве проанализированных нами образцов не содержат примеси так называемой камуфлированной пирокластики и не несут признаков влияния калиевого метасоматоза.

Тонкозернистые обломочные/глинистые породы айской свиты характеризуются невысокими величинами химического индекса изменения, что позволяет предполагать формирование их в обстановках относительно выраженной тектоники в областях размыва, в существенной мере (?) подавлявшей, по всей видимости, воздействие на состав пород палеоводосборов процессов химического выветривания.

Сравнение валовых химических составов и песчаников и глинистых сланцев айской свиты с рядом референтных объектов (средний протерозойский кратонный песчаник, РААС и др.) показало, что для них характерны достаточно широкие вариации содержаний основных породообразующих оксидов, т. е. заметная химическая незрелость. Можно предполагать, что последняя обусловлена именно формированием их в относительно активных тектонических обстановках.

Анализ валового химического состава песчаников и глинистых пород айской свиты показал, что источниками кластики для них выступали как кислые магматические и метаморфические (?) породы (кристаллический фундамент Восточно-Европейской платформы), так и осадочные и/или метаосадочные образования (проточехол) с повышенным количеством кварца.

Положение индивидуальных точек состава песчаников и глинистых пород айской свиты на диаграмме DF1–DF2 [Verma, Armstrong-Altrin, 2013] не позволяет сделать конкретный вывод об их палеогеодинамической природе (основная масса точек присутствует в областях, характерных для осадочных пород как рифтогенных, так и коллизионных обстановок; меньшая их часть сосредоточена в поле составов, типичных для островодужных обстановок). Более определенно в пользу рифтогенной/синрифтовой природы терригенных пород айской свиты свидетельствует распределение на указанной диаграмме средних точек песчаников и глинистых сланцев.

Песчаники машакской свиты характеризуются широкими вариациями валового химического состава. На классификационных диаграммах их точки распределены в полях от вакк до кварцевых аренитов. Последние практически не характерны для первой синрифтовой ассоциации стратотипа рифея (айская свита), тогда как роль аркозов и субаркозов в ее разрезах несколько выше, чем в разрезах машакской свиты. На диаграмме Ф.Дж. Петтиджона с соавторами [1976] перекрытие между областями составов песчаников машакской и айской свит отсутствует, что предполагает существенные различия питавших их провинций и общих особенностей накопления.

Тонкозернистые обломочные породы машакской свиты по валовому химическому составу близки к преимущественно смектитовым с примесью каолинита и иллита глинам, а также их хлорит-смектит-иллитовым разновидностям. От аналогичных по гранулометрическому составу пород айской свиты они отличаются меньшими величинами параметра  $(\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O})/\text{Al}_2\text{O}_3$  (общая нормативная щелочность Я.Э. Юдовича). В их составе отсутствует так называемая камуфлированная пирокластика, что согласуется с общей геологической ситуацией (преобладание в разрезах свиты потоков/покровов метабазальтов, излияния которых не сопровождалось взрывными процессами).

Песчаники и тонкозернистые обломочные породы машакской свиты содержат существенную долю петрогенного материала, т. е. сложены в основном продуктами, прошедшими всего один седиментационный цикл. Песчаники первой синрифтовой ассоциации имеют, напротив, существенную долю литогенной кластики. Значительная часть глинистых сланцев машакской свиты испытала, по всей видимости, определенное влияние процессов калиевого метасоматоза (для глинистых пород айской свиты это не характерно).

Распределение основных породообразующих оксидов в песчаниках машакской свиты несколько отличается от их распределения в песчаниках айской свиты, слагающих первую синрифтовую ассоциацию в типовом разрезе рифея. Они сопоставимы по  $\text{SiO}_{2\text{cp}}$  и  $\text{TiO}_{2\text{cp}}$ , но различаются по средним содержаниям  $\text{CaO}$ ,  $\text{Na}_2\text{O}$ ,  $\text{K}_2\text{O}$  и  $\text{P}_2\text{O}_5$ . Ассоциирующие с ними тонкозернистые обломочные породы характеризуются близкими к PAAS средними содержаниями  $\text{SiO}_2$ ,  $\text{TiO}_2$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{Fe}_2\text{O}_3^*$  и  $\text{MgO}$ , тогда как глинистые сланцы айской свиты сопоставимы с PAAS только по средним концентрациям  $\text{SiO}_2$ ,  $\text{MgO}$  и  $\text{P}_2\text{O}_5$ .

Распределение фигуративных точек песчаников и тонкозернистых обломочных пород машакской и айской свит на диаграмме F1–F2 [Roser, Korsch, 1988], позволяющей судить о составе пород-источников обломочного материала, показывает, что терригенные породы машакского уровня стратотипа рифея сложены продуктами размыва магматических и/или метаморфических пород кислого, среднего и основного состава. Примерно такой же набор пород на палеоводоразделах сохраняется до конца среднего рифея. Терригенные породы первой синрифтовой ассоциации представлены, напротив, продуктами эрозии кислых магматических/метаморфических и осадочных образований.

На низко- и высококремнистой диаграммах DF1–DF2 [Verma, Armstrong-Altrin, 2013] индивидуальные точки составов терригенных пород машакской свиты сосредоточены в основном (и часто примерно поровну) в полях рифтогенных и коллизионных обстановок. Средняя точка состава песчаников тяготеет к линии, разделяющей указанные поля. Это не позволяет сделать по литохимическим данным вывод о принадлежности осадочных образований машакской свиты к какой-либо конкретной палеогеодинамической обстановке. Решающее слово остается здесь за традиционными общегеологическими аргументами (наличие столбчатой отдельности в базальтах, присутствие протяженных линз конгломератов, маркирующих бывшее положение береговых линий (?), заметная изменчивость строения близкорасположенных разрезов, тесная ассоциация фалаховых и красноцветных формаций, приуроченность мощных толщ обломочных пород к узким депрессиям и др.) [Иванов и др., 1986; Пучков, 2000, 2010; Ларионов и др., 2006; и др.] и петрогеохимическими характеристиками магматических образований [Ernst et al., 2006; и др.].

---

## 7. ВМЕСТО ЗАКЛЮЧЕНИЯ

---

Каждая из глав данной книги имеет свои выводы. Это позволяет не суммировать их здесь еще раз, пусть и в сжатом виде. Более интересным представляется сравнить полученные нами материалы о локализации полей состава песчаников и тонкозернистых обломочных/глинистых пород различных рифтогенных структур на некоторых дискриминантных палеогеодинамических диаграммах с положением на них полей состава терригенных синорогенных образований<sup>20</sup>.

Ранее, рассматривая валовый химический состав синорогенных псаммитов [Маслов и др., 2013], мы отмечали, что они представлены весьма пестрым по химическому составу спектром пород, отвечающих всем областям классификационным диаграмм Ф.Дж. Петтиджона с соавторами [1976] и М. Хиррона [Heron, 1988]. В указанной ситуации выделить какой-либо один, определенный по петрографическому или химическому составу тип синорогенных песчаников, как это сделано для некоторых других обстановок (так, В.Н. Шванов и Б.А. Трифонов [1997] показали, что для континентальных и океанических платформ, пассивных окраин континентов, океанических рифтов, островных дуг существуют индикаторные петрографические типы/парагенезисы в виде горизонтальных и вертикальных рядов песчаников. Например, в глубоководных впадинах окраинных морей активных континентальных окраин в результате сноса материала с вулканических островных дуг накапливаются петрокластические отложения. В случае развития в вулканических зонах базальт-андезит-дацит-риолитовых серий, сменяющихся габбро-диорит-гранодиоритовыми (что характерно для островодужных систем), в осадках прилежащих морских котловинах может наблюдаться последовательная смена основной петрокластике средней и даже кислой. С ростом островодужных поднятий в результате коллизии петрокластический материал в бассейнах седиментации смешивается с продуктами эрозии осадочных толщ и блоков кристаллического фундамента, что приводит к образованию полимиктовых граувакк), невозможно.

Отсутствие характерных петрографических и химических парагенезисов песчаников на орогенном этапе связано в первую очередь с тем, что в разрыв в

---

<sup>20</sup> Под синорогенными терригенными образованиями мы понимаем песчаники и тонкозернистые обломочные/глинистые породы предгорных и межгорных прогибов, выполненных как собственно молассовыми образованиями, флишем и шпиром, так и вулканогенной и нескладчатой (удаленной) молассой.

данном случае вовлекаются весьма разнообразные по составу комплексы магматических, метаморфических и осадочных пород, отвечающие всему времени формирования складчатого пояса. Более того, на разных участках одного и того же орогена могут преобладать различные по составу комплексы. Тогда же было высказано предположение, что ни для инициального (рифтогенного), ни для дивергентного, ни для островодужного этапа эволюции океана и его обрамления подобная пестрота состава пород в областях сноса и формирующихся за счет их эрозии псаммитов не характерна.

Анализ валового химического состава песчаников различных синорогенных последовательностей/объектов (при подготовке публикации [Маслов и др., 2013] рассмотрены литохимические характеристики песчаников, слагающих Swiss Molasse Бассейн, северная периферия Альпийского складчатого пояса; Carnic Alps; Antigonish Rise, Новая Шотландия; Central Otago area, Южный остров Новой Зеландии; Предуральский краевой прогиб; Олюторский прогиб, Корякское нагорье; Шкаповско-Шиханскую и Мезенскую впадины; Московскую синеклизу; Днестровский перикратон/Львовско-Кишиневская впадину; Верхнеамурский прогиб; бассейны Hammamat, Karim, El Mayah и др., Северная Африка; а также Бассейн St. Marys, Новая Шотландия) показал, что он существенно неоднороден. Это напрямую связано с особенностями их формирования, определяемыми активным тектоническим режимом, значительной расчлененностью областей питания, достаточно слабой переработкой кластики на путях переноса, короткими расстояниями транспортировки, небольшим временем между мобилизацией и окончательным захоронением обломочного материала, а также смешением кластики из разнородных, в том числе локальных, источников сноса. Интересно, что все или почти все перечисленные характеристики присущи и процессам накопления синрифтовых осадочных толщ.

В итоге сделан вывод, что в указанной ситуации данные, полученные при использовании только дискриминантных диаграмм без учета структурно-текстурных признаков пород и анализа как особенностей строения слагаемых ими осадочных ассоциаций, так и соотношения последних с подстилающими и перекрывающими образованиями, не могут рассматриваться как решающий аргумент при установлении палеогеодинамической природы песчаников. Действительно, например, на диаграмме  $\text{SiO}_2\text{--K}_2\text{O/Na}_2\text{O}$  поля составов синорогенных песчаников локализованы во всех трех ее областях (пассивных и активных континентальных окраин и океанической островодужной обстановке).

Локализация полей состава синорогенных глинистых пород различных объектов (в публикации [Маслов и др., 2015а] суммированы данные о литохимических особенностях тонкозернистых обломочных/глинистых пород, выполняющих Южно- и Среднеуральский, а также Вычегодский сегменты краевого прогиба тиманид; Глушихинский, Тейско-Чапский и Ангаро-Тисский прогибы Енисейского кряжа; Верхнеамурский и Зей-Депский прогибы; Олюторский террейн; Днестровский перикратон; Sicilian domain Альпийского складчатого пояса; Трог Indus-Ganges, Индостан; Бассейн Nanxiong, Южный Китай; бассейны Lagonegro и Numidian, Южный Апеннины) на дискриминантных палеогеодинамических диаграммах несколько различно. Так, на диаграмме  $\text{K}_2\text{O/Na}_2\text{O--SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$  они сосредоточены преимущественно в области составов, характерных для пассивных континентальных окраин. На диаграммах  $\text{SiO}_2\text{--K}_2\text{O/Na}_2\text{O}$  и F1–F2 они секут границы классификационных областей и

расположены в области как составов, свойственных пассивным окраинам континентов, так и активным окраинам.

Все сказанное позволяет думать, что в условиях весьма активной тектоники, присущей коллизионному/орогенному этапу развития подвижных поясов, не происходит существенной гомогенизации состава не только псаммитов, но и глинистых пород, валовый химический состав которых преимущественно отражает особенности состава породных ассоциаций, сформированных как на дивергентном и конвергентном, так и на собственно коллизионном этапах (т. е. в областях размыва присутствуют блоки пород разного состава и разной геодинамической природы).

В статье [Маслов и др., 2016б] показано, что на диаграммах  $K_2O/Na_2O-SiO_2/Al_2O_3$ , а также  $SiO_2-K_2O/Na_2O$  поля терригенных образований, отвечающих рифтогенным и сходным с ними обстановкам, сосредоточены в основном в области составов, свойственных пассивным континентальным окраинам, лишь некоторая часть их тяготеет к области активных окраин. Синорогенные песчаники и глинистые породы на диаграмме  $K_2O/Na_2O-SiO_2/Al_2O_3$  в основном сосредоточены, как и синрифтовые, в области пассивных континентальных окраин. На диаграмме  $SiO_2-K_2O/Na_2O$  более половины точек этого класса обстановок сконцентрировано в области активных континентальных окраин. Более того, на последней диаграмме поля терригенных пород платформенных, пассивных континентальных окраин, рифтогенных и коллизионных ассоциаций имеют более чем 60–70%-е перекрытие и разграничить их не представляется возможным. Тогда же было отмечено, что на высококремнистой диаграмме DF1–DF2 отсутствуют принципиальные различия в расположении естественных полей песчаников и глинистых сланцев платформенных, рифтогенных и коллизионных ассоциаций.

Если сравнить сейчас распределение полей синрифтовых терригенных ассоциаций, с одной стороны, и синорогенных песчаников и глинистых пород, с другой, на диаграмме  $SiO_2-K_2O/Na_2O$  (рис. 7.1), то мы увидим, что принци-

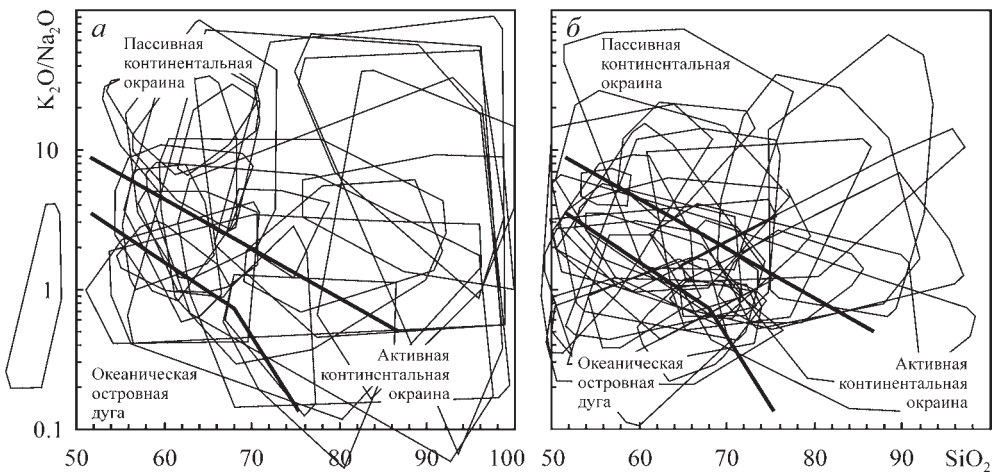


Рис. 7.1. Распределение полей синрифтовых терригенных пород (а), синорогенных песчаников и тонкозернистых обломочных/глинистых пород (б) на диаграмме  $SiO_2-K_2O/Na_2O$

альных различий в их локализации на данной диаграмме нет. И те и другие ассоциации сосредоточены преимущественно в областях пассивных и активных континентальных окраин; часть из их полей «заходит» и в область составов, характерных для океанических островных дуг. Даже если не ориентироваться на области составов, выделенные на данном графике его авторами, то поля и синрифтовых, и синорогенных терригенных ассоциаций занимают почти всю его площадь, соответственно принципиальных различий между ними по валовому химическому составу, по-видимому, нет.

На диаграмме F1–F2 поля синрифтовых терригенных ассоциаций расположены в основном в области составов, характерных для пассивных континентальных окраин, заметно меньшая их часть локализована или «заходит» в область составов активных окраин и/или континентальных вулканических дуг (рис. 7.2). Поля синорогенных песчаников и глинистых пород на данной диаграмме также преимущественно тяготеют к области составов, присущих, по мнению Б. Розера и Р. Корша, обстановкам пассивных континентальных окраин. Частично ряд полей «расположен» в области составов, свойственных как окраинам активным, так и континентальным и океаническим островным дугам. Все сказанное показывает, что и на диаграмме F1–F2, же как на графике  $\text{SiO}_2\text{--K}_2\text{O/Na}_2\text{O}$ , какого-либо значимого различия в распределении полей терригенных синрифтовых и синорогенных песчаников и тонкозернистых обломочных/глинистых пород не наблюдается, а следовательно, с помощью этой диаграммы корректно разграничить породы названных геодинамических обстановок не представляется возможным.

На высококремнистой диаграмме DF1–DF2 поля синрифтовых песчаников и глинистых пород из нашего банка данных занимают области составов, свойственные, по мнению С. Верма и Дж. Армстронга-Алтрина, породам рифтогенных и коллизионных обстановок (рис. 7.3). При этом распределение фигуративных точек состава в подавляющем числе полей таково, что последние локализованы в пределах обеих названных геодинамических областей. Поля синорогенных терригенных образований на данной диаграмме локализованы во

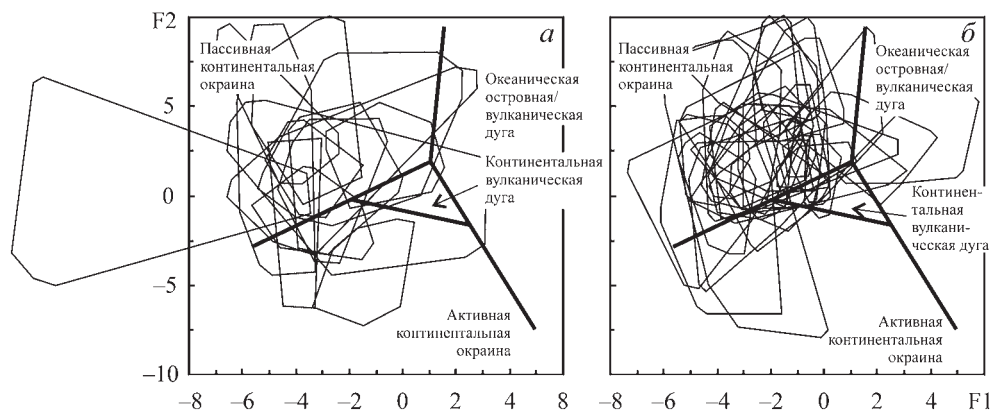


Рис. 7.2. Распределение полей синрифтовых терригенных пород (а), синорогенных песчаников и тонкозернистых обломочных/глинистых пород (б) на диаграмме F1–F2



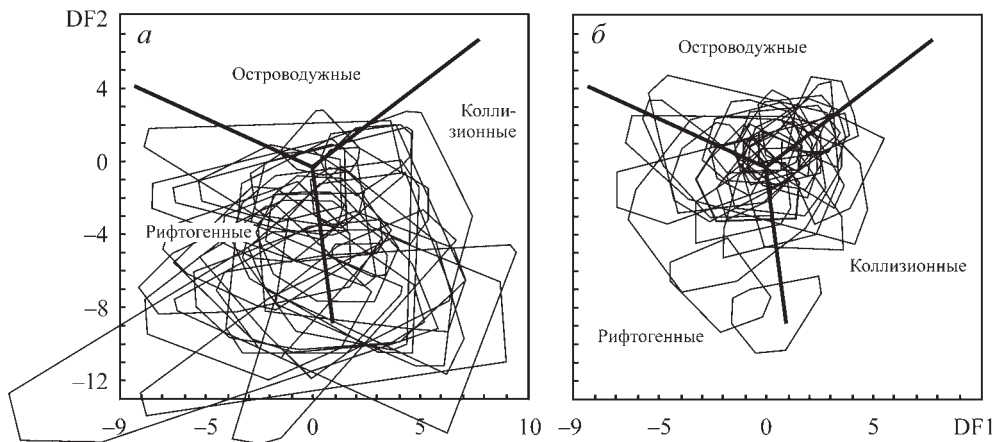


Рис. 7.3. Распределение полей синрифтовых терригенных пород (а), синорогенных песчаников и тонкозернистых обломочных/глинистых пород (б) на диаграмме DF1–DF2

всех трех ее областях. Некоторые из них почти полностью принадлежат рифтогенной области, другие тяготеют к области составов, характерных, по мнению авторов названной диаграммы, для островодужных обстановок.

Таким образом, начиная исследования литохимических особенностей терригенных пород различных геодинамических обстановок и предполагая тем или иным образом «улучшить» существующие или создать новые дискриминантные диаграммы для разграничения песчаников и тонкозернистых обломочных/глинистых пород различных палеогеодинамических обстановок, мы в итоге, пройдя достаточно большой путь, неожиданно для себя должны констатировать, что, скорее всего, ни одна из известных в настоящее время диаграмм такой возможности при анализе распределения на них естественных полей состава терригенных пород не дает. Вряд ли более успешной будет попытка использовать в этих целях только средние значения различных индикаторных отношений и дискриминантных функций.

---

## ПРИЛОЖЕНИЯ

(краткая характеристика объектов, данные о валовом химическом составе песчаников и тонкозернистых обломочных/глинистых пород которых использованы в настоящей работе)

---

### **Объект 1: песчаники и глинистые породы неогенового Бассейна Jiayang (Северный Китай)**

По данным, приведенным в публикациях [Cai et al., 2008, 2011 и ссылки в этих работах], Бассейн/Мегавпадина Jiayang является частью сложнопостроенного Бассейна Bohai Bay – ограниченной многочисленными разломами структуры, расположенной на востоке Северо-Китайского блока (северо-восточная часть провинции Shandong). Его площадь составляет примерно 26 000 км<sup>2</sup>, мощность осадочного выполнения варьирует от 5000 до 12 000 м. Считается, что с эоцена по настоящее время Бассейн Jiayang прошел в развитии три стадии: 1) начального рифтогенеза и погружения в эоцене; 2) интенсивного рифтогенеза и погружения в позднем эоцене и олигоцене; 3) пострифтового погружения с миоцена до настоящего времени. В результате этих событий в названном бассейне сформировались прогибы-полуграбены (Dongying, Zhanhua, Chezhen и Huimin). Одним из наиболее представительных структурных элементов Бассейна Jiayang является прогиб Zhanhua. Отложения третичного возраста в нем включают палеогеновые формации Kongdian, Shahejie и Dongying, а также неогеновые формации Guantao и Minhuazhen, сложенные преимущественно породами аллювиального и пойменного генезиса. Формация Kongdian (мощность более 1000 м) объединяет обломочные красноцветные породы – конгломераты, гравелиты, песчаники, алевролиты и в подчиненном количестве глинистые сланцы, накопившиеся преимущественно во флювиальных обстановках. Формация Shahejie включает четыре толщи, из которых нижняя (10–800 м, преимущественно эвапориты) накапливалась на инициальной рифтогенной стадии, перекрывающие ее синрифтовые темноокрашенные аргиллиты, глинистые сланцы и сланцы с повышенным содержанием ОВ/нефтеносные сланцы (350–1400 м) формировались в глубоководных пресноводных озерах. Третья (10–220 м) и четвертая (50–360 м) толщи, объединяющие соответственно серые аргиллиты с прослоями песчаников и темно-серые аргиллиты, обогащенные органикой глинистые породы с прослоями карбонатов, сформированы во время сокращения площади озера. Формация Dongying (0–95 м) представлена флювиальными и мелководно-озерными пресноводными серыми аргиллитами и песчаниками, в том числе с заметной долей карбонатного материала. Формация Guantao представлена в нижней части (200–500 м) грубоплитчатыми конгломератами и грубозернистыми песчаниками, чередующимися с зелено- и красноцветными аргиллитами и песчанистыми их разностями, а в верхней (около 300 м) – пестроцветными (красными, пурпурными, серыми и зеленовато-серыми) аргиллитами, алевролитами и тонко-

зернистыми песчаниками. Формация Minhuazhen (1000–2000 м) сложена преимущественно коричневато-желтоватыми и коричневато-красными аргиллитами с прослоями рыхлых флювиальных алевролитов, тонкозернистых песчаников, конгломератов; изредка в ее разрезах встречаются конкреции известняков и гипса. Венчают разрез отложения формации Pinguan (250–450 м), объединяющей серые аргиллиты, алевролиты и тонкозернистые пески.

Валовый химический состав песчаников и глинистых пород Бассейна Jiayang приведен в приложениях 1-1<sup>21</sup> и 1-2 соответственно.

## **Объект 2: песчаники и глинистые породы неопротерозойской серии Uinta Mountain (Юта, США)**

По приведенным в публикации [Condie et al., 2001 и ссылки в этой работе] данным, отложения неопротерозойской серии Uinta Mountain накапливались в интракратонном рифте, с одной стороны ограниченном активной рифтовой системой, а с другой – открывавшемся в мелководно-морской бассейн. Здесь в эстуарии формировались отложения серии Big Cottonwood. Хотя указанный рифт мог быть связан с ранними стадиями распада Родинии, он не являлся авлакогеном. Серия Uinta Mountain представляет собой мощную последовательность морских и континентальных (главным образом флювиальных) алломосиликокластических отложений. Накопление их происходило 1000–700 млн лет назад (неопротерозой). В западной части гор Uinta серия Uinta Mountain включает кварцевые, полевошпато-кварцевые и субаркозовые песчаники (на их долю приходится до 65% общего объема пород), аркозовые песчаники (~15%), алевролиты и глинистые сланцы (~20%), а также подчиненные им конгломераты. Средняя мощность отложений серии Uinta Mountain составляет около 4 км, а в ряде случаев достигает 7 км. Базальные ее горизонты сложены мономиктовыми кварцевыми песчаниками. Они перекрыты несколькими литостратиграфическими подразделениями, объединяющими относительно хорошо отсортированные кварцевые песчаники, переслаивающиеся с аркозовыми песчаниками и глинистыми сланцами. Соотношения между названными литотипами варьируют от разреза к разрезу. Серия Big Cottonwood объединяет примерно 5-километровую последовательность кварцевых песчаников, алевролитов и глинистых сланцев, накапливавшихся в мелководно-морских обстановках (частично в эстуарии) у «устья» интракратонного рифта, в котором формировались отложения серии Uinta Mountain.

Валовый химический состав песчаников и глинистых пород серии Uinta Mountain приведен соответственно в приложениях 2-1 и 2-2.

## **Объект 5: песчаники меловой формации Omdurman Бассейна Khartoum (Центральный Судан)**

Бассейн Khartoum – это один из преимущественно интракратонных рифтовых бассейнов Центрального Судана, сложенных мощными толщами континентальных алломосиликокластических образований юрского (?), мелового и третичного возраста. В соответствии с представлениями [Elzien et al., 2014 и ссылки в этой работе], пачка Merkhiyat меловой формации Omdurman (северо-западная часть Бассейна Khartoum) объединяет средне- и грубозернистые песчаники, конгломераты и подчиненные им глинистые сланцы, накапливавшиеся преимущественно во флювиальных обстановках.

---

<sup>21</sup> Здесь и далее первая цифра в номере приложения указывает номер объекта в нашем банке данных, вторая – тип породы (1 – песчаники, 2 – тонкозернистые обломочные/глинистые породы). При подготовке данной работы ряд объектов, рассмотренных в наших предшествующих публикациях (см., например, [Маслов и др., 2018а, 2019; и др.]), был исключен из анализа.

Валовый химический состав песчаников формации Omdurman приведен в приложении 5-1.

### **Объект 8: песчаники и глинистые породы палеопротерозойской формации Serpent (надсерия Huronian, Канада)**

По данным [Fedo et al., 1997 и ссылки в этой работе], палеопротерозойская формация Serpent (средняя мощность 250–300 м, а в ряде случаев – до 2000 м), входящая в состав надсерии Huronian, накапливалась в дистальных аллювиальных обстановках. Она сложена преимущественно песчаниками с небольшим количеством глинистых сланцев и алевролитов. Отложения надсерии Huronian (мощность порядка 12 000 м) распространены на северном берегу оз. Гурон, где слагают изогнутый пояс протяженностью около 300 км. Данные структурных и стратиграфических исследований указывают на рифтогенную природу нижнегуронских (включая и формацию Serpent) отложений. Основные вулканиты, ассоциирующие с расслоенными габбро-анортозитовыми массивами, присутствующие в основании осадочной последовательности надсерии Huronian (возраст ~2496–2450 млн лет), маркируют начало процессов рифтогенеза. Породы верхней части надсерии, начинающейся гляциогенными отложениями формации Gowganda, распространены значительно более широко, чем нижней. Слагающие верхнюю часть надсерии Huronian осадочные образования накапливались на стабильной континентальной окраине и представлены преимущественно зрелыми песчаниками. Отложения формации Serpent – это часть увеличивающегося в мощности на юг (современные координаты) осадочного клина; среди них преобладают фации дистальной разветвленной аллювиальной равнины. Формирование отложений формации Serpent маркируют переход от стадии континентального рифта к пассивной окраине.

Валовый химический состав песчаников и глинистых пород формации Serpent приведен соответственно в приложениях 8-1 и 8-2.

### **Объект 19: алюмосиликокластические образования Бассейна Kalahari (Okavango Delta sediments) (Восточно-Африканская рифтовая зона, северо-западная Ботсвана)**

В соответствии с представлениями [Huntsman-Mapila et al., 2005 и ссылки в этой работе], алюмосиликокластические образования (преимущественно пески с варьирующим количеством алевритов, глин и прослоев карбонатных пород) дельты р. Окаванго выполняют одноименный бассейн-полуграбен (Бассейн Okavango), являющийся юго-западным продолжением Восточно-Африканской рифтовой системы.

Валовый химический состав алюмосиликокластических образований дельты р. Окаванго приведен в приложении 19-1.

### **Объект 29: песчаники и глинистые породы нижней части надсерии Vindhyan/серия Lower Vindhyan/Semri (Юго-Восточный Rajasthan, Индия)**

По данным [Raza et al., 2002, 2010; Paikaray et al., 2008 и ссылки в этих работах], Индийский щит, подобно многим другим древним щитам, характеризуется присутствием нескольких крупных осадочных бассейнов протерозойского возраста, которые иногда все вместе описываются как бассейны Purana. Самый крупный из них – Бассейн Vindhyan, расположенный на севере Индийского щита. Его площадь составляет около 178 000 км<sup>2</sup>. Наиболее древние отложения этого бассейна (серия Lower Vindhyan/Semri) принадлежат к нижней части надсерии Vindhyan и известны у его западной границы (Юго-Восточный Rajasthan). Они включают глинистые сланцы и песчаники с подчиненными им прослоями и пачками известняков, конгломератов и, в нижней

части осадочной последовательности, основных вулканитов. К югу от Chittaurgarh серия Semri включает пять толщ/формаций глинистых сланцев, разделенных интервалами песчаников и известняков: Сланцы Khardeol, Palri, Binota, Bari и Suket. Базальные отложения Lower Vindhyan представлены вулканитами Khairmalia Andesites, которые перекрыты красно- и пестроцветными глинистыми сланцами (Сланцы Khardeol, мощность от 70 до 200 м), подстилающими грубозернистые Песчаники Khardeola. Местами тонкозернистые обломочные породы содержат текстуры мелко- и сверхмелководного генезиса. Иногда среди них присутствуют пласти и линзы доломитов. Сланцы Palri/Sawa – это тонкослоистые светлые, палево-серые и иногда желтовато-серые глинистые породы, мощность которых не превышает 70–75 м. Местами они содержат пласти порцелланитов. Сланцы Binota сложены оливково-зелеными, коричневыми, розоватыми или пурпурными глинистыми породами с линзами алевролитов и тонкозернистых песчаников. Сланцы Bari объединяют тонкослоистые пурпурные, зеленовато-пурпурные или желтовато-серые глинистые породы. Сланцы Suket представлены глинистыми породами светло-коричневой, зеленовато- и голубовато-серой, а также пурпурной окраски, иногда в них присутствует заметное количество кремнистого материала, слюды и карбонатов. В верхней части названного литостратиграфического подразделения присутствует некоторое количество песчаного материала. По данным [Paikaray et al., 2008 и ссылки в этой работе], формирование отложений Lower Vindhyan/серии Semri происходило в условиях доминирования процессов рифтогенеза.

Валовый химический состав песчаников, а также глинистых пород Lower Vindhyan/серии Semri приведен в приложениях 29-1, 29-2 и 29-2а.

### **Объект 33: песчаники пермской формации Malužiná (Малые Карпаты, Словакия)**

По данным [Vďačný et al., 2013 и ссылки в этой работе], пермская формация Malužiná (максимальная мощность в Низких Татрах 2200–2400 м) Западных Карпат представлена преимущественно алюмосиликокластическими осадочными породами – полимиктовыми конгломератами, песчаниками, алевролитами и глинистыми сланцами, изредка среди них можно также видеть прослой каличе и эвапоритов. Указанные осадочные образования содержат также мощные потоки континентальных рифтогенных толеитов. Литофациальные особенности (преимущественно озерный, дельтовый и аллювиальный генезис исходных осадков), характер вулканизма и общая «организация» отложений указывают на внутриконтинентальный, связанный с процессами рифтогенеза тип бассейна осадконакопления, в котором формировались отложения формации Malužiná.

Валовый химический состав песчаников формации Malužiná приведен в приложении 33-1.

### **Объект 35: песчаники нижнемиоценовой формации Nukhul (рифт Суэцкого залива, Центральный Синай, Египет)**

Синрифтовые отложения Суэцкого рифта – это в основном обломочные образования олигоцена и миоцена. На начальных стадиях рифтогенеза в рассматриваемом регионе были сформированы континентальные отложения позднеолигоценовой формации Abu Zenima. Они несогласно перекрыты породами формаций Nukhul, Rudeis и Belayim, имеющими миоценовый возраст. Мощность и состав этих образований существенно изменяются от района к району. По данным [Zaid, 2013 и ссылки в этой работе], нижнемиоценовая формация Nukhul (запад центральной части Синайского полуострова) имеет среднюю мощность порядка 100 м (максимальная мощность – до

700 м). Она представлена преимущественно песчаниками, глинистыми породами, конгломератами, мергелями и известняками. В разрезе названной формация выделяются две толщи. Нижняя сложена в основном песчаниками с прослоями глинистых пород (считается, что это отложения гравитационных потоков, накопившихся ниже штормового базиса волнений), верхняя имеет смешанный терригенно-карбонатный состав (относительно глубоководные, перитайдиальные и субтайдиальные отложения). По мнению ряда специалистов, осадочные породы формации Nukhul образуют несколько последовательностей континентально-морских образований, накопившихся в изолированных суббассейнах внутри Суэцкого рифта.

Валовый химический состав песчаников формации Nukhul приведен в приложении 35-1.

### **Объект 36: песчаники и глинистые породы уйской серии Учуро-Майского региона (Юго-Восточная Сибирь)**

Уйская серия завершает разрез гипостратотипа рифея Учуро-Майского региона [Семихатов, Серебряков, 1983; Khudoley et al., 2001; Подковыров и др., 2002; Cullers, Podkovurov, 2002]. В ее состав входят кандыкская и усть-кирбинская свиты. Кандыкская свита (900–2000 м) представлена неравномерным чередованием песчаников, алевролитов и аргиллитов. В разрезах усть-кирбинской свиты (500–3500 м) также преобладают терригенные породы. В ряде разрезов серии присутствуют sillы базальтов. Считается, что терригенные и карбонатно-терригенные последовательности нижнего и среднего рифея названного региона накапливались в относительно небольших эпикратонных бассейнах, при резком преобладании мелководных и сверхмелководных обстановок. В самом начале позднего рифея (~1030 млн лет назад) на рассматриваемой территории был сформирован глубоководный рифтогенный прогиб, развитие которого завершилось около 940–950 млн лет назад.

Валовый химический состав песчаников и глинистых пород уйской серии приведен соответственно в приложениях 36-1 и 36-2.

### **Объект 37: песчаники и глинистые породы мезопротерозойско-неопротерозойской серии Banxi (блок Yangtze, Южный Китай)**

Южный Китай включает Блок Yangtze на северо-западе и Катазийский Блок на юго-востоке. В соответствии с данными [Gu et al., 2002; Deru et al., 2007 и ссылки в этих работах], для объяснения особенностей тектонического развития Южного Китая предложен ряд моделей, среди которых коллизия континент-континент в мезозое, эволюция системы желоб–дуга–задуговой бассейн в раннем-среднем протерозое и распад Родинии в неопротерозое. На юго-восточной окраине Блока Yangtze мезопротерозой представлен серией Lengjiaxi (в провинции Hunan) и ее местными эквивалентами (серии Sibao, Fanjingshan, Songqiaoshan и Shuangxiwu). К неопротерозою здесь относятся серия Banxi и ее эквиваленты (серии Xiaojiang, Danzhou, Xiushui, Shunlongjia и Shangxi). Серия Banxi (1250–6200 м) и коррелируемые с ней отложения – это преимущественно обломочные образования с прослоями и пачками туфогенных пород (песчаники, кремнистые сланцы, филлиты, средние и кислые туфы, конгломераты и лититовые граувакки). В южной части провинции Anhui и на северо-востоке провинции Jiangxi с отложениями серии Banxi тектонически совмещены два офиолитовых пояса. Вулканы основного и ультраосновного состава в отложениях серии Banxi интерпретируются как следствие процессов растяжения/рифтогенеза в задуговом бассейне, хотя в литературе есть и другие точки зрения.

Валовый химический состав песчаников, а также глинистых пород и алевролитов серии Banxi приведен соответственно в приложениях 37-1 и 37-2.

### **Объект 38: песчаники и глинистые породы неопротерозойской формации Gamble Brook (Авалонский террейн, Новая Шотландия, Канада)**

Неопротерозойская формация Gamble Brook, известная в Авалонском террейне Новой Шотландии, сложена кварцитами, пелитовыми и псаммитовыми метаосадочными породами. Все эти образования традиционно рассматриваются как отложения, накопившиеся на пассивной окраине атлантического типа, располагавшейся вдоль Амазонского края Родинии до главной (примерно 650–550 млн лет) фазы авалонского магматизма, связанного с процессами субдукции. Однако, по представлениям [Murphy, 2002], геохимические и Sm-Nd изотопные характеристики метаосадочных пород указывают, что, хотя кварциты преимущественно образованы за счет размыва древнего кратона, пелиты и псаммиты сформированы материалом эрозии умеренно фракционированной мафической или средней по составу прото-авалонской коры. Наличие двух таких источников кластики для отложений формации Gamble Brook несовместимо с моделью пассивной континентальной окраины и может быть интерпретировано как результат осадконакопления вдоль границы бассейна, отвечавшей рифтогенным островодужным обстановкам. Формация Gamble Brook объединяет две толщи. Нижняя содержит многочисленные ортокварциты и аркозовые кварциты с прослоями биотит-мусковит-гранатовых псаммитовых и пелитовых кристаллических сланцев с подчиненными им карбонатными прослоями и линзами. Верхняя толща отличается большей ролью пелитовых пород – биотит-мусковитовых и биотит-гранатовых кристаллических сланцев и филлитов с подчиненными им кварцитами и псаммитовыми кристаллическими сланцами.

Валовый химический состав песчаников, а также глинистых пород и алевролитов формации Gamble Brook приведен соответственно в приложениях 38-1 и 38-2.

### **Объект 39: песчаники и глинистые породы перми и триаса Бассейна Satpura (Центральная Индия)**

По данным [Ghosh, Sarkar, 2010; Ghosh et al., 2012 и ссылки в этих работах], на территории центральной части Индостана гондванские осадочные последовательности присутствуют в нескольких интракратонных бассейнах. Один из них – Бассейн Satpura. Это самый западный из серии подобных бассейнов, протягивающихся вдоль долины Narmada-Son-Damodar. Бассейн имеет ромбовидную форму, длина его 200 км, ширина 60 км. Его форма, особенности накопления в нем осадков и общий характер «архитектуры» осадочного выполнения позволяют считать его бассейном типа pull-apart. Присутствующие здесь осадочные образования накапливались в мегаполуграбене, ограниченном несколькими разломами, а сами процессы осадконакопления происходили при различных режимах прогибания, которые контролировались подвижками по разломам и прерывались периодами покоя. Бассейн Satpura вмещает примерно 5-километровую толщу терригенных отложений с возрастом от перми до мела, несогласно залегающих на докембрийском фундаменте. Пермо-триасовые отложения объединяют шесть литостратиграфических единиц: формации Talchir, Barakar, Motur, Bijori, Pachmarhi и Denwa. За исключением самых нижних гляцио-морских и гляцио-флювиальных отложений, остальная часть разреза сложена разнообразными флювиальными отложениями с пачками флювиально-дельтовых и флювиально-озерных осадков. Формация Talchir (мощность до 500 м) представлена чередованием конгломератов, галечниковых песчаников, песчаников, глинистых сланцев; в виде редких прослоев среди них встречаются известняки. Среди указанных отложений часто наблюдаются друпстоуны, ледниковая штриховка, фасетчатые и пулевидные валуны. Накопление этих образований происходило, по всей видимости, в дельтовом конусе выноса, контактировавшем с краем ледового фронта, в дельтовых протоках, а также в свободном от льда мелковод-

ном морском бассейне в условиях холодного/аридного климата. Формация Barakar (до 450 м) объединяет песчаники, пачки переслаивания их с глинистыми сланцами, а также пакеты чередования углистых сланцев, песчаников и углей. Накопление отложений данного литостратиграфического подразделения происходило в обстановках подверженного влиянию приливов фронта дельты и в междуречных участках дельты в условиях умеренного гумидного климата. Формация Motur (мощность до 900 м) сложена в нижней части преимущественно красноцветными глинистыми породами с линзами и прослоями средне- и весьма грубозернистых песчаников, представляющих отложения тесно взаимосвязанных русел. В глинистых интервалах присутствуют интервалы палеочув и кремненые остатки растений. В верхней части преобладают грубозернистые косослоистые песчаники, являющиеся, по всей видимости, отложениями разветвленной речной системы. Формация Vijoti (максимальная мощность до 1450 м) представлена в нижней и верхней частях как тонко-, так и грубозернистыми песчаниками, углистыми глинистыми сланцами, пластами углей. Считается, что это преимущественно прибрежно-озерные и связанные с ними отложения. В средней части названной формации можно видеть грубозернистые и галечниковые песчаники, красноцветные аргиллиты и педогенные карбонатные образования. Это преимущественно флювиальные отложения и осадки ассоциировавшихся с ними пойменных зон и междуречных участков. Формация Pachmarhi (до 900 м) объединяет галечниковые песчаники с маломощными прослоями модифицированных процессами педогенеза красноцветных аргиллитов. Накопление рассматриваемых отложений происходило преимущественно в обстановках разветвленных речных систем в теплом аридном климате с эпохами аридизации. Породы формации Pachmarhi несогласно залегают на подстилающих отложениях. Формация Denwa (до 600 м) включает красноцветные глинистые породы и пачки переслаивания их с тонко- и грубозернистыми песчаниками, среди которых можно видеть внутриформационные педогенные карбонатные корки и стяжения, а также кальцирудиты и калькаренины. Формирование описанных образований происходило в разветвленных предгорных реках с высокими градиентами. Участки русел были разделены илистыми равнинами. В разрезах формации Denwa описаны также отложения массовых потоков. Климат времени формирования указанных образований можно считать семиаридным или аридным.

Валовый химический состав песчаников, а также глинистых пород и алевролитов пермских и триасовых отложений Центральной Индии приведен соответственно в приложениях 39-1 и 39-2.

#### **Объект 44: песчаники верхнемеловой формации Sillakkudi (Бассейн Cauvery, Южная Индия)**

По данным [Bakkiaraj et al., 2010 и ссылки в этой работе], Бассейн Cauvery считается рифтогенным бассейном, который образовался при распаде Гондваны. Его осадочное выполнение включает три серии – Uttatur, Trichinopoly и Ariyalur. Формация Sillakkudi кампанского возраста является базальным подразделением серии Ariyalur, включающей четыре формации: Sillakkudi, Kallankurichchi, Ottakkovil и Kallamedu. Все перечисленные формации, за исключением Kallamedu, сложены прибрежно-морскими отложениями. Формация Sillakkudi объединяет фаунистически немые известковистые песчаники и чередующиеся с ними гравийные песчаники, песчанистые известняки и песчанистые глины.

Валовый химический состав песчаников Формация Sillakkudi приведен в приложении 44-1.



#### **Объект 47: глинистые породы ордовикской формации Tіñu (Южная Мексика)**

По данным [Murphy et al., 2005 и ссылки в этой работе], отложения формации Tіñu (20–100 м) (тремадок) в Южной Мексике являются результатом накопления осадочных образований вдоль южной окраины океана Rheic на ранних стадиях развития последнего. Формация Tіñu объединяет две толщи. Нижняя включает конгломераты, песчаники, известняки и глинистые сланцы, а в верхней преобладают глинистые сланцы с несколькими тонкими прослоями и линзами известняков и песчаников, здесь же присутствуют пласты красноцветных известковистых алевролитов. Породы верхней части формации Tіñu прорывают силлы и дайки основных пород, возраст которых точно не установлен. Предполагается, что образование отложений формации Tіñu происходило за счет проксимальных источников кластики, располагавшихся в пределах континентального рифта.

Валовый химический состав глинистых пород и алевролитов формации Tіñu приведен в приложении 47-2.

#### **Объект 51: песчаники и глинистые породы мезопротерозойской надсерии Belt-Purcell (США, Канада)**

По данным [González-Álvarez, 2005 и ссылки в этой работе], мощность отложений мезопротерозойской надсерии Belt-Purcell варьирует от менее 6 км до ~17–22 км. Надсерия Belt-Purcell объединяет следующие крупные стратиграфические подразделения: Lower Belt (формации Waterton и Altyn), серия Ravalli (формации Apperkunny, Grinnell и Empire), Middle Belt (формация Helena), серия Misoula (формации Snowslip, Shepard, Mount Shields, Bonner, McNamara и Libby). Синседиментационные силлы среди отложений формации Waterton имеют возраст  $1468 \pm 2$  млн лет, тогда как возраст циклонов из туфов, залегающих примерно на границе формаций McNamara и Libby, составляет  $1401 \pm 6$  млн лет. Считается, что накопление слагающих надсерию отложений происходило в интракратонном бассейне, возникшем под влиянием процессов рифтогенеза, обусловленных распадом мезопротерозойского суперконтинента Коламбия, и последующего погружения. Начало процессов рифтогенеза имело место примерно 1470 млн лет назад, тогда как начало процессов погружения – около 1445 млн лет назад. Взгляды исследователей на обстановки формирования отложений надсерии Belt-Purcell достаточно разнообразны: среди них описаны флювиальные, пойменные, приливно-отливные, мелководно-морские/шельфовые и относительно глубоководные турбидитовые ассоциации. Предполагается, что накопление осадков Lower Belt происходило в озерном водоеме или внутреннем море, питавшихся обломочным материалом преимущественно за счет турбидитовых потоков. Отложения серии Ravalli представлены преимущественно мелководно-морскими и субаэральными фациями, тогда как средние уровни надсерии Belt – это мелководные шельфовые или озерные карбонаты с прослоями тонкозернистых алюмосиликокластических образований. Серия Missoula объединяет шлейф аллювиальных отложений, накопившихся в обстановках илистой равнины.

Валовый химический состав песчаников, а также глинистых пород и алевролитов надсерии Belt-Purcell приведен соответственно в приложениях 51-1 и 51-2.

#### **Объект 52: песчаники серий Oronto и Bayfield, верхи мезопротерозоя (рифтовая область Мидконтинента/район Великих озер, США)**

Рифтовая система Мидконтинента представляет собой неполностью развитый континентальный рифт с бимодальным вулканизмом при доминирующей роли базальтов. Возраст выполняющих рифт базальтов составляет примерно 1100 млн лет.

Погружение бассейна привело к накоплению мощной последовательности континентальных осадочных пород. По данным [Cullers, Verendsen, 1998 и ссылки в этой работе], после внедрения на начальной/первой стадии развития рифтовой системы многочисленных силлов базальтов началось накопление преимущественно вулканокластических песчаников серии Oronto (вторая стадия). Эти песчаники перекрыты кварцитами и субаркозовыми песчаниками серии Bayfield (третья стадия развития рифтовой системы). Соответственно, первые являются результатом разрушения ранее образованных базальтов, а вторые рассматриваются как продукты эрозии докембрийских гранитоидов на флангах рифта. Третья стадия ознаменована угасанием процессов рифтогенеза и тектонической инверсией, приведшей к формированию центрального горста и фланговых депрессий. В разрезе серии Oronto снизу вверх выделяются следующие формации: Конгломераты Copper Harbor, Сланцы Nonesuch и Песчаники Freda. Конгломераты Copper Harbor представляют собой мощный аллювиальный комплекс (в осевой части бассейна мощность отложений достигает более 1800 м). Они объединяют конгломераты, песчаники и алевролиты, образующие циклы с утонением зернистости пород вверх по разрезу. Сланцы Nonesuch накапливались в озерных или морских обстановках на флангах рифта; их мощность составляет примерно 225 м. В разрезах данного подразделения преобладают темно-серые глинистые сланцы и алевролиты с тонкими прослоями песчаников. Песчаники Freda формировались в аллювиальных обстановках, их максимальная мощность превышает 3600 м. В разрезах указанной формации можно видеть чередование алевролитов и песчаников. Серия Bayfield имеет мощность порядка 2100 м. Она состоит преимущественно из кварцитовидных и субаркозовых песчаников и расчленяется на следующие формации: Песчаники Orienta, Песчаники Devils Island и Песчаники Chequamegan. Песчаники Orienta имеют по всей видимости флювиальный генезис. В разрезах этого подразделения присутствуют песчаники, алевролиты, а также местами глинистые сланцы и конгломераты. Песчаники Devils Island состоят из переработанных в озерных обстановках песчаников Orienta и имеют мощность около 100 м. Это хорошо отсортированные кварцевые арениты. Песчаники Chequamegan имеют флювиальный генезис и сложены в основном различной зернистости песчаниками. Минеральный состав их сходен с составом Песчаников Orienta. В восточной Миннесоте с породами серии Bayfield коррелируются две формации: Fond du Lac и Hinckley. Формация Fond du Lac отвечает Песчаникам Orienta, а формация Hinckley соответствует Песчаникам Devils Island. Отложения формация Fond du Lac накапливались в аллювиальных обстановках, их мощность варьирует от 120 до 600 м. Это плохо отсортированные аркозовые песчаники и конгломераты с редкими прослоями глинистых сланцев. Песчаники Hinckley (до 300 м) накапливались в озерных обстановках после переработки пород формации Fond du Lac эоловыми процессами. Данная формация объединяет преимущественно зрелые мелко-, средне- и грубозернистые кварцитовидные песчаники. В северном Мичигане с отложениями серии Bayfield могут быть скоррелированы Песчаники Jacobsville. Они накапливались во флювиальных обстановках и образуют толщу мощностью до 900 м и более. Названная формация объединяет конгломераты, субаркозовые и сублититовые песчаники, алевролиты и глинистые сланцы.

Валовый химический состав песчаников серий Oronto и Bayfield приведен в приложении 52-1.

### **Объект 53: песчаники и глинистые сланцы нижнерифейской айской свиты (Южный Урал)**

Айская свита западного склона Южного Урала является базальным подразделением нижнего рифея. Она расчленялась разными авторами на пять, две или три под-свиты. Последний вариант принят в схемах IV Уральского межведомственного стра-

тиграфического совещания (1993 г.). Нижняя, навышская, подсвета (мощность до 800–1300 м) залегают с разрывом и угловым несогласием, а часто и с корами выветривания, на архейско-нижнепротерозойском тараташском комплексе и сложена грубообломочными породами в нижней части, трахибазальтами, их туфами с прослоями красноцветных алевролитов, песчаников, гравелитов и конгломератов, сменяющимися аркозовыми песчаниками – в верхней. Средняя, чудинская, подсвета (600 м) представлена полимиктовыми и аркозовыми песчаниками, гравелитами, конгломератами с прослоями низкоуглеродистых глинистых сланцев, доломитов и, редко, известняков. Верхняя, кисеганская, подсвета (400–600 м) сложена черными алевролитами и низкоуглеродистыми глинистыми сланцами с редкими прослоями песчаников. По представлениям ряда исследователей, текстурно-структурные особенности пород айской свиты указывают на разнообразные обстановки накопления исходных осадков – от наземного аллювия до лагунных и мелководных бассейновых. На наземный характер вулканизма в раннеайское «время» указывают такие факты, как чередование вулканогенных (лавовых) и грубообломочных пород, наличие бомбовых горизонтов, красноцветных, миндалекаменных и шлаковых зон, маркирующих нижние и верхние ограничения потоков, и т. д. По химизму metabазальты айской свиты относятся к высокотитанистым разностям и могут быть сопоставлены с богатыми железом трахибазальтами рифтовой природы. Пространственное размещение вулканогенно-осадочных ассоциаций свиты в пределах Башкирского мегантиклинория указывает, по мнению ряда авторов, на приуроченность их к грабенообразным структурам линейной или близкой к ней формы.

Валовый химический состав песчаников, а также глинистых пород и алевролитов айской свиты приведен соответственно в приложениях 53-1 и 53-2.

#### **Объект 54: песчаники и глинистые породы машакской свиты среднего рифея (Южный Урал)**

Машакская свита (1600–3000 м) представлена песчаниками, конгломератами и алевролитами с подчиненными им прослоями и пакетами глинистых сланцев, а также НГС. В нижней и средней ее частях наблюдаются многочисленные силы долеритов, потоки и покровы базальтов и экструзивно-субвулканические тела кислых магматических пород. Это вторая синрифтовая ассоциация в эталонном разрезе рифея [Иванов, 1980 и др.; Иванов и др., 1986; Парначев, 1988; Пучков, 2010]. Соотношения терригенных и вулканогенных пород в разрезах свиты существенно меняются в широтном и меридиональном направлениях, вследствие чего предложены различные варианты расчленения машакской свиты и ее аналогов с выделением от трех до восьми подсвит. В горизонтах конгломератов в основании машакской свиты встречаются окатанные гальки и валуны песчаников и кварцитопесчаников подстилающей их юшинской свиты нижнего рифея. Считается, что накопление отложений машакской свиты происходило в озерных или мелководно-морских обстановках, а часть осадочных образований в разрезах свиты имеет континентальный генезис.

Валовый химический состав песчаников, а также алевролитов и глинистых пород машакской свиты приведен соответственно в приложениях 54-1 и 54-2.

#### **Объект 55: метатерригенные породы (метапесчаники и метаалевролиты) аршинской серии верхнего протерозоя (Южный Урал)**

По данным, приведенным в публикации [Маслов и др., 2018г и ссылки в этой работе], на восточном крыле Башкирского мегантиклинория (западный склон Южного Урала) в Тирлянкой синклинали в верхней части верхнепротерозойских образований известен комплекс вулканогенных и осадочных пород, относящихся к аршинской

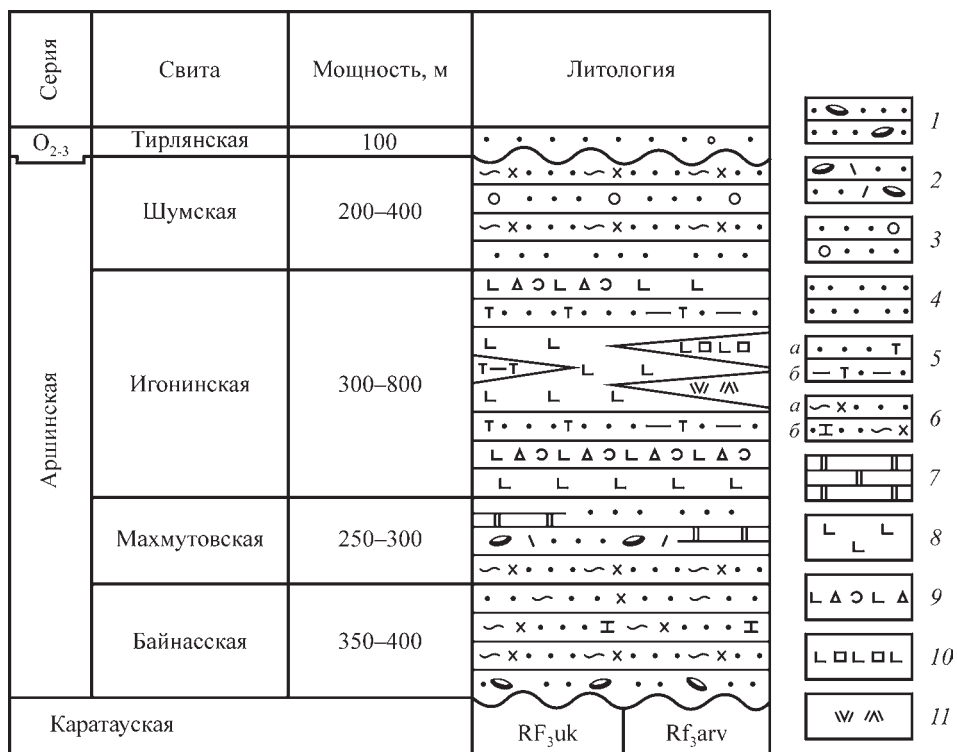


Рис. 55пр. Схематическая стратиграфическая колонка аршинской серии верхнего протерозоя Южного Урала [Пучков и др., 2017, с упрощениями].

1 – конгломераты; 2 – микститы; 3 – гравелиты и песчаники гравийные; 4 – кварциты и кварцито-песчаники; 5 – вулканомиктовые песчаники (а) и алевролиты (б); 6 – серицит-хлорит-кварцевые (а) и известковистые серицит-хлорит-кварцевые (б) сланцы; 7 – доломиты; 8 – metabазальты; 9 – туфолавы; 10 – metabазальтовые порфиры; 11 – метадацитовые порфиры.

RF<sub>3</sub>uk – укская свита; RF<sub>3</sub>arv – арвякская свита

свите/серии. Породы аршинской серии подстилают ордовикские образования Тирлян-ской синклинали и несогласно перекрывают на западном крыле последней отложения укской свиты верхнего рифея. В составе серии выделены байнасская, махмутовская, игонинская и шумская свиты (рис. 55пр). Байнасская свита (350–400 м) представлена сланцами переменного серицит-хлорит-кварцевого состава с прослоями карбонатно-кварцевых разностей. В ее основании присутствуют конгломераты и кварцевые песчаники. Махмутовская свита (250–300 м) сложена кварцитовидными песчаниками, тил-литоподобными конгломератами и серицит-кварцевыми сланцами. Игонинская свита (300–800 м) представлена преимущественно metabазальтами, их туфами, туфобрекчи-ями, песчаниками и алевролитами. Вулканогенные породы метаморфизованы на уровне хлорит-эпидотовой субфации зеленосланцевой фации. Шумская свита (200–400 м) объединяет серицит-хлорит-кварцевые сланцы и песчаники. Слагающие аршин-скую серию образования рассматриваются рядом авторов как терригенно-сланцевый рифтогенно-депресссионный литолого-фациальный комплекс, формирование которого связано с начальным этапом континентального рифтогенеза, включающим ограниченное растяжение коры и обособление грабенов с эпизодическим магматизмом. Среднее содержание Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> в metabазальтах аршинской серии составляет 49.4 ± 5.8 мас. %,

MgO –  $3.7 \pm 1.5$  мас. %. Количество Na<sub>2</sub>O ( $3.1 \pm 1.3$  мас. %) заметно выше, чем K<sub>2</sub>O ( $0.7 \pm 0.8$  мас. %). Значения P<sub>2</sub>O<sub>5cp</sub> и TiO<sub>2cp</sub> равны  $0.5 \pm 0.3$  и  $2.6 \pm 0.8$  мас. %. Последнее позволяет сопоставлять метабазальты игонинской свиты с высоко-Ti породами континентальных рифтовых зон.

Валовый химический состав песчаников и алевролитов аршинской серии приведен в приложении 55-1.

### **Объект 58: песчаники и глинистые породы Бассейна Douala (Юго-Восточный Камерун)**

В соответствии с данными [Nguetchoua et al., 2017 и ссылки в этой работе], Бассейн/мегабассейн Douala/Kribi-Campo является одним из серии континентальных шельфовых бассейнов, протягивающихся в Западной Африке от дельты Нигера в Камеруне до хр. Walvis у границы Анголы и Намибии. Он делится на две части: на юге это Бассейн Kribi-Campo, на севере – Бассейн Douala. Последний расположен в акватории Гвинейского залива. Бассейн Douala сложен ранне-среднемеловыми обломочными породами – песчаниками, алевролитами и глинистыми сланцами. История формирования этого Бассейна и Мегабассейна Douala/Kribi-Campo в целом тесно связана с процессами континентального рифтогенеза в поздней юре и отделением Южной Америки от Африки при открытии Южно-Атлантического океана. Его осадочное выполнение (ранний мел–плейстоцен) включает несколько формаций, принадлежащих трем крупным литостратиграфическим последовательностям (отвечающим рифтовой, рифт-дрифтовой и дрифтовой стадиям соответственно). Меловые отложения включают четыре формации: Lower Mundeck, Upper Mundeck, Logbadjeck и Logbaba. Формация Lower Mundeck представлена синрифтовыми отложениями: конгломератами, галечниковыми песчаниками, аркозовыми песчаниками, мергелями с органическим веществом, прослоями известняков и темноокрашенных глинистых сланцев. Выше залегает не везде присутствующий пласт солей, который соотносится с фазой перехода от рифтовой стадии к дрифтовой. Формация Upper Mundeck объединяет песчаники, сланцы, мергели и карбонатные породы, накапливавшиеся в морских обстановках. Эта формация несогласно перекрывает подстилающие породы и отвечает первой фазе дрифтовой стадии. Формация Logbadjeck представлена преимущественно глинистыми породами с прослоями песчаников и фораминиферовых известняков. Накопление их происходило в начале второй фазы дрифтовой стадии. Они также отделены от подстилающих образований несогласием. Формация Logbaba (отложения завершающих этапов второй фазы дрифтовой стадии) объединяет глинистые сланцы с конкрециями карбонатов.

Валовый химический состав песчаников и глинистых пород Бассейна Douala приведен соответственно в приложениях 58-1 и 58-2.

### **Объект 61: песчаники и глинистые породы нижнекаменноугольной формации Nanmingshui (Северо-Восточный Джунгар, Китай)**

По приведенным в публикации [Tao et al., 2014 и ссылки в этой работе] данным, Дуга Dulate на северо-востоке Джунгара сложена преимущественно магматическими и осадочными образованиями позднего палеозоя. Ранний девон представлен здесь лавами, туфами, пирокластическими породами, алевролитами, базальтами и кислыми лавами. Формация Beitashan низов среднего девона сложена преимущественно базальтами, базальтовыми туфами, пирокластическими породами, кремнями и бонинитами. Формация Yundukula имеет позднесреднедевонский возраст и объединяет туфы, туфо-песчаники, конгломераты, туфобрекчии, песчаники, риолиты и диабазы, а также пирокластические породы и фельзиты. Позднедевонские отложения распространены не

повсеместно. К ним относятся пирокластические породы, чередующиеся с песчаниками, андезибазальтами, андезитами и дацитами. Раннекаменноугольные отложения характерны для северных и южных флангов Дуги Dulate. Одним из типичных примеров отложений этого возраста является формация Nanmingshui. По литологическим особенностям она расчленяется на три части. Нижняя толща (до 600 м) объединяет конгломераты, песчаники, алевролиты и биокластические известняки. Средняя (примерно 950 м) представлена преимущественно черными глинистыми сланцами и песчаниками с подчиненными им прослоями конгломератов. Накопление указанных образований происходило, вероятно, в относительно глубоководных обстановках. Третья толща имеет мощность до 750 м и состоит из туфогенных песчаников и алевролитов с редкими прослоями черных аргиллитов. Накапливались эти отложения, по всей видимости, в мелководно-морских обстановках. Считается, что в целом формирование отложений формации Nanmingshui происходило в обстановках начала раскрытия задугового бассейна.

Валовый химический состав песчаников и глинистых пород формации Nanmingshui приведен соответственно в приложениях 61-1 и 61-2.

### **Объект 63: песчаники и глинистые сланцы верхнерифейской чингасанской серии (Енисейский кряж)**

Центральная часть Енисейского кряжа характеризуется преобладанием фациально разнообразных карбонатно-терригенных отложений и развитием в локальных рифтовых прогибах вулканитов. После 880–870 млн лет назад на территории кряжа был сформирован ряд (ранние и поздние) рифтовых бассейнов/прогибов. Ранние прогибы (начало второй половины позднего рифея) развиты в Центральном блоке Заангарья и выполнены вулканогенно-осадочными комплексами верхневороговской (кайтабинской, глушихинской) серии. Поздние прогибы (конец второй половина позднего рифея) сложены в нижней части преимущественно субаэральными грубообломочными пестроцветными, а в верхней – морскими терригенно-карбонатными флишоидными отложениями. Осадочное выполнение этих прогибов (чингасанская, вороговская и другие серии) имеет в пределах кряжа более широкое распространение. По данным, приведенным в монографии [Маслов и др., 2008а и ссылки в этой работе], чингасанская серия Енисейского кряжа объединяет лопатинскую, карьерную и чивидинскую свиты. Лопатинская свита (до 1500 м) сложена пестроцветными конгломератами, песчаниками, гравелитами, алевролитами и аргиллитами; подчиненную роль в ее разрезах играют доломиты. Карьерная свита (до 800 м) представлена кварцитовидными песчаниками, алевролитами, аргиллитами и глинистыми известняками. Чивидинская свита (400–700 м) сложена песчаниками, алевролитами, аргиллитами, тиллитоподобными породами (микститами), доломитами, трахибазальтами, трахиандезито-базальтами, трахитами и их туфами.

Валовый химический состав песчаников и глинистых пород чингасанской серии (данные А.Д. Ножкина) приведен соответственно в приложениях 63-1 и 63-2.

### **Объект 64: песчаники и глинистые породы нижнерифейской прикамской свиты (Камско-Бельский авлакоген)**

Нижнерифейская прикамская свита залегает в Камско-Бельском авлакогене непосредственно на кристаллическом фундаменте и сложена пестро- и красноцветными песчаниками, гравелитами, алевролитами. В верхней ее части присутствуют более тонкозернистые отложения иногда с примесью карбонатного материала. Мощность свиты составляет от 100 до 1800 м. По мнению ряда авторов, после завершения карельской фазы складчатости в начале рифея Сарматский щит испытал дробление и на юго-

восточной периферии Русской платформы возникла обширная Камско-Бельская впадина грабенового типа/авлакоген. Ее бортами являлись Красноуфимский выступ Башкирского свода, Альметьевский выступ Татарского свода и, на юго-западе, Оренбургский свод. Прикамская свита, сложенная преимущественно континентальными отложениями, соответствует, по всей видимости, начальному, наиболее активному этапу формирования указанной структуры.

Валовый химический состав песчаников и глинистых пород прикамской свиты приведен соответственно в приложениях 64-1 и 64-2.

### Объект 65: песчаники и глинистые породы среднерифейской зигазино-комаровской свиты (Южный Урал)

Зигазино-комаровская свита (1000–1200 м) сложена в основном темноцветными алевроито-глинистыми породами с прослоями песчаников, реже известняков и доломитов. Она согласно залегает на отложениях зигальгинской свиты (преимущественно кварцитовидные кварцевые песчаники) и согласно перекрывается породами авзянской свиты. В соответствии с представлениями [Маслов и др., 2012a] отложения зигазино-комаровской свиты являются в разрезе юрматинской серии типичными «надрифтовыми образованиями».

Валовый химический состав песчаников, а также глинистых пород и алевролитов зигазино-комаровской свиты приведен соответственно в приложениях 65-1 и 65-2.

### Объект 66: песчаники и глинистые породы среднерифейской авзянской свиты (Южный Урал)

Авзянская свита завершает разрез юрматинской серии среднего рифея Башкирского мегантиклинория и представлена терригенно-карбонатными отложениями [Маслов, Анфимов, 2000]. Она расчленяется на пять или шесть подсвит (рис. 66пр). Нижняя, катаскинская, подсвита (200–500 м) представлена доломитами, известняками и известковистыми доломитами, часто со строматолитами; в виде прослоев среди них присутствуют глинистые и низкоуглеродистые глинистые сланцы, алевролиты, плоскообломочные карбонатные брекчии. Малоинзерская подсвита (200–300 м) объединяет глинистые и низкоуглеродистые глинистые сланцы, алевролиты и, реже, песчаники. Ушаковская подсвита (50–100 м) практически полностью сложена хомогенными и фитогенными карбонатными породами. Вышележащая куткурская подсвита (100–450 м) представлена филлитовидными и глинистыми сланцами с прослоями песчаников (редко) и алевролитов. Пятая снизу, реветская, подсвита (300–500 м) объединяет доломиты, известковистые доломиты и, реже, известняки; в виде редких прослоев в ее восточных разрезах присутствуют кварцевые песчаники, а в западных маломощ-

Верхний рифей Каратауская серия		
Средний рифей	Юрматинская серия	Авзянская свита
		Подсвита
		Тюльменская
		Реветская
		Куткурская
		Ушаковская
		Малоинзерская
		Катаскинская
		Зигазино-комаровская свита
		Зигальгинская свита
Машакская свита		
Нижний рифей Бурзянская серия		

Рис. 66пр. Строение разреза юрматинской серии среднего рифея Башкирского мегантиклинория с детализацией для авзянской свиты.

Серый фон – стратиграфические перерывы

ные пакеты и пачки переслаивания алевролитов, песчаников и аргиллитов. Тюльменская подсвита (0–150 м) слагается глинистыми сланцами с прослоями и пачками песчаников, алевролитов и доломитов. В соответствии с представлениями [Маслов и др., 2012a], отложения авзянской свиты являются в разрезе юрматинской серии типичными «надрифтовыми образованиями».

Валовый химический состав песчаников и глинистых пород авзянской свиты приведен соответственно в приложениях 66-1 и 66-2.

### **Объект 67: алевропесчаные породы ряда эратем рифея и систем фанерозоя платформенного чехла Русской плиты**

Для сравнения с валовым химическим составом синрифтовых песчаных пород нами привлечены также данные А.Б. Ронова с соавторами [1995] о валовом химическом составе алевропесчаных пород ряда эратем рифея и систем фанерозоя Русской плиты, входящих в состав ее платформенного чехла.

Валовый химический состав алевропесчаных породы ряда эратем рифея и систем фанерозоя платформенного чехла Русской плиты приведен в приложении 67-1.

### **Объект 70: глинистые породы серий Asu River и Cross River, мел (Трог Lower Benue, Юго-Восточная Нигерия)**

Серии Asu River и Cross River принадлежат осадочному выполнению Трога Lower Benue, Юго-Восточная Нигерия. Слагающие указанный трог отложения накапливались в результате морской трансгрессии и регрессии. Серия Asu River включает формации Awi, Abakaliki и Mfamosing. Серия Cross River объединяет формации Ekenkron, Eze-Aku, New Netim, Awgu и Agbani. Трог Lower Benue является уникальной рифтовой структурой Африканского континента. По данным [Adeigbe, Jimoh, 2013 и ссылки в этой работе], он занимает внутриконтинентальное положение и выполнен мощным (до 6 км), смятым в складки меловым супракрустальным комплексом отложений. Трог Lower Benue можно рассматривать как линейный интракратонный грабеновый бассейн. Его образование связано с отделением в раннем мелу Африки от Южной Америки. Первая стадия развития трога датируется аптом. В это время образовался изолированный бассейн, в котором накапливались континентальные отложения. В альбе в Троге Urrege Benue была сформирована крупная дельта. Обширная туронская трансгрессия привела к обмену водами между Атлантикой и Тетисом через Сахару, а также бассейны Нигера и Трог Lower Benue. Тектоническая эволюция Трога Lower Benue в существенной степени контролировалась развитием нескольких систем разломов, что вело к комбинации локальных режимов сжатия и растяжения. На этом фоне в рассматриваемой структуре формировались бассейны грабенового типа, разделенные несколькими горстами, сложенными породами фундамента.

Валовый химический состав глинистых пород серий Asu River и Cross River приведен в приложении 70-2.

### **Объект 74: глинистые породы формаций Bir Maghara и Safa, байос-бат (Северный Синай, Египет)**

По данным [Ghandour et al., 2003 и ссылки в этой работе], глинистые сланцы байоса-бата (формации Bir Maghara и Safa) в районе Al-Maghara (Северный Синай, Египет) сформированы в полуграбеновом бассейне. Рассматриваемая местность расположена в Северном Синае в 70 км от Средиземного моря. Она сложена примерно 2000-метровой толщей юрских отложений, расчленяющихся на шесть формаций: Mashabbah, Rajabiyah и Shushah (ранняя юра), Bir Maghara и Safa (средняя юра) и Ма-

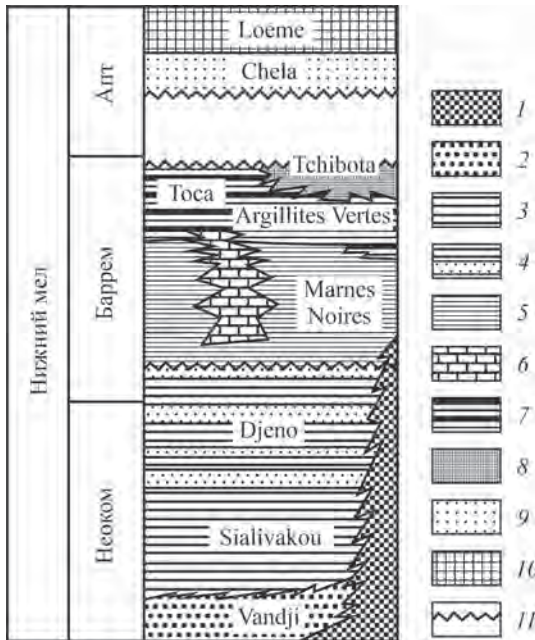


sajid (поздняя юра). Тектоническая эволюция рассматриваемого региона определялась процессами растяжения, связанными с формированием океана Тетис и рядом других факторов. Верхняя часть формации Bir Maghara сложена фоссиленосными известняками и глинистыми сланцами, что указывает на накопление осадков в нормальных морских условиях. Формация Safa (160–215 м) содержит многочисленные угольные пласты, песчаники и глинистые сланцы, чередующиеся с известняками. Накопление отложений нижней части формации Safa происходило в проградирующих дельтовых обстановках, тогда как верхней части – при морской трансгрессии.

Валовый химический состав глинистых пород формаций Bir Maghara и Safa приведен в приложении 74-2.

### Объект 76: глинистые породы Бассейна Congo, нижний мел (Западная Африка)

По данным [Harris, 2000 и ссылки в этой работе], позднеюрско-раннемеловой Бассейн Congo, Западная Африка, представлял собой рифовую структуру, образование которой связано с начальными стадиями расхождения Южной Америки и Африки. Синрифтовое выполнение бассейна представлено двумя осадочными последовательностями – активнорифтовой (формации Vandji, Sialivakou и Djeno) и позднерифтовой (формации Marnes Noires и Argillites Vertes) (рис. 76пр). Данные сейсмического профилирования показывают, что накопление осадков в Бассейне Congo происходило в две фазы, характеризовавшиеся весьма различным характером тектонической активности. Залегавшие в основании осадочного выполнения формации Vandji, Sialivakou и Djeno накапливались в период активных подвижек по разломам и локальных блоковых перемещений. Это отложения активной фазы рифтогенеза (неоком и ранний баррем).



Синхронно с ними накапливались более глубоководные отложения, представленные пачками чередования песчаников, алевролитов и глинистых пород (турбидиты и оползневые отложения). В разрезах формаций Sialivakou и Djeno присутствуют глинистые сланцы и относительно грубозернистые гравитационные отложения (отложения подводных обломочных пото-

Рис. 76пр. Обобщенный разрез синрифтового осадочного выполнения Бассейна Congo, Республика Конго [Cole et al., 2000; Harris, 2000, с упрощениями].

1 – допозднеюрские комплексы; 2 – грубозернистые песчаники; 3 – глинистые сланцы; 4 – глинисто-песчаные отложения обломочных потоков и турбидиты; 5 – тонкослойные мергели; 6 – известняки; 7 – аргиллиты с тонкими прослоями песчаников; 8 – тонкозернистые песчаники; 9 – конгломераты, песчаники, алевролиты и алевритистые аргиллиты обогащенные органическим веществом; 10 – эвапориты; 11 – угловое несогласие

ков и собственно турбидитовые накопления). В ряде разрезов на этом уровне присутствуют грубозернистые глинистые песчаники и небитурбированные темно-серые и почти черные глинистые сланцы с тонкой слоистостью и синседиментационными деформациями. Здесь же можно видеть пласты песчаников (до 1 м мощностью) массивные или градационнослоистые, плохо отсортированные, с обломками подстилающих глин. Они интерпретируются как отложения обломочных потоков и озерные турбидиты, накапливавшиеся в относительно удаленных обстановках. Указанные образования несогласно перекрыты отложениями формаций Marnes Noires и Argilles Vertes, которые формировались в период регионального погружения с минимальными подвижками по разломам (позднерифтовая фаза, поздний баррем). Формация Marnes Noires (200–600 м) сложена в основном тонкослоистыми мергелями с повышенным содержанием ОВ. Формация Argilles Vertes (190–270 м) состоит преимущественно из слоистых зеленовато-серых аргиллитов, переслаивающихся с тонкими песчаными прослоями (дистальные турбидиты). Ряд ее разрезов содержит практически только глинистые породы. Накопление отложений происходило, по всей видимости, в дельтовых обстановках. Выше по разрезу наблюдаются отложения морской альпийской трансгрессии (формации Chela и Loeme).

Валовый химический состав глинистых пород Бассейна Congo приведен в приложении 76-2.

#### **Объект 77: глинистые породы основания осадочного выполнения Японского моря, нижний миоцен (Юго-Западная Япония)**

По данным [Ishiga et al., 1999 и ссылки в этой работе], нижнемиоценовые глинистые сланцы юго-западной части Японии накапливались во время трансгрессии, связанной с открытием Японского моря (поздний олигоцен–начало среднего миоцена). Процессы рифтогенеза сопровождались аккумуляцией как континентальных, так и относительно глубоководных морских образований и продуктов вулканизма. Переход от континентальных к глубоководным морским осадкам связан с открытием Японского моря и маркируется изменениями в характере литофаций и составе фауны. На полуострове Шимане миоцен представлен формациями Koura, Josoji, Ushikiri, Furue и Matsue. Формация Koura сложена континентальными отложениями и представляет собой мощную толщу песчаников и глинистых пород с прослоями конгломератов. Эта формация расчленяется на четыре толщи. Нижняя (~400 м) состоит из конгломератов, песчаников, глинистых сланцев и пачек их переслаивания. Средняя толща (до 560 м) сложена туфогенными песчаниками, чередующимися с андезитовой пирокластикой. Верхняя толща представлена внизу дацитовой пирокластикой (до 60 м), выше которых наблюдаются пачки чередования песчаников, глинистых пород и туфов (до 30 м). Накопление осадков происходило вначале в мелководно-озерных обстановках, а затем в морских условиях на ранних стадиях задугового или внутридугового рифтогенеза. Формация Josoji (до 1200 м) представлена мощной толщей черных сланцев. В нижней ее части можно видеть потоки андезитов, а в средней – риолитовую и андезитовую пирокластику.

Валовый химический состав глинистых пород основания осадочного выполнения Японского моря приведен в приложении 77-2.

#### **Объект 78: глинистые породы Бассейна Oliete, альб (Северо-Восточная Испания)**

По данным, приведенным в публикации [Lopez et al., 2005 и ссылки в этой работе], содержащие повышенное количество каолинита альбские терригенные отложения (аргиллиты, алевролиты и песчаники) Бассейна Oliete (Северо-Восточная Испания, вос-

точная часть Иберийского хребта) накапливались в дельтовых и аллювиальных обстановках. В мезозое и в третичное время осадконакопление на указанной территории происходило в интракратонных бассейнах. С раннего альба по сантон вращение против часовой стрелки Иберийской плиты привело к множеству событий рифтогенеза и относительного снижения уровня моря. Осадконакопление в начале раннего альба происходило в прибрежно-морских обстановках, позднее – в обстановках дельтовых и илистых равнин (формация Escucha) и, наконец, на аллювиальной равнине (формация Utrillas). Присутствие пластов углей в разрезах формации Escucha (200-метровая последовательность глинистых пород и алевролитов с подчиненным количеством песчаников) указывает на пресноводные болотистые обстановки верхней части дельтовой равнины и солонатоводные обстановки нижней ее части. Формация Utrillas (70 м) представлена светлоокрашенными песчаниками с прослоями аргиллитов.

Валовый химический состав глинистых пород Бассейна Oliete приведен в приложении 78-2.

### **Объект 79: глинистые породы Бассейна Krishna-Godavari (Бенгальский залив, Индия)**

По данным [Mazumdar et al., 2015 и ссылки в этой работе], в Бенгальском заливе известны два седиментационных бассейна – Krishna-Godavari и Mahanadi. Первый является перикратонным рифтовым бассейном, расположенным на суше (площадь этой части примерно 28 000 км<sup>2</sup>) и в акватории (145 000 км<sup>2</sup>) залива. Формирование его связано с расколом восточной Гондваны и отделением примерно 130 млн лет назад Индостана от Восточной Антарктиды. Архитектура бассейна характеризуется сочетанием эшелонированных горстовых и грабеновых структур. Начальная стадия рифтогенеза и фаза дрефта в мелу привели к широкому накоплению флювиально-озерных осадков. В континентальной части бассейна мощность этих образований достигает 3–5 км, тогда как в морской части она возрастает до 8 км. В позднем мелу в рассматриваемом регионе произошла обширная морская трансгрессия, что привело к накоплению Сланцев Ragavarapuram и перекрывающих их отложений различных формаций (Razole, Palakollu, Vadapattu и др.).

Валовый химический состав глинистых пород Бассейна Krishna-Godavari приведен в приложении 79-2.

### **Объект 81: глинистые породы верхнего триаса-нижней юры (горы Peloritani, Северо-Восточная Сицилия, Южная Италия)**

В соответствии с представлениями [Perrì et al., 2011 и ссылки в этой работе], континентальные красноцветные отложения в горах Peloritani (Южная Италия) формировались на стадии триасово-юрского рифтогенеза, связанной с раскрытием океана Тетис. Фаза континентальной рифтовой долины и протоокеаническая фаза рифтогенеза на западе и в центральных районах Средиземноморского региона играли важную роль в накоплении континентальных красноцветов, залегающих в основании мезокайнозойского осадочного чехла. Формирование этих отложений шло преимущественно под влиянием аллювиальных систем, дренировавших небольшие горные области. В указанном регионе континентальные красноцветы триаса и юры имеют мощность около 100 м. Они представлены линзами конгломератов и песчаников (заполнение аллювиальных каналов/русел), чередующимися с тонкими интервалами глинистых пород. Основные литофации здесь – тонкозернистые массивные и слоистые песчаные аргиллиты и алевролиты, ассоциирующие с градиционнослоистыми или (редко) массивными песчаниками. Присутствуют также выдержанные по простиранию пласты массивных песчаников, переслаивающиеся с тонкослоистыми аргиллитами и алевро-

литами. Формирование указанного комплекса отложений происходило в обстановках разветвленной речной системы, а также в ее пойменных зонах.

Валовый химический состав глинистых пород верхнего триаса-нижней юры гор Peloritani приведен в приложении 81-2.

### Объект 82: глинистые породы Фракийского бассейна (Thrace Basin), эоцен-олигоцен (Северо-Восточная Греция)

По данным [Petti et al., 2015 и ссылки в этой работе], Эгейско-Анатолийский регион подвергся в среднем и позднем эоцене интенсивным процессам растяжения. Одним из крупнейших третичных рифтогенных бассейнов этого региона является Бассейн Thrace. В пределах указанного бассейна выделяется несколько депоцентров, среди которых можно назвать бассейны Evros и Xanthi-Komotini (рис. 82пр). В Бассейне Evros нижняя часть осадочного разреза (лютет) представлена флювиальными грубозернистыми песчаниками и конгломератами, перекрытыми позднеэоценовыми и олигоценными отложениями, накапливавшимися в обстановках быстрого погружения (мергели, глинистые породы, турбидитовые песчаники внешнего шельфа и верхней части склона, а выше – глубоководные морские последовательности). Эти образования преслаиваются с лавовыми потоками и куполами, ассоциирующимися с вулканическими агломератами. Мощность указанных образований составляет около 250 м. Выше по

Возраст	Литология		Обстановки		Тектонические фазы
	Evros	Xanthi-Komotini	Evros	Xanthi-Komotini	
Олигоцен	Хатт		Континентальная и мелководно-морская седиментация  Глубоководные турбидиты в чередовании с турбидитами из пирокластических пепловых потоков	Континентальные и мелководно-морские терригенные отложения  Карбонатная седиментация  Континентальные обстановки у бортов	Вся система бассейнов подвергается сложным тектоническим процессам и ускоренному погружению  В бассейне Evros имеет место магматическая активность
	Рюпель				
Эоцен	Приабон		Мелководные и склоновые  Нуммулитовые (изв.)	Огрубляющиеся вверх турбидитовые последовательности	Экзугмация Родопского (s.s.) метаморфического комплекса  Замедление процесса растяжения
	Лютет			Песчаники с углями Дельтово-речные системы Аллювиальные конусы выноса	
Доэоценовые отложения			Мезозойские отложения	Прибрежные обстановки, связанные с лагуно-речными системами	Открытие бассейна Xanthi-Komotini Пластичные и хрупкие деформации, сопровождающие образование бассейнов растяжения  Открытие бассейна Evros Поздний мел-эоцен: направленное на север поддвижение, вызванное глубинными процессами
			Гнейсово-мигматитовые комплексы		

Рис. 82пр. Стратиграфический «каркас», обстановки осадконакопления и характер эволюции западной части Бассейна Thrace в северо-восточной Греции [Caracciolo et al., 2011, с упрощениями]

разрезу присутствуют серые и зеленовато-серые алевролиты (до 500 м). В верхней части этой толщи можно видеть пласты углей. Затем наблюдаются карбонатные породы (80–100 м) – известняки с кораллами, водорослями и нуммулитидами, биокластовые песчаники и кацирудиты. Предполагается, что указанные отложения можно интерпретировать как часть водорослево-кораллового патч-рифа. Они перекрываются примерно 500-метровой толщиной мергелей, песчаников и глубоководных морских турбидитов. Бассейн Xanthi-Komotini ограничен нормальными разломами и имеет типичную грабеновую структуру. Осадочное выполнение его (мощность до 2000 м) залегает непосредственно на кристаллическом фундаменте Родопского массива. В основании осадочной последовательности присутствуют континентальные грубозернистые песчаники и конгломераты лютета, выше обнажены верхнеэоценовые глубоководные отложения, перекрытые, в свою очередь, олигоценовыми флювиальными конгломератами.

Валовый химический состав глинистых пород и алевролитов Бассейна Thrace приведен в приложении 82-2.

### **Объект 83: глинистые породы среднего триаса-верхней юры Internal Domains (запад Центрального Средиземноморья)**

В западной части Центрального Средиземноморья (Gibraltar Arc, Betic Cordillera и Rifian Maghrebids; Calabria–Peloritani Arc, Северная Калабрия и Северо-Западная Сицилия) в основании мезозойского осадочного чехла известны континентальные красноцветы (Pseudoverrucano-type, возраст в большинстве районов – анизий–рэт), накапливавшиеся, по данным [Perrì, Ohta, 2014 и ссылки в этой работе], на стадии рифтовой долины во время распада Пангеи. В состав их входят конгломераты, песчаники и глинистые породы (мелкозернистые алевролиты и аргиллиты). Иногда среди них можно видеть конгломераты с карбонатными обломками, калькарениты, доломиты, известняки, а также мергели и гипсы. Мощность красноцветов варьирует от разреза к разрезу и составляет от нескольких десятков до нескольких сотен метров.

Валовый химический состав глинистых пород и алевролитов среднего триаса-верхней юры Internal Domains приведен в приложении 83-2.

### **Объект 87: глинистые породы формации Tadkeshwar, нижний эоцен, Бассейн Cambay (штат Gujarat, Индия)**

По данным [Pundaree et al., 2015 и ссылки в этой работе], раннеэоценовые углистые сланцы формации Tadkeshwar накапливались в узком, сильно вытянутом рифтовом грабене/Бассейне Cambay на западе Индии. Его развитие началось вслед за формированием позднемеловых Декканских траппов. Отложения палеоцена и раннего эоцена (формация Vagadkhol, бентониты, песчаники и конгломераты) представляют собой синрифтовые образования. Накопление их происходило на фоне активных подвижек по разломам, формирования внутрибассейновых поднятий и расширения рифтовой системы. Эти осадки характеризуются отсутствием или очень плохой сортировкой, а также признаками накопления материала в высокоэнергетических обстановках. Погружение и расширение бассейна привело к накоплению мощной толщи эвксинных черных сланцев с подчиненными им прослоями более грубой кластики (формация нуммулитовых известняков и формация Tadkeshwar, включающая песчаники, бентониты и углистые глины, а также лигниты).

Валовый химический состав глинистых пород формации Tadkeshwar приведен в приложении 87-2.

### **Объект 88: глинистые породы среднего-верхнего триаса (Rifian sector, Maghrebain Chain, Марокко)**

По данным [Zaghloul et al., 2010 и ссылки в этой работе], средне-верхнетриасовые красноцветные отложения в секторе Rifian Maghrebain Chain (Марокко) залегают несогласно на вариссийском метаморфическом фундаменте. Мощность их составляет около 300 м. Они сложены преимущественно аллювиальными красноцветными песчаниками с прослоями конгломератов в нижней части. Вверх по разрезу пачки песчаников сменяются тонкозернистыми слюдистыми алевролитами и массивными аргиллитами с прослоями карбонатных пород и эвапоритов. Накопление указанных образований происходило в песчаных аллювиальных системах (средний триас) и на илистых пойменных и прибрежных равнинах. В нории и рэте погружение усиливается (это связано с распадом Пангеи и ранними стадиями открытия Западного Тетиса) и наблюдается рост карбонатных платформ. Красноцветы могут рассматриваться как региональные петрофации, которые маркируют начало формирования континентальной рифтовой долины в Западной Пангее (средний триас) до открытия западной части Тетиса в средней юре.

Валовый химический состав глинистых пород и алевролитов среднего-верхнего триаса, сектор Rifian, приведен в приложении 88-2.

**Валовый химический состав песчаников Бассейна Jiuyang, Северный Китай  
[Cai et al., 2008]**

Образец	SiO <sub>2</sub>	TiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> *	MnO	MgO	CaO	Na <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	ппп	Сумма
34-52	73.68	0.33	13.42	3.17	0.02	0.65	0.66	2.31	3.15	0.01	3.08	100.47
34-53	75.41	0.54	12.21	3.19	0.02	0.63	0.66	2.37	2.62	0.01	2.61	100.26
34-58	72.58	0.50	14.22	3.77	0.02	0.72	0.55	1.68	2.62	0.04	3.71	100.40
54-01	74.64	0.43	13.34	2.63	0.02	0.59	0.55	2.18	2.75	0.04	3.27	100.45
54-07	75.93	0.24	13.17	1.98	0.01	0.53	0.54	2.37	3.23	0.01	2.36	100.37
54-09	73.35	0.37	13.86	2.83	0.02	0.57	0.55	2.34	2.90	0.00	3.52	100.31
54-24	65.14	0.77	17.10	5.73	0.02	1.36	0.70	1.78	2.67	0.04	4.80	100.11
54-25	67.56	0.67	15.70	5.22	0.05	1.06	0.72	1.99	2.85	0.06	4.03	99.91
54-26	68.29	0.57	14.95	5.26	0.04	1.24	0.56	2.16	3.07	0.03	3.90	100.07
54-34	70.20	0.41	13.75	5.37	0.06	1.13	0.82	2.58	3.49	0.09	2.64	100.35
54-39	67.10	0.68	16.23	5.18	0.02	1.22	0.66	2.15	2.96	0.02	4.12	100.25
*22-27	73.16	0.37	13.13	3.43	0.02	0.65	0.59	2.64	3.46	0.05	2.57	100.07
*22-16	67.86	0.52	14.26	6.54	0.11	0.57	1.14	2.30	3.29	0.06	3.72	100.37
*22-17	69.30	0.50	13.98	5.46	0.06	1.11	0.56	2.27	3.40	0.06	3.26	99.97

**Валовый химический состав глинистых пород и алевролитов Бассейна Jiuyang,  
Северный Китай [Cai et al., 2008]**

Образец	SiO <sub>2</sub>	TiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> *	MnO	MgO	CaO	Na <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	ппп	Сумма
GD34-41	71.66	0.59	13.45	4.13	0.03	1.21	0.79	1.98	2.51	0.10	3.56	100.01
34-45	70.77	0.59	14.01	4.50	0.03	0.94	0.67	2.90	2.65	0.03	3.82	100.10
34-47	66.55	0.63	13.08	4.51	0.06	1.63	3.14	1.87	2.60	0.12	5.94	100.14
34-50	70.96	0.70	14.72	3.34	0.03	0.83	0.71	1.95	2.47	0.05	4.48	100.24
34-51	63.50	0.71	16.14	6.31	0.07	1.40	0.81	2.10	2.68	0.05	5.73	99.41
34-56	68.30	0.81	16.29	4.50	0.01	0.83	0.65	1.45	1.48	0.03	5.50	99.85
34-59	67.12	0.78	16.22	4.62	0.01	0.96	0.66	1.82	2.31	0.07	5.37	99.94
34-62	66.70	0.78	17.18	4.78	0.02	0.99	0.65	1.68	2.19	0.02	5.33	100.32
34-64	65.83	0.74	15.41	4.08	0.24	1.15	2.61	2.30	2.28	0.18	5.98	100.53
34-65	62.65	0.75	16.03	6.50	0.12	1.41	2.04	1.96	2.51	0.86	5.64	100.02
54-04	62.95	0.87	17.20	6.58	0.06	1.40	1.38	1.73	2.20	0.19	5.88	100.45
54-05	66.47	0.74	17.08	4.91	0.02	1.24	0.71	1.77	2.30	0.02	5.16	100.42
54-17	66.42	0.76	15.82	5.22	0.02	1.37	0.76	1.89	2.05	0.02	5.68	100.00
54-18	67.64	0.73	14.91	5.13	0.02	1.09	0.67	2.02	2.31	0.01	5.23	99.75
54-22	61.02	0.88	17.94	7.72	0.03	1.44	0.57	1.71	2.66	0.03	5.88	99.90
54-29	66.65	0.56	15.33	5.98	0.09	1.12	0.73	2.04	2.94	0.06	4.50	100.00
54-35	61.00	0.94	18.26	6.79	0.05	1.92	0.78	1.73	2.77	0.07	5.83	100.13
54-36	60.68	1.02	18.33	6.80	0.04	1.88	0.76	1.64	2.87	0.08	6.00	100.10
54-37	66.19	0.82	16.13	5.62	0.03	1.43	0.72	2.08	2.94	0.06	4.54	100.57
*22-02	66.22	0.83	16.57	5.00	0.03	1.31	0.61	2.21	2.89	0.02	4.22	99.92
*22-03	63.95	0.89	16.81	6.16	0.06	1.55	0.69	2.14	2.79	0.07	5.20	100.31
*22-06	59.10	1.05	19.96	6.67	0.03	1.64	1.06	1.60	2.65	0.39	5.90	100.06
*22-08	63.05	0.95	18.90	6.03	0.02	1.27	0.61	2.06	2.46	0.02	5.56	100.12
*22-09	59.13	0.98	18.54	8.68	0.04	1.99	0.65	1.84	2.81	0.13	5.44	100.23
*22-10	65.26	0.77	15.65	7.06	0.04	1.46	0.68	2.31	3.01	0.08	3.88	100.22
*22-11	63.03	0.90	16.86	7.07	0.04	1.79	0.64	2.17	3.08	0.08	4.53	100.18
*22-12	60.40	0.95	18.07	7.63	0.03	1.73	1.08	1.87	2.74	0.41	5.37	100.28

Окончание прилож. 1-2

Образец	SiO <sub>2</sub>	TiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> *	MnO	MgO	CaO	Na <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	ппп	Сумма
*22-13	65.58	0.89	18.35	4.24	0.01	1.11	0.52	2.11	2.78	0.04	4.70	100.32
*22-15	63.33	0.90	17.76	6.63	0.03	1.54	0.45	2.05	2.88	0.03	4.69	100.28
*22-19	60.26	0.95	18.35	6.96	0.13	1.64	1.56	1.87	2.67	0.03	5.94	100.36
*22-20	61.86	1.01	18.78	6.46	0.02	1.53	0.48	1.92	2.52	0.02	5.29	99.90
*22-23	64.17	0.91	18.25	6.08	0.03	1.29	0.56	1.89	2.68	0.04	4.49	100.39
*22-24	67.93	0.63	16.14	5.29	0.02	1.04	0.53	2.24	2.96	0.06	3.39	100.23
*22-25	60.17	0.95	19.33	7.66	0.02	1.51	0.58	1.55	2.58	0.08	5.67	100.09
*22-26	61.47	0.99	19.20	6.68	0.02	1.40	0.49	1.64	2.76	0.03	5.44	100.12

Приложение 2-1

**Валовый химический состав песчаников серии Uinta Mountain [Condie et al., 2001]**

Образец	SiO <sub>2</sub>	TiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> *	MnO	MgO	CaO	Na <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	ппп	Сумма
HP-2	93.42	0.07	0.82	2.19	0.13	0.61	0.01	0.03	0.36	0.02	1.78	99.44
HP-4	97.46	0.04	0.85	0.65		0.09	0.03	0.03	0.37	0.02	0.25	99.79
HP-5	98.75	0.08	0.58	0.33		0.07	0.02	0.02	0.23	0.02	0.17	100.27
MW-10	94.46	0.06	3.38	0.19		0.10	0.03	0.45	1.52	0.02	0.38	100.59
MW-37	97.08	0.04	0.98	0.05		0.05	0.01	0.09	0.41	0.03	0.17	98.90
MW-41	94.47	0.04	3.00	0.37		0.14	0.03	0.58	1.22	0.02	0.35	100.23
RC-9	95.96	0.11	0.97	0.27		0.15	0.02	0.08	0.25	0.02	0.28	98.11
RC-10	95.04	0.05	2.58	0.31		0.26	0.05	0.50	0.70	0.03	0.54	100.06
UMG-1	99.14	0.04	0.55	0.08		0.04	0.01	0.03	0.15	0.02	0.15	100.21
HP-6	83.89	0.33	6.79	4.59	0.01	0.74	0.11	0.04	1.35	0.11	1.93	99.89
HP-31	83.68	0.19	9.23	1.57	0.01	0.58	0.23	3.29	0.76	0.04	0.50	100.07
HP-24	86.63	0.09	5.77	0.22		0.21	0.04	0.40	2.92	0.02	3.61	99.91
MW-2	78.30	0.35	10.91	3.53	0.02	0.53	0.28	2.92	2.30	0.04	0.29	99.47
MW-11	89.09	0.04	5.95	0.36		0.09	0.08	1.35	2.72	0.02	0.60	100.30
MW-29	82.05	0.11	9.72	1.50	0.01	0.28	0.12	2.76	3.15	0.02	1.07	100.79
RC-2	83.40	0.14	9.58	0.38	0.01	0.18	0.10	2.66	3.23	0.03	0.59	100.30
RC-4	86.02	0.37	3.09	6.43	0.01	0.63	0.06	0.31	2.21	0.03	1.26	100.42
RC-7	75.11	0.34	3.98	12.37	0.01	0.97	0.19	2.93	3.61	0.05	1.24	100.80

Приложение 2-2

**Валовый химический состав аргиллитов и алевролитов серии Uinta Mountain [Condie et al., 2001]**

Образец	SiO <sub>2</sub>	TiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> *	MnO	MgO	CaO	Na <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	ппп	Сумма
HP-1	60.44	0.96	20.98	4.97	0.04	1.21	0.10	0.07	5.63	0.10	5.18	99.68
HP-8	69.62	0.81	14.89	4.85	0.07	1.27	0.11	0.07	3.97	0.06	4.30	100.02
HP-28	73.20	0.85	14.41	4.55	0.01	1.47	0.17	0.14	4.28	0.05	0.71	99.84
MW-25	57.54	0.98	20.35	5.93	0.03	2.87	0.21	1.44	6.21	0.11	4.01	99.68
MW-47	69.49	0.77	15.19	5.18	0.01	1.25	0.12	0.08	3.82	0.05	3.73	99.69
RC-6	63.84	0.92	17.92	5.85	0.02	1.63	0.13	0.09	4.52	0.06	4.50	99.48
RC-8	58.90	0.94	19.12	7.66	0.03	2.59	0.16	1.29	4.51	0.10	4.38	99.68
MHL-6	68.43	0.87	18.24	3.22	0.01	0.99	0.02	0.09	3.41	0.05	4.92	100.25
MHL-15	64.87	0.97	20.39	2.93	0.01	1.04	0.16	0.54	3.03	0.05	5.86	99.85
BC-1A	59.69	0.93	22.36	6.17	0.02	1.58	0.06	0.53	3.90	0.07	4.71	100.02
BC-6B	63.46	1.00	22.38	3.41	0.02	0.89	0.05	0.48	3.43	0.05	4.68	99.85
BC-8A	68.05	0.99	16.05	7.20	0.03	0.94	0.13	1.19	2.81	0.11	2.49	99.99



## Валовый химический состав песчаников формации Omdurman [Elzien et al., 2014]

Образец	SiO <sub>2</sub>	TiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> *	MnO	MgO	CaO	Na <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O	Сумма
S46	56.46	0.01	2.09	40.54	0.36	0.15	0.32	0.04	0.03	100.00
S33	55.05	0.01	4.20	40.45	0.08	0.03	0.13	0.02	0.03	100.00
S135	94.99	0.00	3.23	0.74	0.06	0.17	0.66	0.05	0.10	100.00
S131	91.10	0.01	5.94	2.17	0.03	0.09	0.48	0.06	0.12	100.00
S1213	91.77	0.01	5.90	1.99	0.14	0.01	0.09	0.03	0.07	100.01
S1211	71.45	0.01	5.42	22.14	0.05	0.02	0.85	0.02	0.05	100.01
S95	79.81	0.02	3.90	13.86	2.11	0.01	0.00	0.24	0.04	99.99
S93	93.78	0.00	5.56	0.52	0.02	0.03	0.08	0.02	0.00	100.01
S812	83.80	0.01	4.61	11.01	0.13	0.05	0.29	0.03	0.07	100.00
S88	85.19	0.01	8.92	3.39	0.03	0.41	1.92	0.04	0.10	100.01

## Валовый химический состав песчаников формации Serpent [Fedo et al., 1997]

Образец	SiO <sub>2</sub>	TiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> *	MnO	MgO	CaO	Na <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	ппп	Сумма
HS-29	71.71	0.32	13.20	3.65	0.01	1.67	0.16	3.01	3.37	0.10	1.90	99.10
HS-38	89.39	0.08	4.96	0.62	0.01	0.44	0.18	0.82	2.71	0.06	0.20	99.47
HS-54	85.54	0.05	7.44	0.43	0.02	0.43	0.39	2.20	2.35	0.08	0.60	99.53
HS-61	89.54	0.04	5.30	0.37		0.57	0.14	1.41	1.90	0.03	0.20	99.50
HS-71	76.93	0.24	11.75	1.61	0.02	0.85	0.35	4.21	2.86	0.08	0.60	99.50
HS-84	79.73	0.08	10.41	0.78	0.01	0.64	0.07	3.02	3.55	0.05	1.10	99.44
HS-U4c	67.97	0.38	16.08	3.26	0.02	2.38	0.16	1.92	5.85	0.09	1.90	100.01
HS-119c	79.48	0.16	6.54	1.02	0.05	0.70	4.02	1.47	2.58	0.05	3.39	99.46
HS-120c	84.17	0.17	7.54	1.39	0.01	0.77	0.45	1.79	2.67	0.07	1.00	100.03
HS-126cb	80.50	0.09	6.08	0.54	0.05	0.57	4.23	1.18	2.74	0.07	3.49	99.54
HS-131c	78.52	0.20	9.06	1.43	0.03	0.72	1.89	2.65	2.84	0.09	2.00	99.43
HS-135c	75.78	0.25	12.30	2.05	0.01	0.97	0.16	1.25	4.85	0.10	1.60	99.32
HS-142c	90.60	0.04	4.16	0.38	0.00	0.34	0.16	0.77	1.98	0.04	0.20	98.67
HS-160c	89.13	0.06	5.32	0.80	0.01	0.43	0.05	1.55	1.67	0.04	0.40	99.46

## Валовый химический состав глинистых пород формации Serpent [Fedo et al., 1997]

Образец	SiO <sub>2</sub>	TiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> *	MnO	MgO	CaO	Na <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	ппп	Сумма
HS-1b	54.66	0.76	16.28	11.96	0.10	4.93	1.50	1.85	5.80	0.20	2.00	100.04
HS-17	66.37	0.58	17.55	1.77	0.01	2.44	0.08	3.89	4.77	0.10	2.40	99.96
HS-39	61.71	0.45	20.58	2.98	0.02	1.88	0.21	2.77	7.49	0.18	2.10	100.37
HS-46	60.68	0.55	21.67	2.00	0.01	1.76	0.16	0.99	9.81	0.15	2.79	100.57
HS-67	64.20	0.54	15.92	5.60	0.04	3.01	0.50	4.65	3.94	0.28	1.70	100.38
HS-72	62.76	0.59	17.68	5.06	0.02	2.78	0.29	3.31	5.29	0.19	2.00	99.97
HS-80	65.60	0.58	16.69	4.27	0.04	2.44	0.83	1.30	5.80	0.17	2.59	100.31
HS-87	57.43	0.76	21.02	5.64	0.04	3.23	0.34	3.45	6.10	0.20	2.10	100.31
HSFC-1	72.37	0.39	13.67	3.77	0.07	1.58	0.30	2.20	3.66	0.15	1.30	99.46
HSFC-2	65.56	0.55	16.86	4.33	0.07	2.49	0.51	2.23	5.12	0.18	1.69	99.59
HS-112c	55.09	0.67	19.99	6.98	0.03	4.69	0.73	0.77	6.13	0.26	3.79	99.13
HS-126ca	73.30	0.32	12.60	2.85	0.02	1.47	0.65	3.75	3.27	0.15	1.10	99.48
HS-128c	62.35	0.48	14.69	5.28	0.06	2.82	2.44	2.40	3.69	0.17	4.49	98.87
HS-134c	59.77	0.65	18.99	5.81	0.03	2.46	0.36	1.74	6.35	0.20	2.89	99.25
HS-139c	64.36	0.50	18.85	2.92	0.03	1.34	0.33	1.88	7.03	0.17	2.90	100.31
HS-144c	51.15	0.79	27.02	3.33	0.01	2.07		0.27	11.21	0.25	3.59	99.69
HS-146c	61.70	0.66	20.15	3.46	0.01	2.16	0.25	0.74	8.02	0.18	2.69	100.02
HS-152c	60.68	0.66	17.64	6.62	0.04	3.29	0.25	2.33	5.82	0.14	2.59	100.06

**Валовый химический состав силикокластических образований дельты р. Окаванго  
[Huntsman-Mapila et al., 2005]**

Образец	SiO <sub>2</sub>	TiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	FeO	MnO	MgO	CaO	Na <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	ппп	Сумма
8157A	89.97	0.23	4.99	1.27	0.01	0.36	0.68	0.16	0.49	0.01		98.17
8157F	96.11	0.10	1.77	0.38	0.01	0.09	0.27	0.06	0.21	0.01	1.47	100.48
8158A	83.17	0.29	5.47	1.40	0.01	0.34	1.83	0.13	0.50	0.01	5.86	99.01
8158F	97.79	0.07	0.65	0.22	0.01	0.13	0.04	0.02	0.13	0.01	0.75	99.82
8158H	96.43	0.09	1.31	0.31	0.01	0.06	0.05	0.09	0.22	0.01	1.11	99.69
8159A	98.18	0.02	0.34	0.40	0.01	0.03	0.10	0.03	0.10	0.01	0.76	99.98
8159T	89.28	0.05	0.54	0.49	0.01	1.52	3.53	0.14	0.27	0.01	4.54	100.38
8162D	89.46	0.13	2.41	1.01	0.01	0.32	0.10	0.06	0.30			93.80
8162E	87.09	0.23	4.77	2.03	0.01	0.37	0.54	0.10	0.42	0.03	4.34	99.93
8162J	80.17	0.22	3.37	1.34	0.02	1.36	4.97	0.31	1.16	0.01	7.27	100.20
8162K	93.97	0.08	0.90	0.39	0.01	0.81	1.20	0.08	0.34		2.49	100.27
8162L	88.55	0.09	1.15	0.49	0.02	1.50	3.29	0.10	0.53	0.01	4.80	100.53
8162O	90.32	0.15	2.72	1.39	0.01	0.63	0.18	0.09	0.69	0.01	2.69	98.88
8262A	83.28	0.56	9.49	1.73	0.03	0.39	0.39	0.18	0.90	0.01		96.96
8262B	76.75	0.62	11.76	2.21	0.02	0.45	0.39	0.17	0.87	0.01		93.25
8262C	93.15	0.15	2.70	1.01	0.01	0.25	0.14	0.05	0.32		2.94	100.72
8262D	98.32	0.09	0.95	0.27	0.01	0.07	0.04	0.05	0.18		0.88	100.86
8262F	92.13	0.14	2.47	0.94	0.01	0.21	0.09	0.12	0.37	0.01	2.57	99.06
8348A	97.42	0.05	0.57	0.16	0.01	0.04	0.01	0.02	0.10	0.01	0.71	99.10
8348B	97.51	0.08		0.22	0.01	0.05	0.01	0.04	0.14	0.02	0.89	98.97
8348C	98.54	0.40		0.13	0.01	0.03	<0.01	0.05	0.09	0.01	0.66	99.92
8348D	99.04	0.65		0.31	0.01	0.06	0.06	0.07	0.13			100.33
8348E	98.25	0.57		0.24	0.01	0.05	0.03	0.05	0.10	0.01	0.72	100.03
8348F	91.81	2.73		1.21	0.01	0.25	0.41	0.11	0.32	0.01	3.26	100.12
8348G	93.73	2.53		0.81	0.01	0.27	0.11	0.11	0.36	0.01	2.21	100.15
8348H	81.90	6.91		2.15	0.01	0.73	0.28	0.38	1.14	0.03	5.84	99.37
8348J	74.49	7.01		2.76	0.04	1.32	2.47	0.58	1.53	0.03	7.81	98.04
8351C	95.78	0.87		0.29	0.01	0.07	0.02	0.06	0.21	0.01	0.90	98.22
8351F	89.40	3.50		1.22	0.01	0.32	0.17	0.09	0.48	0.01	2.87	98.07

**Валовый химический состав песчаников Lower Vindhyan/серии Semri [Raza et al., 2010]**

Образец	SiO <sub>2</sub>	TiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	MnO	MgO	CaO	Na <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>
Kd 70	94.54	0.03	1.39	0.18	0.02	0.09	0.08	0.02	0.85	0.02
Kd 80	96.88	0.04	0.78	0.03	0.02	0.02	0.08	0.05	0.02	0.02
Kd 87A	76.57	0.31	9.20	4.06	0.02	1.18	0.22	0.13	6.31	0.07
Nkd3	95.55	0.04	0.75	0.39	0.02	0.02	0.07	0.04	0.05	0.02
Nkd6	93.25	0.03	2.79	0.45	0.02	0.02	0.06	0.39	0.04	0.03
Ji 55	91.76	0.08	2.54	3.12	0.03	0.41	0.11	0.11	0.05	0.01
Ji 132B	95.92	0.06	0.93	0.50	0.02	0.02	0.08	0.04	0.02	0.02
Jil48B	87.58	0.38	4.72	3.09	0.11	0.50	0.12	0.10	1.22	0.06
NJi5	90.56	0.06	3.68	3.05	0.03	0.39	0.10	0.10	0.06	0.02
NJi9	92.45	0.29	2.79	3.28	0.01	0.40	0.11	0.09	0.06	0.03
Sal54D	90.09	0.11	5.86	0.02	0.02	0.10	0.09	0.12	3.85	0.02
Sal 65	92.61	0.19	4.47	0.02	0.02	0.13	0.13	0.11	1.21	0.02
Sa 67	91.00	0.06	6.06	0.13	0.02	0.23	0.42	0.10	0.55	0.01
Sa 79	97.20	0.08	1.51	0.16	0.02	0.15	0.17	0.15	0.10	0.02
NSa25	91.50	0.19	5.59	0.56	0.02	0.20	0.08	0.10	0.81	0.02

**Валовый химический состав глинистых пород серии Semri/Lower Vindhyan  
[Raza et al., 2002]**

Образец	SiO <sub>2</sub>	TiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> *	MnO	MgO	CaO	Na <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>
1	59.49	0.97	13.97	12.45	0.07	3.50	0.13	0.15	4.74	0.06
2	62.34	0.68	22.59	5.19	0.03	2.18	0.15	0.24	6.34	0.09
3	59.23	0.63	20.26	6.56	0.06	3.35	0.26	0.16	4.63	0.07
4	58.61	0.64	21.50	6.79	0.04	3.34	0.30	0.15	5.94	0.08
5	59.27	0.59	18.37	7.05	0.05	3.84	0.21	0.09	5.37	0.08
6	58.68	0.63	18.42	7.14	0.04	4.32	0.16	0.07	5.44	0.09
7	79.37	0.46	14.35	2.13	0.03	0.96	0.19	0.08	2.80	0.13
8	73.61	0.67	16.60	2.87	0.03	1.64	0.35	0.09	4.62	0.17
9	68.74	0.60	17.08	5.02	0.03	1.17	0.15	0.38	2.95	0.06
10	68.51	0.53	14.18	1.11	0.03	0.33	0.10	0.25	2.08	0.05
11	69.75	0.57	16.90	4.77	0.06	0.71	0.37	0.41	2.40	0.06
12	66.84	0.58	17.52	5.29	0.04	1.45	0.16	0.22	3.50	0.05
13	67.61	0.72	19.92	4.48	0.05	1.03	0.24	0.29	3.76	0.06
14	68.45	0.92	16.98	6.54	0.04	0.39	0.31	0.25	4.29	0.08
15	71.14	0.65	20.28	3.24	0.03	0.62	0.20	0.72	3.31	0.05
16	70.06	0.42	19.59	8.38	0.05	0.83	0.38	0.18	1.83	0.05
17	71.36	0.36	10.14	8.74	0.05	1.12	0.19	0.16	0.45	0.06
18	76.24	0.41	8.13	4.81	0.04	1.35	0.19	0.08	1.01	0.05
21	72.00	0.81	9.10	6.30	0.11	0.42	0.20	0.15	4.12	0.07

**Валовый химический состав глинистых пород серии Semri/Lower Vindhyan  
[Paikaray et al., 2008]**

Образец	SiO <sub>2</sub>	TiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> *	MnO	MgO	CaO	Na <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	ппп	Сумма
UBS1	69.89	1.1	12.9	5.9	0.02	1.55	2.17	0.52	2.03	0.02	3.65	99.75
UBS2	70.29	0.91	11.66	6.36	0.03	1.28	1.74	0.4	2.02	0.01	4.12	98.82
UBS3	65.41	0.92	14.25	7.03	0.03	1.55	2.17	0.46	2.14	0.02	5.99	99.98
UBS4	70.73	0.91	13.15	5.83	0.02	1.24	1.77	0.49	1.21	0.02	3.09	98.47
UBS5	66.38	0.98	14.99	7.47	0.02	1.71	2.17	0.31	2.55	0.03	2.69	99.3
UBS6	63.01	0.94	15.57	6.78	0.02	2.02	2.28	0.4	2.15	0.02	4.82	98.01
SS3	66.95	0.64	13.5	5.83	0.01	1.09	1.52	0.57	2.18	0.06	5.95	98.29
SS6	65.2	0.8	16.73	5.93	0.03	1.4	1.74	0.39	2.11	0.08	3.9	98.29
SS7	68.91	0.61	13.78	6.42	0.02	1.17	2.17	0.42	2.3	0.08	3.69	99.57
SS8	64.02	0.71	14.74	5.71	0.02	1.03	1.72	0.31	1.82	0.07	5.89	96.03
SS9	67.19	0.81	14.92	6.33	0.03	1.55	2.12	0.46	3.12	0.06	2.97	99.57
SS10	65.38	0.6	14.23	5.75	0.02	1.4	1.96	0.58	2.78	0.06	5.68	98.43
LBS1	62.64	0.87	17.81	6.04	0.02	2.29	1.52	0.38	1.62	0.03	5.23	98.44
LBS2	63.9	0.75	17.61	5.73	0.03	1.71	1.96	0.32	2.26	0.03	5.24	99.53
LBS3	65.1	0.84	16.06	6.86	0.03	1.86	1.52	0.29	2.16	0.03	4.91	99.66
LBS4	65.32	0.84	14.46	6.29	0.02	1.4	1.74	0.31	2.08	0.03	5.08	97.56
LBS5	62.19	0.88	17.35	7.05	0.02	2.02	1.52	0.42	1.48	0.04	5.99	98.94
LBS6	65.83	0.82	14.6	6.64	0.03	1.71	1.79	0.51	2.23	0.03	5.04	99.23
LBS7	62.9	0.85	15.48	5.81	0.03	1.97	1.96	0.48	2.06	0.03	6.21	97.77
LBS8	64.23	0.67	13.69	5.81	0.02	1.55	2.39	0.39	2.06	0.02	6.42	97.25
LBS9	62.4	0.75	15.9	6.53	0.03	1.86	1.99	0.4	2.06	0.03	7.18	99.12
RWS1	57.7	1.08	19.63	6.21	0.05	1.24	2.36	0.61	2.95	0.06	6.85	98.73
RWS2	58.64	0.99	18.71	6.4	0.05	1.55	1.96	0.44	1.83	0.08	6.8	97.44
RWS3	56.14	0.95	19.41	6.01	0.04	1.55	2.61	0.48	2.06	0.08	7.75	97.06
RWS4	58.08	1.08	19.2	6.04	0.03	1.09	2.39	0.35	1.85	0.06	8.55	98.72
RWS5	59.59	0.71	18.57	6.31	0.03	1.4	2.17	0.51	3.09	0.08	5.03	97.48

Образец	SiO <sub>2</sub>	TiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> *	MnO	MgO	CaO	Na <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	ппп	Сумма
BS3	61.09	0.63	16.87	3.88	0.06	3.21	1.12	0.46	3.23	0.16	7.85	98.54
BS4	56.70	0.60	16.62	4.59	0.02	2.04	1.72	0.60	5.92	0.11	9.97	98.88
BS5	62.99	0.66	15.29	3.71	0.03	2.72	0.99	0.47	4.11	0.08	12.64	103.67
BS6	64.07	0.71	15.27	2.87	0.07	3.16	0.88	0.53	4.77	0.11	10.45	102.87
BS7	59.16	0.65	15.46	4.57	0.02	2.87	0.89	0.44	3.15	0.08	13.09	100.36
BS8	59.27	0.58	14.79	4.99	0.02	3.10	0.89	0.54	4.66	0.11	13.22	102.15
BS9	61.49	0.53	11.17	4.74	0.01	3.64	0.67	0.42	4.01	0.07	11.24	97.95
BS10	61.69	0.51	9.87	3.85	0.01	3.42	0.86	0.52	4.21	0.08	13.03	98.03
RS1	52.70	0.53	11.44	5.73	0.08	3.98	6.74	0.33	2.80	0.12	13.18	97.60
RS2	57.06	0.56	11.35	4.27	0.08	2.80	5.40	0.52	2.82	0.10	15.27	100.21
RS3	51.19	0.55	12.76	4.98	0.06	3.74	5.69	0.37	3.63	0.11	13.24	96.30
RS4	59.62	0.58	10.89	5.32	0.06	3.11	4.14	0.42	2.23	0.09	10.79	97.21
RS5	55.62	0.46	11.30	5.07	0.05	4.92	7.72	0.39	2.30	0.13	16.08	104.02
RS6	48.13	0.52	15.05	4.19	0.07	5.31	7.92	0.43	3.13	0.06	14.82	99.60
RS7	59.35	0.56	11.18	4.50	0.04	4.08	6.44	0.47	2.40	0.11	15.59	104.70
RS8	56.22	0.57	13.32	3.91	0.06	4.01	7.59	0.40	2.33	0.10	10.25	98.74
RS9	54.37	0.52	10.79	3.79	0.04	2.64	6.35	0.44	2.96	0.16	15.26	97.29
RS10	57.24	0.44	10.13	3.72	0.05	2.96	5.11	0.42	1.86	0.12	15.34	97.36
RSI 1	60.49	0.47	10.49	3.32	0.04	4.11	4.76	0.51	2.92	0.09	11.22	98.40
RSI 2	57.85	0.47	9.56	3.97	0.03	2.56	5.42	0.43	2.33	0.11	14.62	97.34
RS13	60.20	0.57	10.89	4.19	0.04	4.08	2.99	0.59	2.48	0.11	12.06	98.18
RS14	61.33	0.44	10.07	4.43	0.03	2.29	3.71	0.60	2.38	0.14	12.79	98.20
RSI 5	59.79	0.43	10.24	4.06	0.04	4.47	3.89	0.51	1.94	0.11	13.41	98.85
OS 1	60.99	0.61	18.51	4.87	0.05	1.40	1.90	0.61	3.82	0.03	6.84	99.61
OS 2	64.25	0.75	17.10	4.21	0.03	1.47	1.74	0.62	3.30	0.03	5.75	99.23
OS 3	62.79	0.77	19.32	4.90	0.02	1.71	2.17	0.47	4.50	0.02	6.33	103.01
OS 4	62.90	0.72	17.09	5.66	0.02	1.86	1.96	0.61	3.50	0.02	5.84	100.18
OS 5	58.63	0.57	20.74	5.08	0.02	1.71	2.39	0.42	3.04	0.03	6.07	98.69
OS 6	60.54	0.46	20.66	4.73	0.03	1.40	2.17	0.56	5.23	0.03	3.92	99.73
OS 7	64.30	0.67	19.61	5.74	0.03	2.02	2.39	0.52	3.23	0.01	1.86	100.38
OS 8	63.13	0.48	19.65	4.73	0.02	1.40	1.96	0.67	5.43	0.04	1.72	99.23
OS 9	60.15	0.62	18.10	5.05	0.02	1.62	2.31	0.67	3.02	0.02	4.79	96.36
OS 10	62.17	0.62	19.12	5.77	0.03	1.71	2.39	0.51	4.30	0.03	5.73	102.36
OS 11	58.40	0.51	21.13	5.77	0.03	1.40	2.82	0.40	3.20	0.03	5.76	99.45
OS 12	63.61	0.79	19.85	5.06	0.02	1.71	1.96	0.57	3.91	0.04	3.68	101.18
OS 13	59.81	0.65	19.78	5.32	0.02	1.55	2.39	0.51	3.02	0.04	4.09	97.18
OS 14	61.19	0.56	17.60	5.02	0.03	1.86	1.96	0.68	4.42	0.04	6.89	100.23
OS15	60.18	0.61	20.94	4.82	0.03	1.40	2.16	0.52	3.82	0.04	5.66	100.18
PS1	67.50	0.87	14.78	3.47	0.02	1.40	1.52	0.57	4.23	0.06	5.15	99.56
PS2	67.18	1.09	16.87	2.93	0.02	2.17	1.09	0.61	3.21	0.03	3.68	98.87
PS3	67.39	0.45	17.25	1.79	0.01	2.02	1.63	0.63	3.12	0.04	4.73	99.06
PS4	66.19	0.72	14.20	3.36	0.02	0.93	1.74	0.58	4.49	0.06	6.01	98.29
PS5	68.05	0.73	16.14	2.89	0.01	1.30	2.01	0.51	2.89	0.03	4.76	99.32
PS6	65.16	0.62	13.91	2.83	0	1.40	2.39	0.67	3.81	0.05	8.67	99.49
KS1	59.86	0.53	12.60	3.94	0.02	3.90	2.90	0.50	2.65	0.13	12.12	99.12
KS2	61.08	0.56	12.22	4.80	0.02	2.74	3.69	0.54	3.49	0.12	9.38	98.63
KS3	60.78	0.46	11.86	3.80	0.01	3.72	2.47	0.51	2.23	0.15	12.70	98.67
KS4	61.39	0.50	15.67	4.99	0.02	3.60	2.44	0.41	3.17	0.12	7.98	100.26
KS5	59.54	0.37	11.08	4.16	0.02	2.99	3.97	0.31	3.04	0.14	12.10	97.68
KS6	59.33	0.50	11.82	3.88	0.02	4.83	3.30	0.21	2.07	0.16	12.70	98.80
KS7	61.27	0.31	13.40	4.28	0.02	3.03	3.18	0.45	2.70	0.12	9.30	98.02
AS1	60.66	0.73	21.21	5.80	0.02	2.17	1.09	0.54	6.92	0.04	2.84	102.01
AS2	62.43	0.79	21.36	5.90	0.02	2.02	1.52	0.50	4.40	0.04	2.82	101.78
AS3	61.27	0.88	20.58	5.74	0.02	1.71	1.74	0.57	4.30	0.04	4.68	101.53
AS4	63.70	0.59	20.20	3.94	0.03	1.86	2.39	0.61	3.91	0.04	3.78	101.04
AS 5	64.31	0.66	17.81	2.36	0.02	1.09	1.52	0.47	5.72	0.03	5.79	99.77

## Валовый химический состав песчаников формации Malužiná [Vďačný et al., 2013]

Образец	SiO <sub>2</sub>	TiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> *	MnO	MgO	CaO	Na <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	ппп	Сумма
10-VD	82.73	0.08	9.55	1.27	0.02	0.16	0.35	4.18	0.79	0.05	0.50	99.68
11-VD	71.32	0.39	14.98	2.41	0.06	1.26	0.77	4.83	1.41	0.09	2.30	99.82
12-VD	75.54	0.39	12.62	2.56	0.04	0.58	1.08	4.61	1.00	0.10	1.30	99.82
13-VD	76.94	0.30	12.02	1.90	0.05	0.43	1.29	4.64	0.88	0.08	1.30	99.83
16-VD	69.08	0.61	13.94	2.57	0.04	0.73	3.10	3.88	2.12	0.16	3.60	99.83
17-VD	72.32	0.34	12.21	2.04	0.04	0.53	3.09	3.97	1.72	0.09	3.50	99.85
18-VD	84.02	0.16	7.88	1.96	0.02	1.58	0.09	1.73	0.64	0.04	1.80	99.92
19-VD	85.03	0.05	8.11	0.90	0.02	0.70	0.21	2.22	1.76	0.03	0.90	99.93
20-VD	77.34	0.06	10.65	0.73	0.05	0.21	2.31	4.70	0.79	0.04	2.40	99.28
21-VD	79.57	0.12	11.01	0.97	0.09	0.54	0.92	3.98	1.19	0.05	1.40	99.84
22-VD	80.29	0.36	10.01	2.47	0.04	0.76	0.18	3.89	0.41	0.06	1.40	99.87
23-VD	79.53	0.32	10.24	2.94	0.05	0.67	0.29	3.85	0.64	0.06	1.30	99.89
26-VD	74.22	0.37	12.51	2.15	0.06	1.09	1.47	3.40	1.40	0.09	3.10	99.86
27-VD	67.83	0.63	13.31	3.66	0.08	1.01	3.30	2.97	2.08	0.16	4.80	99.83
30-VD	72.71	0.44	13.73	2.75	0.04	1.03	0.75	5.29	1.16	0.10	1.90	99.90
31-VD	72.97	0.44	13.30	2.89	0.04	1.36	0.74	4.86	1.15	0.10	2.00	99.85
32-VD	75.25	0.22	13.48	1.71	0.02	0.80	0.42	4.41	1.71	0.06	1.80	99.88
33-VD	75.85	0.35	12.46	2.99	0.03	0.81	0.50	3.27	1.45	0.09	2.20	100.00
34-VD	74.03	0.30	12.31	2.71	0.04	0.88	1.57	3.45	1.53	0.09	3.00	99.91
36-VD	72.52	0.54	13.74	2.60	0.07	1.80	0.83	3.50	0.97	0.06	3.30	99.93
38-VD	74.29	0.38	13.19	2.42	0.04	0.48	1.23	5.08	0.92	0.10	1.80	99.93
39-VD	76.60	0.33	12.18	2.15	0.03	0.41	0.75	5.03	0.85	0.09	1.50	99.92
40-VD	75.14	0.40	13.08	2.14	0.05	0.68	1.36	4.41	1.20	0.11	1.30	99.87
42-VD	77.52	0.30	11.89	1.86	0.03	0.49	0.72	4.40	1.01	0.07	1.60	99.89
43-VD	80.11	0.11	11.47	0.61	0.01	0.08	0.42	5.66	0.46	0.04	0.90	99.87

## Валовый химический состав песчаников формации Nukhul [Zaid, 2013]

Образец	SiO <sub>2</sub>	TiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> *	MnO	MgO	CaO	Na <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	ппп	Сумма
78	79.67	0.51	8.84	3.56	0.05	1.17	0.66	1.42	2.00	0.10	2.05	99.93
IN8	79.55	1.53	4.35	4.50	0.13	2.14	0.22	1.05	1.80	0.03	4.71	99.91
N10	76.20	0.64	10.30	4.16	0.04	1.22	0.60	1.91	2.15	0.11	2.14	99.47
N12	79.51	0.42	3.84	5.42	0.08	1.21	0.27	1.12	3.05	0.11	4.45	99.48
N14	88.30	0.09	1.12	1.13	0.03	5.80	0.13	0.17	0.77	0.06	2.38	99.98
N18	76.20	0.62	9.98	4.00	0.05	1.23	0.96	1.96	2.05	0.10	2.11	99.26
N19	77.20	2.21	2.10	5.24	0.12	2.53	0.24	0.89	2.06	0.19	7.26	100.04
T6	90.10	0.06	0.97	1.08	0.01	5.34	0.14	0.06	0.12	0.00	2.49	100.33
114	77.90	1.99	2.62	5.11	0.15	0.49	1.11	0.95	3.91	0.13	5.11	99.47
116	70.05	0.63	11.16	5.10	0.06	2.13	2.11	1.77	2.53	0.12	3.91	99.57
118	79.40	0.53	3.47	5.13	0.08	0.87	1.14	1.02	3.54	0.11	4.80	100.09
119	75.60	0.42	9.91	3.78	0.08	1.21	1.99	1.98	1.96	0.10	3.00	100.02

## Валовый химический состав песчаников уйской серии [Cullers, Podkovyrov, 2002]

Образец	SiO <sub>2</sub>	TiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	FeO*	MnO	MgO	CaO	Na <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	ппп	Сумма
86-3	98.10	0.26	0.87	0.57	0.01	0.18	0.06	0.20	0.05	0.05	0.30	100.61
86-5	81.09	0.40	8.72	1.55	0.02	1.21	0.38	2.22	2.73	0.19	1.04	99.55
86-7	75.25	0.36	12.01	2.22	0.01	1.60	0.38	2.49	3.42	0.14	1.86	99.74
87-T <sup>1</sup>	66.34	0.90	12.15	5.97	0.14	3.35	2.46	1.31	0.98	0.12	3.17	96.89
87-4	72.01	0.13	11.89	2.84	0.03	4.46	0.30	1.03	3.79	0.09	2.70	99.27
87-9	92.18	0.09	4.22	0.23	0.01	0.32	0.03	0.08	2.24	0.05	0.54	99.99
87-27	77.51	0.39	10.81	3.21	0.01	1.11	0.27	1.47	3.26	0.09	2.07	100.20
87-28	72.79	0.41	9.06		0.13	1.43	3.22	2.07	2.03	0.11	3.66	99.23
88-33	77.99	0.51	8.35	4.04	0.08	1.97	0.98	1.99	1.28	0.28	1.84	99.31
88-35	78.51	0.51	7.33	3.97	0.09	1.86	1.71	1.63	0.95	0.31	2.49	99.36
85-3	72.28	1.27	9.83	6.40	0.17	1.97	2.16	2.39	1.16	0.08	2.00	99.71
85-21	75.68	0.85	11.72	3.21	0.03	0.55	1.29	2.22	3.00	0.04	1.25	99.84
85-25	64.17	0.88	15.31	6.95	0.13	2.87	1.18	3.03	2.92	0.07	2.30	99.81
85-35	65.52	1.34	12.95	7.25	0.09	2.69	1.43	2.81	2.76	0.15	2.00	98.99
104-1	70.62	0.90	11.43	3.21	0.07	1.47	2.96	2.87	2.83	0.34	3.66	100.36
104-5	95.90	0.11	1.62	0.60	0.01	0.21	0.22	0.20	0.11	0.47	0.37	99.82
104-30	87.65	0.17	4.41	2.02	0.04	0.91	1.27	0.25	0.67	0.18	1.96	99.53
104-40	90.22	0.40	4.74	1.09	0.01	0.81	0.24	0.05	1.32	0.26	1.16	100.30
104-54	77.64	0.44	9.45	3.52	0.03	1.89	0.47	2.81	0.85	0.44	1.77	99.31
104-56	77.48	0.46	9.47	3.17	0.04	1.66	0.48	3.22	1.04	0.45	2.13	99.60
104-57	62.42	1.01	16.85	6.08	0.05	2.17	0.16	1.51	4.47	0.47	4.17	99.36
104-59	81.88	0.26	8.32	1.98	0.02	0.78	0.23	2.91	1.19	0.48	1.38	99.43
104-68	68.47	0.58	13.16	6.90	0.09	2.15	0.58	2.37	2.15	0.26	3.07	99.78
78-32	95.02	0.03	0.52	2.30	0.02	0.32	0.58	0.01	0.20	0.04	0.25	99.29
78-40	92.44	0.04	0.43	0.57	0.08	0.65	1.64	0.14	0.05	0.06	0.25	96.35
79-8	95.26	0.12	1.20		0.01	0.10	0.16	0.05	0.45	0.02	0.25	99.28
79-13	67.72	0.48	11.13	10.47	0.24	2.28	0.42	1.08	2.69	0.03	4.40	100.94
79-15	63.22	1.17	17.86	5.05	0.08	2.21	0.45	0.95	4.71	0.10	4.50	100.12

## Валовый химический состав глинистых пород и алевролитов уйской серии [Cullers, Podkovyrov, 2002]

Образец	SiO <sub>2</sub>	TiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	FeO*	MnO	MgO	CaO	Na <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	ппп	Сумма
87-30	57.79	0.99	18.32	7.88	0.09	2.89	0.36	2.01	4.37	0.15	3.74	98.59
88-31	60.88	0.96	17.93	5.95	0.06	2.19	0.72	1.52	4.98	0.16	4.25	99.60
85-5	63.99	1.18	15.73	7.08	0.09	2.54	0.96	1.61	3.74	0.14	2.10	99.16
85-20	62.28	0.77	18.65	5.52	0.03	1.71	0.76	1.80	4.83	0.12	3.12	99.59
85-24	61.07	1.41	15.93	8.84	0.10	2.73	0.92	1.68	3.90	0.15	2.70	99.43
104-12	52.48	1.08	20.46	8.31	0.08	2.78	0.86	2.67	4.51	0.34	4.95	98.52
104-17	59.79	1.07	15.95	10.00	0.05	2.02	0.09	2.14	3.02	0.42	4.95	99.50
104-20	60.58	1.12	16.53	8.06	0.04	2.36	0.07	1.94	3.52	0.47	4.36	99.05
104-41	63.34	0.92	16.50	5.87	0.04	2.19	0.61	1.77	4.69	0.41	3.68	100.02
104-60	61.00	1.05	16.41	7.17	0.04	2.75	0.34	1.51	4.77	0.60	4.43	100.07
78-21	65.86	0.93	16.85	3.65	0.01	1.23	0.28	1.11	4.02	0.05	4.60	98.59
78-27	67.00	0.93	16.42	3.48	0.01	1.21	0.28	1.11	4.53	0.05	4.40	99.42
78-29	66.35	0.95	17.19	3.53	0.01	1.41	0.25	1.00	4.65	0.05	4.68	100.07
79-9	65.50	1.00	17.70	4.38	0.03	1.80	0.11	1.27	4.30	0.05	4.50	100.64
79-11	63.91	1.05	17.00	4.48	0.02	2.32	0.38	1.35	4.04	0.03	4.90	99.48

Приложение 37-1

**Валовый химический состав песчаников серии Ванxi [Deru et al., 2007]**

Образец	SiO <sub>2</sub>	TiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	FeO*	MnO	MgO	CaO	Na <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>
LL01	73.32	0.69	12.90	5.58	0.19	1.73	1.22	2.10	2.12	0.14
LL03	74.41	0.67	12.72	5.67	0.12	1.71	0.49	1.61	2.44	0.14
LL08	74.52	0.72	12.82	4.64	0.13	1.52	0.84	1.52	3.16	0.13
LL10	73.46	0.78	12.28	5.45	0.30	1.69	1.17	1.61	3.10	0.16
LJ-1	75.84	0.53	10.67	7.08	0.71	0.12	0.25	3.95	0.68	0.16
LJ-5	68.00	0.68	13.60	8.35	0.19	2.65	2.19	2.55	1.67	0.11
LJ-2	69.34	0.76	13.52	6.20	0.79	1.24	5.96	1.36	0.67	0.15
LJ-3	69.80	0.84	14.95	4.84	0.33	1.53	3.37	2.61	1.54	0.17

Приложение 37-2

**Валовый химический состав глинистых пород и алевролитов серии Ванxi [Deru et al., 2007]**

Образец	SiO <sub>2</sub>	TiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	FeO*	MnO	MgO	CaO	Na <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>
LL02	69.80	0.76	15.61	6.53	0.10	1.86	0.24	0.83	4.11	0.15
LL04	69.96	0.74	15.83	5.85	0.08	2.09	2.72	2.47	2.84	0.14
LL05	68.85	0.76	16.46	5.94	0.07	1.78	0.46	1.46	4.09	0.12
LL07	70.05	0.85	15.18	5.62	0.30	1.82	0.81	1.26	3.96	0.15
DD01	70.47	0.76	15.30	5.85	0.14	2.00	0.47	1.66	3.22	0.14
LL06	68.60	0.88	17.24	5.25	0.16	1.58	0.28	0.46	5.41	0.13
LL09	67.63	0.81	17.14	6.01	0.15	1.82	0.51	0.97	4.83	0.13
DD02	66.03	0.86	17.98	6.89	0.13	2.29	0.48	1.26	3.95	0.14
DD03	63.72	0.84	18.78	7.72	0.14	2.46	0.31	1.38	4.50	0.14
DD04	61.84	0.94	20.60	7.57	0.08	2.51	0.21	1.43	4.66	0.15
DD05	62.47	0.89	20.31	7.31	0.09	2.38	0.24	1.57	4.56	0.18

Приложение 38-1

**Валовый химический состав песчаников формации Gamble Brook [Murphy, 2002]**

Образец	SiO <sub>2</sub>	TiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> *	MnO	MgO	CaO	Na <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	ппп	Сумма
1	92.16	0.16	3.72	1.44	0.01	0.52	0.18	0.67	0.81	0.06	0.51	100.24
2	96.19	0.08	2.62	0.51	0.00	0.13	0.14	0.69	0.44	0.02	0.01	100.83
3	72.72	0.40	13.71	3.22	0.08	1.24	2.63	3.58	2.91	0.10	0.76	101.35
4	67.07	0.88	12.89	9.02	0.34	2.15	1.62	1.81	3.17	0.14	1.15	100.23
5	70.03	0.50	14.90	4.04	0.06	1.05	2.33	3.28	3.08	0.11	0.99	100.38

Приложение 38-2

**Валовый химический состав глинистых пород и алевролитов формации Gamble Brook [Murphy, 2002]**

Образец	SiO <sub>2</sub>	TiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> *	MnO	MgO	CaO	Na <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	ппп	Сумма
1	61.23	1.15	16.93	7.98	0.16	2.20	2.85	3.94	2.65	0.19	0.49	99.77
2	49.29	1.18	16.80	9.75	0.22	7.45	9.39	1.83	0.84	0.17	3.38	100.29
3	70.23	0.42	8.92	2.00	0.06	6.09	5.88	2.76	1.95	0.10	1.51	99.92

**Валовый химический состав песчаников перми и триаса Бассейна Satpura  
[Ghosh et al., 2012]**

Образец	SiO <sub>2</sub>	TiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> *	MnO	MgO	CaO	Na <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	ппп	Сумма
D-38 (03-04)	86.05	0.17	7.94	0.06	0.03	0.25	1.17	2.43	0.27	0.11	2.17	100.65
D-42 (03-04)	84.36	0.13	10.19	0.56	0.03	0.39	0.65	0.75	0.10	0.08	4.69	101.93
D-36 (03-04)	87.95	0.32	5.82	0.99	0.05	0.21	0.30	0.09	0.02	0.05	2.61	98.41
D-20 (03-04)	87.54	0.62	5.99	1.86	0.06	1.87	0.29	0.13	0.01	0.05	2.55	100.97
P/D-23 (04-05)	85.91	0.18	9.83	0.79	0.19	0.46	0.29	0.08	0.21	0.09	3.42	101.45
P/D-22 (04-05)	86.52	0.12	8.03	1.15	0.09	0.45	0.48	0.08	0.09	0.25	2.66	99.92
P/D-21 (04-05)	83.26	0.15	11.20	0.90	0.15	1.11	0.42	0.10	0.51	0.11	3.99	101.90
P/D-18B (04-05)	80.31	0.19	11.36	3.93	0.15	1.12	0.51	0.09	0.10	0.11	4.48	102.35
PM-33B (05-06)	85.26	0.80	5.84	3.08	0.05	1.04	0.14	0.08	1.65	0.01	1.90	99.85
PM-31B (05-06)	90.91	0.19	3.82	0.98	0.04	0.25	0.09	0.05	0.83	0.01	1.10	98.27
PM-25 (05-06)	88.89	0.26	5.35	1.32	0.03	0.30	0.07	0.09	1.67	0.01	1.60	99.59
PM-3A (05-06)	88.36	0.17	5.09	0.58	0.08	0.26	0.11	0.19	2.48	0.01	1.27	98.60
P-12 (03-04)	95.55	0.26	2.83	0.23	0.03	0.09	0.18	0.08	0.76	0.12	0.62	100.75
S-46 (T1)	87.47	0.62	7.85	1.37	0.03	0.07	0.28	0.08	0.01	0.12	3.12	101.02
S-44 (T1)	92.96	0.34	4.73	0.51	0.02	0.08	0.15	0.07	0.02	0.09	1.74	100.71
S-42 (T1)	93.61	0.15	4.29	1.83	0.05	0.10	0.17	0.09	0.44	0.10	1.27	102.10
S-55 (T1)	78.64	0.08	13.04	3.25	0.10	0.76	0.26	0.09	2.14	0.10	3.67	102.13
S-56 (T1)	83.74	0.28	10.19	0.92	0.06	0.35	0.23	0.14	3.17	0.12	2.13	101.33
B-32 (94-95)	78.84	0.60	11.68	3.78	0.10	0.61	0.46	0.13	1.44	0.06	4.93	102.63
B-30 (94-95)	72.77	0.55	15.67	3.38	0.04	0.49	0.29	0.51	1.98	0.04	4.50	100.22
B-28 (94-95)	77.82	0.70	13.64	2.48	0.07	0.61	0.40	0.11	2.26	0.03	3.53	101.65
B-24 (94-95)	78.03	0.57	9.76	3.06	0.08	0.61	0.32	0.92	3.79	0.04	3.59	100.77
B-22 (94-95)	73.40	0.47	14.34	3.64	0.19	0.57	0.34	1.54	2.77	0.03	4.41	101.70
B-17 (94-95)	65.10	0.41	13.95	7.71	0.09	2.01	0.39	1.15	2.95	0.03	4.67	98.46
B-12 (94-95)	70.96	0.31	17.52	2.74	0.05	0.62	0.33	1.65	2.03	0.04	4.64	100.89
MO-32B (05-06)	71.69	0.68	14.52	3.74	0.03	0.44	0.19	0.10	2.86	0.05	4.74	99.04
MO-26B (05-06)	75.49	0.26	14.01	1.96	0.05	0.22	0.17	0.23	3.47	0.02	3.51	99.39
Mo-22 (05-06)	84.18	0.37	5.49	3.58	0.09	0.02	0.15	0.13	1.84	0.02	3.26	99.13
Mo-21 (05-06)	81.33	0.62	8.95	1.93	0.04	0.07	0.14	0.20	2.75	0.02	3.01	99.06
Mo-16 (05-06)	77.89	0.58	9.71	3.13	0.07	0.53	0.37	0.20	3.12	0.04	3.78	99.42
Mo-6A (05-06)	86.40	0.30	6.50	0.68	0.03	0.08	0.10	0.17	3.37	0.01	1.89	99.53
Mo-5B (05-06)	90.45	0.15	2.73	0.42	0.01	0.13	0.10	0.16	3.02	0.01	1.62	98.80
BR-3C (06-07)	78.33	0.76	12.92	2.61	0.05	0.60	0.26	0.08	1.87	0.04	3.50	101.02
BR-5 (06-07)	73.30	0.28	13.81	2.59	0.05	0.47	0.37	0.19	3.92	0.02	3.87	98.87
BR-8 (06-07)	72.63	0.37	13.24	4.60	0.05	0.91	0.16	0.19	3.12	0.03	4.43	99.73
BR-9B (06-07)	75.78	0.35	14.96	0.99	0.04	0.86	0.47	0.30	3.83	0.02	3.77	101.37
T1-27 (06-07)	79.19	0.35	9.70	2.29	0.05	0.74	0.45	2.85	2.34	0.04	2.76	100.76
T1-24 (06-07)	72.46	0.36	12.10	2.55	0.04	1.68	0.51	2.55	2.97	0.06	3.03	98.31
T1-23D (06-07)	84.67	0.30	6.45	2.80	0.07	0.49	0.28	1.67	2.68	0.03	1.17	100.61
T1-19B (06-07)	83.80	0.30	7.60	1.74	0.04	0.59	0.28	1.97	3.67	0.04	1.25	101.28
T1-16A (06-07)	81.03	0.38	8.14	2.74	0.06	0.96	0.70	2.57	2.34	0.05	2.00	100.97
T1-13 (06-07)	76.14	0.59	9.68	4.17	0.08	2.01	0.69	2.12	2.13	0.05	3.09	100.75
T1-3 (06-07)	74.14	0.48	10.57	3.24	0.05	2.36	0.84	3.22	2.43	0.10	2.59	100.02

Примечание. Приведены только анализы с ппп менее 5 мас. %.



**Валовый химический состав глинистых пород и алевролитов Центральной Индии  
[Ghosh, Sarkar, 2010]**

Образец	SiO <sub>2</sub>	TiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> *	MnO	MgO	CaO	Na <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	ппп	Сумма
PII (03-04)	58.66	0.76	20.85	7.35	0.05	1.09	0.34	0.09	4.60	0.03	6.11	99.94
PM17B (05-06)	60.56	0.67	19.23	5.70	0.10	1.58	0.61	0.26	4.87	0.03	7.22	100.84
PM11 (05-06)	60.33	0.69	19.35	5.89	0.09	1.73	0.62	0.39	4.62	0.04	6.11	99.87
PM2C (05-06)	62.72	0.74	17.96	4.01	0.05	2.29	0.40	0.09	4.60	0.04	5.24	98.12
BJ9 (04-05)	53.41	0.94	19.96	9.98	0.29	2.10	0.59	0.57	2.88	0.19	7.20	98.11
M04D (05-06)	63.23	0.98	25.33	1.57	0.02	0.56	0.18	0.10	2.34	0.04	7.45	101.79
TL25A (06-07)	59.72	0.66	14.08	5.63	0.08	3.16	3.49	1.28	3.93	0.12	7.72	99.86
TL21B (06-07)	59.17	0.74	15.02	7.06	0.08	3.01	1.36	2.03	3.60	0.14	6.10	98.32
TL20A (06-07)	60.38	0.76	16.52	6.08	0.12	2.82	0.71	0.58	4.25	0.13	8.14	100.49
TL9 (06-07)	58.85	0.72	14.77	6.43	0.07	3.55	2.69	1.34	3.83	0.13	8.06	100.44
TL1 (06-07)	59.21	0.74	15.36	7.72	0.07	3.61	0.71	0.87	3.96	0.11	8.03	100.40

Примечание. Приведены только анализы с ппп менее 8 мас. %.

**Валовый химический состав песчаников формации Sillakkudi [Bakkiaraj et al., 2010]**

Образец	SiO <sub>2</sub>	TiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> *	MnO	MgO	CaO	Na <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	ппп	Сумма
Sk-III	60.41	1.15	2.59	14.93	0.01	0.22	13.40	0.31	2.61	0.32	4.29	100.23
SK-IV	55.01	0.92	4.67	14.91	0.03	0.20	14.10	0.72	2.13	0.30	6.81	99.80
SK-V	60.57	1.16	1.81	14.40	0.05	0.26	13.10	0.55	2.60	0.33	6.10	100.93
PR-II	84.06	1.41	5.26	7.84	0.00	0.03	0.86	0.01	0.02	0.11	0.35	99.95
PR-II, 1	88.27	1.17	5.44	3.48	0.00	0.02	0.98	0.04	0.06	0.11	0.85	100.43
PR-III	89.93	1.19	6.12	1.28	0.00	0.02	0.80	0.01	0.23	0.11	0.43	100.12
PR-IV	81.59	1.00	3.08	12.04	0.00	0.02	0.78	0.02	0.10	0.17	0.49	99.29
PR-V	85.81	1.01	3.25	8.90	0.01	0.01	0.70	0.01	0.03	0.11	0.19	100.03
SK-II	73.71	1.61	1.44	0.08	0.03	0.19	11.90	0.48	2.18	0.28	8.45	100.34
SK-VI	75.61	1.07	1.10	0.12	0.01	0.19	13.50	0.53	1.98	0.27	6.54	100.93
Sk-XI	71.15	1.56	0.81	0.76	0.82	0.25	11.50	0.75	2.78	0.29	8.83	99.49
PR-I	90.46	1.32	1.24	4.98	0.00	0.04	0.70	0.04	0.12	0.11	0.87	99.88
PV	75.34	1.07	0.76	2.62	0.60	0.29	8.65	3.80	1.97	0.13	5.11	100.33
KP	61.82	0.47	1.24	2.88	0.21	0.27	18.05	1.16	3.99	0.17	10.03	100.28
VP-I	63.49	1.06	5.20	5.91	0.01	0.16	14.70	0.61	1.53	0.31	8.21	101.19
KN	69.37	0.98	8.91	1.72	0.03	0.29	10.21	1.52	0.72	0.25	7.13	101.13
KR	67.94	0.97	9.29	1.36	0.08	0.28	11.90	2.11	0.95	0.39	6.02	101.28
TM	63.19	0.97	6.59	2.15	0.18	0.25	16.61	1.77	0.77	0.26	8.21	100.95
SB	68.45	0.98	4.65	1.82	0.10	0.24	10.55	1.21	1.39	0.26	8.97	98.62
SK-I	77.18	1.38	4.34	0.37	0.01	0.26	8.30	0.31	2.66	0.15	5.13	100.09
Sk-VII	70.38	1.36	4.67	0.08	0.03	0.27	13.70	1.63	2.35	0.29	6.14	100.90
SK-1X	79.21	1.31	1.86	0.61	0.02	0.20	7.60	0.37	2.67	0.16	5.10	99.11
SK-X	70.24	1.06	2.27	0.12	0.61	0.26	13.90	0.63	3.26	0.29	6.98	99.62
SK-XII	68.97	1.17	3.67	1.04	0.81	0.27	13.10	1.29	3.83	0.31	6.01	100.47
KD	65.79	0.72	1.46	2.90	0.02	0.19	15.32	1.53	3.66	0.13	8.27	99.97
KK	68.61	0.99	3.40	1.70	0.13	0.29	11.86	3.20	4.21	0.35	6.20	100.95
MM	62.74	0.91	9.89	1.68	0.10	0.21	12.64	2.74	3.03	0.24	6.21	100.38
MM-I	61.82	0.91	9.62	1.52	0.09	0.21	12.43	2.72	3.45	0.29	6.07	99.13
KL	60.59	0.97	9.94	2.01	0.21	0.23	13.93	1.28	1.02	0.17	8.76	99.10
KY	61.95	0.96	10.70	1.53	0.08	0.36	12.32	1.04	0.74	0.31	10.08	100.07

**Валовый химический состав глинистых пород и алевролитов формации Тііи  
[Murphy et al., 2005]**

Образец	SiO <sub>2</sub>	TiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> *	MnO	MgO	CaO	Na <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	ппп	Сумма
TU-B	61.27	1.29	15.08	9.98	0.05	0.73	1.19	0.05	2.95	0.35	8.51	101.45
TU-C	61.86	1.17	14.98	8.63	0.05	0.91	0.84	0.02	3.47	0.26	7.12	99.31
TU-D	64.67	1.02	14.74	6.86	0.05	1.08	0.76	0.03	4.08	0.38	6.53	100.20
TU-E	65.89	0.91	16.01	4.73	0.03	0.97	0.54	0.04	3.95	0.24	6.47	99.77
TU-H	65.20	1.01	17.01	2.02	0.00	0.93	0.36	<0.01	4.45	0.05	7.68	98.71
TU-I	66.16	1.04	17.72	2.73	0.01	0.99	0.23	0.06	4.47	0.07	6.32	99.80
TU-L	56.04	0.88	20.18	6.73	0.02	1.14	0.45	0.14	4.96	0.21	9.24	99.98
TU-N	58.70	1.01	20.19	4.89	0.01	1.34	0.71	0.05	5.48	0.25	7.28	99.91

**Валовый химический состав песчаников надсерии Belt-Purcell [González-Álvarez, 2005]**

Образец	SiO <sub>2</sub>	TiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> *	MnO	MgO	CaO	Na <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	ппп	Сумма
1(1)Wh	70.30	0.59	14.98	5.07	0.05	1.53	0.24	1.41	3.55	0.06	2.20	100.10
2WhUSO	70.60	0.50	13.10	2.76	0.03	2.89	1.27	1.62	3.89	0.09	3.25	100.20
3(3)Wh	75.80	0.41	12.17	3.41	0.05	0.84	0.99	1.97	2.90	0.10	1.35	100.20
3(7)Wh	76.90	0.40	11.43	3.72	0.08	1.17	1.06	2.62	1.80	0.01	0.90	100.20
3(6)Wh	71.70	0.65	14.75	3.84	0.05	0.96	1.00	1.95	3.28	0.07	1.65	100.10
4WhUSO	84.80	0.22	5.58	2.01	0.17	1.52	1.24	0.59	1.43	0.05	2.40	100.10
3(8)Wh	77.80	0.39	11.56	2.49	0.07	0.93	0.86	1.37	2.99	0.04	1.50	100.20
4(2)Wh	95.90	0.07	1.84	0.65	0.01	0.38	0.09	0.30	0.39	0.04	0.35	100.10
8(2)Wh	80.10	0.51	10.15	2.62	0.02	1.11	0.18	2.22	1.86	0.05	1.45	100.40
8 Wh USO	74.40	0.67	12.60	3.79	0.03	1.76	0.09	1.99	2.58	0.04	2.10	100.20
7 Wh USO	68.30	0.58	13.80	3.93	0.01	4.32	0.86	1.45	3.65	0.07	3.05	100.20
11(1)Wh	78.90	0.47	8.35	3.19	0.01	2.77	0.60	0.03	3.02	0.13	2.30	100.20
11(2)Wh	72.30	0.52	10.18	3.11	0.02	3.78	1.76	0.08	3.95	0.08	4.45	100.30
FT(3)PU	90.10	0.14	4.42	1.65		1.66	0.05	0.07	0.96		1.15	100.20
16(5)PU	75.50	0.47	12.39	2.78	0.02	1.85	0.19	1.89	2.85	0.12	1.95	100.10
16(4)PU	70.90	0.58	14.98	4.13	0.04	1.49	0.22	1.10	3.89	0.05	2.55	100.20
21PuUSO	78.90	0.46	9.88	2.95		1.18	0.44	2.04	2.51	0.03	1.75	100.20
19(2)PU	71.40	0.58	16.17	1.59		1.69	0.19	0.27	5.45	0.09	2.60	100.20
31G1USO	76.30	0.47	9.68	4.11	0.02	2.57	0.58	1.21	2.83	0.09	2.30	100.20
26(5)G1	97.24	0.04	1.22	0.24		0.20	0.03	0.01	0.77		0.25	100.00
26(3)G1	96.82	0.03	1.17	0.21		0.32	0.15	0.03	0.57	0.02	0.20	99.50
USO 23	91.20	0.06	4.65	0.16	0.03	0.13	0.12	1.73	1.36	0.02	0.30	99.70
26 G1 Uso	96.40	0.09	1.12	0.34	0.02	0.43	0.27	0.29	0.22	0.02	0.85	100.00
USO 8	92.00	0.04	2.14	1.34	0.05	1.46	0.80	0.25	0.34	0.05	1.65	100.10
USO 9	90.50	0.04	3.29	1.38	0.06	1.53	0.55	0.53	0.69	0.08	1.60	100.20
USO 7	97.50	0.02	0.92	0.37	0.18	0.09	0.18	0.26	0.20	0.06	0.30	100.00
USO 22	85.80	0.06	6.88	0.72	0.02	1.27	0.53	2.19	1.48	0.03	1.25	100.20
USO 18	90.10	0.03	5.34	0.42	0.01	0.92	0.13	1.06	1.65	0.05	0.65	100.30
33(2)G1	88.90	0.22	5.83	0.69		0.70	0.12	1.22	1.70	0.01	0.65	100.10
33(1)G1	82.60	0.21	8.35	1.88		1.25	0.13	1.47	2.19	0.02	1.30	99.60
33G1USO	80.70	0.31	9.73	1.79		1.26	0.32	1.36	2.98	0.15	1.50	100.20

**Валовый химический состав глинистых пород и алевролитов надсерии Belt-Purcell  
[González-Álvarez, 2005]**

Образец	SiO <sub>2</sub>	TiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> *	MnO	MgO	CaO	Na <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	ппп	Сумма
26(6)G1	67.54	0.51	14.02	5.18	0.03	2.84	0.39	0.07	6.55	0.14	2.90	100.10
26(4)G1	58.63	0.62	19.19	6.12	0.04	3.44	0.15	0.28	7.89	0.10	3.70	100.10
USO 27	66.70	0.55	15.70	4.91	0.52	2.74	0.33	0.74	5.21	0.08	3.15	100.60
USO 24	65.00	0.61	13.70	7.23	0.08	4.02	0.73	1.13	3.80	0.19	3.55	100.00
USO 6	66.70	0.62	16.30	4.37	0.02	2.77	0.26	1.25	4.92	0.09	2.75	100.00
35G1USO	62.00	0.72	19.00	6.70	0.06	2.03	0.20	1.48	4.57	0.05	2.85	99.70
34(1)G1	66.00	0.57	15.01	5.33	0.04	3.77	0.43	1.71	4.07	0.11	3.00	100.20
31(2)G1	60.10	0.61	15.50	8.95	0.03	5.47	0.23	0.98	3.75	0.14	4.30	100.10
31(1)G1	62.40	0.60	14.57	8.70	0.03	5.37	0.19	1.02	3.33	0.09	3.85	100.30
30(1)G1	62.30	0.59	15.22	5.45	0.08	3.51	1.37	0.77	5.70	0.10	4.40	99.60
22(2)PU	66.20	0.63	18.27	3.77	0.00	1.84	0.13	0.45	5.34	0.06	3.30	100.10
21(1)Pu	61.00	0.85	18.82	6.79	0.01	2.01	0.16	1.18	6.08	0.10	3.00	100.20
16PuUSO	62.00	0.49	12.80	4.34	0.10	7.73	2.67	3.63	1.12	0.09	4.30	99.30
14(1)Pu	65.10	0.57	15.43	8.71	0.06	2.23	0.18	1.08	3.40	0.12	3.15	100.20
FT(2)Pu	55.90	0.40	10.11	3.46	0.07	7.54	10.87	3.14	3.71	0.08	4.75	100.20
FT(1)Pu	59.50	0.96	19.69	5.85	0.02	4.32	0.12	0.24	5.12	0.10	4.05	100.10
4(1)Wh	63.30	0.64	17.68	6.01	0.03	2.64	0.21	1.06	5.23	0.14	3.00	100.10
3(5)Wh	63.90	0.70	18.17	4.80	0.16	2.35	0.57	1.25	5.12	0.05	2.95	100.20
3(2)Wh	63.10	0.82	18.99	4.98	0.07	1.12	0.86	2.14	5.31	0.02	2.50	100.10
3(1)Wh	67.00	0.56	15.77	4.97	0.07	3.47	1.03	1.48	3.57	0.11	2.10	100.30
1(2)Wh	61.80	0.64	18.55	5.28	0.07	2.14	1.41	3.31	3.66	0.05	2.05	99.10
WhUSO	65.90	0.68	17.10	5.52	0.03	1.76	0.22	1.49	4.30	0.07	2.90	100.10

**Валовый химический состав песчаников серий Oronto и Bayfield [Cullers, Berendsen, 1998]**

Образец	SiO <sub>2</sub>	TiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> *	MnO	MgO	CaO	Na <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O	ппп	Сумма
10b	92.50	0.09	3.90	0.20	0.01	0.05	0.02	0.12	2.36	0.62	99.87
13	84.90	0.63	6.12	2.34	0.01	0.01	0.17	0.19	4.35	0.93	99.70
2	99.00	0.04	0.16	0.08	0.01	0.08	0.02	0.00	0.00	0.18	99.57
11	97.10	0.26	1.36	0.14	0.01	0.02	0.11	0.15	0.12	0.53	99.80
22a	87.60	0.16	5.80	0.32	0.01	0.23	0.02	0.11	4.16	0.96	99.37
23a	81.90	0.38	8.20	1.29	0.03	0.82	0.39	0.12	4.69	1.78	99.60
6c	78.50	0.69	7.60	0.97	0.09	2.38	1.58	0.07	2.99	4.40	99.27
7a	83.20	0.26	7.10	1.65	0.03	1.21	0.18	0.09	3.53	1.96	99.21
7b	82.00	0.24	7.80	1.45	0.02	1.34	0.18	0.08	3.47	2.18	98.76
7c	84.90	0.31	3.30	0.67	0.05	1.08	3.83	0.03	1.11	4.24	99.52
12a	94.50	0.05	1.90	0.10	0.00	0.04	0.05	0.12	1.93	0.31	99.00
12b	87.60	0.41	5.20	1.76	0.01	0.30	0.10	0.07	3.19	1.30	99.94
14a	62.00	1.80	11.70	11.83	0.09	2.66	1.19	1.80	2.77	3.07	98.91
14c	64.60	0.92	10.20	7.15	0.10	1.67	5.09	1.52	3.41	5.68	100.34
28	62.20	1.40	12.50	8.45	0.09	2.45	4.68	1.90	1.79	4.83	100.29
16a	73.00	0.96	9.30	4.76	0.05	1.79	3.54	0.18	1.51	4.45	99.54
16b	56.80	2.16	12.90	11.65	0.15	4.10	3.81	1.94	1.15	4.73	99.39
16c	53.50	1.54	14.50	12.04	0.15	4.84	3.78	1.85	1.48	5.99	99.67
18a	56.40	0.66	10.70	6.11	0.07	1.25	9.20	2.64	4.29	7.53	98.85
19	59.00	1.64	13.10	8.70	0.11	4.79	0.93	2.27	4.22	3.91	98.67
Lm-3	65.10	1.07	13.00	7.97	0.05	2.23	0.41	0.08	5.30	3.95	99.16
M-2	95.00	0.08	2.20	0.13	0.01	0.44	0.11	0.01	1.09	0.60	99.67
M-5	71.10	1.02	13.70	2.16	0.05	1.94	0.49	0.11	5.20	3.47	99.24

## Валовый химический состав глинистых пород и алевролитов айской свиты Южного Урала

Образец	SiO <sub>2</sub>	TiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> *	MnO	MgO	CaO	Na <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	ппп	Сумма
817-4-3	64.93	0.58	16.80	5.51	0.01	1.60	0.27	1.66	4.64	0.26	3.00	99.26
817-4-28	64.80	0.70	15.70	5.79	0.02	0.40	0.27	1.49	8.85	0.15	2.08	100.25
817-4-16	62.00	0.74	17.00	7.75	0.02	1.60	0.27	1.66	5.80	0.16	3.60	100.60
816-11-9	69.50	0.74	15.00	4.55	0.03	0.20	0.50	2.36	3.53	0.00	3.52	99.93
816-11-4	68.30	0.74	14.68	4.81	0.04	1.20	0.89	2.54	2.71	0.00	3.70	99.61
816-10-3	65.70	0.74	15.00	5.26	0.04	2.61	0.80	2.09	3.35	0.30	4.06	99.95
815-10-7	70.00	0.38	15.30	3.23	0.02	1.00	0.50	0.47	5.63	0.13	2.94	99.60
815-10-2	65.70	0.80	16.00	4.02	0.03	2.60	0.70	1.72	4.60	0.16	3.38	99.71
815-9-8	68.50	0.72	14.70	3.46	0.02	0.96	0.70	2.23	4.24	0.16	4.14	99.83
815-9-3	65.00	0.76	16.70	5.42	0.05	0.60	0.27	2.67	5.49	0.16	2.87	99.99
814-4-4	60.50	0.60	14.50	4.35	0.02	3.00	4.24	1.19	5.47	0.14	6.73	100.74
26-40	63.56	0.86	16.71	4.87	0.05	2.90	0.96	1.81	4.52	0.13	3.87	100.24
26-34	68.53	0.69	14.32	2.89	0.03	2.30	1.26	2.48	3.28	0.21	4.04	100.03
28-41	66.23	0.72	13.44	5.76	0.04	2.41	2.52	2.40	2.83	0.12	3.38	99.85
28-37	60.84	0.90	16.97	6.56	0.05	2.62	1.40	1.60	5.60	0.13	3.10	99.77

## Валовый химический состав песчаников машакской свиты Южного Урала

Образец	SiO <sub>2</sub>	TiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> *	MnO	MgO	CaO	Na <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	ппп	Сумма
805-3-3	93.30	0.23	2.30	2.60	0.01	0.76	0.01	0.01	0.61	0.01	0.35	100.10
804-1-2	86.00	0.53	6.00	4.97	0.01	0.20	0.20	0.07	1.38	0.01	1.02	100.32
802-1-6	78.00	0.53	8.70	6.16	0.02	1.53	0.56	0.06	1.43	0.05	2.38	99.10
804-3-5	97.53	0.13	0.70	1.19	0.01	0.01	0.14	0.09	0.31	0.01	0.02	100.05
805-1-3	90.00	0.38	4.60	3.05	0.01	0.01	0.30	0.05	1.21	0.01	0.84	100.41
805-1-7	95.70	0.17	1.30	1.79	0.01	0.01	0.27	0.01	0.33	0.01	0.10	99.58
756-5	95.82	0.07	0.78	2.00	0.01	0.10	0.09	0.01	0.15	0.02	0.25	99.31
758-2	94.75	0.12	1.80	1.70	0.01	0.10	0.14	0.01	0.40	0.06	0.25	99.35
П-12-4	86.52	0.14	7.88	1.62	0.01	0.75	0.64	0.07	2.43	0.01	0.40	100.40
П-12-5	91.04	0.22	3.43	2.83	0.01	1.05	0.64	0.06	0.74	0.13	0.30	100.30
П-12-6	80.13	0.65	12.86	1.70	0.01	1.40	0.15	0.32	2.75	0.01	0.50	100.40
759-10	76.62	0.64	10.01	7.04	0.03	1.29	0.16	0.11	1.47	0.09	2.04	99.51
П-5-6	93.79	0.27	2.20	1.79	0.01	0.30	1.13	0.10	0.50	0.04	0.20	100.19
756-29	94.03	0.14	1.42	2.92	0.01	0.10	0.14	0.01	0.24	0.02	0.25	99.29
П-5-8	94.63	0.10	1.24	2.20	0.03	1.21	0.70	0.01	0.04	0.02	0.20	100.21
П-5-10	93.15	0.27	3.10	1.49	0.01	0.35	0.55	0.06	1.03	0.05	0.30	100.30
759-23	89.12	0.27	3.27	3.08	0.01	0.59	0.07	0.05	0.40	0.04	2.59	99.50
П-5-7	81.10	0.53	8.84	4.58	0.01	0.52	0.71	0.10	2.74	0.07	0.20	99.20
П-5-4	76.18	0.41	11.19	4.81	0.05	2.10	1.50	0.11	3.69	0.12	0.50	100.50
756-3	95.61	0.12	0.97	1.89	0.01	0.10	0.08	0.01	0.26	0.04	0.25	99.35
П-12-2	82.13	0.29	9.92	1.83	0.01	1.36	0.78	0.16	3.51	0.05	0.50	100.50
П-12-3	90.42	0.10	3.62	3.51	0.02	0.45	0.64	0.06	1.20	0.01	0.30	100.30
759-43	95.25	0.14	1.03	2.23	0.01	0.10	0.07	0.01	0.25	0.02	0.25	99.37
759-18	91.15	0.15	3.18	3.40	0.01	0.42	0.13	0.06	0.53	0.02	0.25	99.31
759-21	87.72	0.35	4.80	4.52	0.01	0.75	0.08	0.07	0.69	0.07	0.25	99.32
759-33	94.83	0.14	1.13	2.56	0.01	0.10	0.07	0.01	0.24	0.02	0.25	99.37
П-12-1	88.66	0.32	6.22	1.05	0.01	0.94	0.35	0.06	2.41	0.01	0.40	100.40
П-12-7	95.30	0.24	1.41	2.41	0.03	0.09	0.11	0.20	0.25	0.11	0.20	100.20
756-27	86.04	0.65	5.77	4.15	0.01	0.76	0.11	0.11	1.07	0.04	0.79	99.51
805-3-3А	89.47	0.29	4.83	3.08	0.01	0.23	0.06	0.08	0.81	0.04	0.48	99.30
805-3-1	94.43	0.24	1.96	2.08	0.02	0.17	0.06	0.12	0.19	0.06	0.32	99.64

Образец	SiO <sub>2</sub>	TiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> *	MnO	MgO	CaO	Na <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	ппп	Сумма
805-1-1	90.40	0.27	4.51	2.83	0.02	0.09	0.09	0.12	0.75	0.08	0.56	99.64
805-1-6	87.50	0.39	5.87	3.43	0.01	1.53	0.06	0.08	1.06	0.09	0.71	100.64
805-1-4	89.05	0.35	5.26	2.69	0.01	1.55	0.04	0.09	0.88	0.03	0.60	100.48
805-2-3	89.27	0.28	2.71	5.62	0.01	1.07	0.04	0.08	0.41	0.08	0.95	100.46
805-3-10	93.66	0.17	2.33	3.13	0.01	0.54	0.06	0.06	0.33	0.04	0.43	100.69
805-3-5	87.53	0.46	6.99	2.70	0.01	0.79	0.04	0.08	1.37	0.03	0.62	100.55
805-3-4	89.38	0.44	5.55	2.98	0.01	0.64	0.05	0.07	0.97	0.04	0.53	100.62
802-4-2	81.19	0.46	9.69	4.78	0.02	2.61	0.09	0.07	1.40	0.07	0.18	100.50
805-3-8	91.75	0.26	4.30	2.62	0.01	0.78	0.04	0.09	0.80	0.03	0.24	100.84
805-1-7a	93.01	0.19	2.76	2.30	0.01	1.54	0.03	0.09	0.27	0.05	0.37	100.52
805-1-2	76.53	0.63	12.58	5.31	0.01	1.37	0.04	0.08	2.68	0.07	1.36	100.58
805-3-11	85.08	0.40	4.32	5.59	0.02	3.82	0.10	0.09	0.74	0.05	0.63	100.75
803-1-4	72.90	0.69	14.78	5.37	0.01	0.90	0.11	0.30	3.88	0.06	1.63	100.61
802-4-4	71.66	0.48	14.22	6.95	0.02	2.73	0.06	0.26	2.44	0.03	1.91	100.76
803-1-2	61.11	1.00	21.88	5.99	0.01	1.75	0.05	0.24	6.76	0.01	2.18	100.98
803-1-3	69.85	0.67	17.24	4.73	0.01	1.82	0.20	0.26	4.19	0.03	1.85	100.87
802-4-1	82.25	0.35	8.52	5.28	0.02	1.63	0.06	0.26	1.12	0.05	1.20	100.75
802-4-10	68.93	0.88	16.79	6.22	0.02	1.77	0.17	0.26	3.34	0.12	2.26	100.77
802-4-7	69.74	0.85	15.33	7.69	0.05	2.34	0.06	0.27	1.66	0.11	2.48	100.60
802-4-3	76.30	0.69	13.79	4.80	0.02	0.84	0.04	0.26	2.29	0.08	1.50	100.62
803-1-1	61.65	1.14	21.22	7.51	0.01	0.82	0.05	0.21	6.20	0.04	2.23	101.10
802-4-6	73.62	1.08	12.33	7.58	0.03	1.73	0.07	0.20	1.69	0.10	2.13	100.56
805-3-6	90.64	0.35	4.80	2.56	0.01	0.58	0.03	0.27	0.84	0.01	0.57	100.67
805-3-2	89.65	0.28	3.04	5.67	0.02	0.45	0.04	0.07	0.35	0.01	0.44	99.94
805-1-5	89.32	0.28	4.98	3.25	0.01	1.01	0.04	0.08	0.85	0.02	0.60	100.36
805-1-3a	84.52	0.48	9.35	3.48	0.01	0.51	0.06	0.25	0.96	0.03	0.93	100.59
805-3-9	90.61	0.25	4.85	2.90	0.01	0.09	0.04	0.13	0.84	0.02	0.52	100.17
1	76.18	0.41	11.19	4.80	0.05	2.10	1.50	0.11	3.69	0.12	0.24	100.39
2	81.87	0.27	3.90	11.50	0.02	0.91	0.70	0.07	0.79	0.05	0.22	100.30
3	93.79	0.27	2.21	1.80	0.01	0.30	1.13	0.10	0.50	0.04	0.23	100.38
4	81.10	0.53	8.84	5.40	0.01	0.52	0.71	0.10	2.74	0.07	0.44	100.46
5	94.63	0.10	1.24	2.20	0.03	1.21	0.70	0.00	0.04	0.02	0.34	100.51
6	90.42	0.30	3.72	1.60	0.02	0.51	1.40	0.05	1.20	0.86	0.43	100.51
7	93.15	0.27	3.10	1.50	0.01	0.35	0.55	0.06	1.03	0.05	0.45	100.52
8	88.66	0.32	6.22	1.10	0.01	0.94	0.35	0.06	2.41	0.01	0.28	100.36
9	82.13	0.29	9.92	1.80	0.01	1.36	0.78	0.16	3.51	0.05	0.30	100.31
10	90.42	0.10	3.62	3.50	0.02	0.45	0.64	0.06	1.20	0.01	0.23	100.25
11	86.52	0.14	7.88	1.60	0.01	0.75	0.64	0.07	2.43	0.01	0.54	100.59
12	91.04	0.22	3.43	2.80	0.01	1.05	0.64	0.06	0.74	0.13	0.43	100.55
13	80.13	0.65	12.86	1.70	0.01	1.40	0.15	0.32	2.75	0.01	0.53	100.51
14	95.30	0.24	1.41	2.40	0.03	0.09	0.11	0.20	0.25	0.11	0.10	100.24
16	90.00	0.38	4.60	3.10			0.30	0.05	1.21		0.84	100.48
17	95.70	0.17	1.30	1.80			0.27	0.01	0.33		0.10	99.68
18	97.53	0.13	0.70	1.20			0.14	0.09	0.31		0.02	100.12
19	94.41	0.34	2.50	1.30			0.20	0.04	0.62		0.42	99.83
20	86.00	0.53	6.00	5.00		0.20	0.20	0.07	1.38		1.02	100.40
1/263	65.88	0.86	20.08	5.65	0.03	0.97	0.17	1.92	2.85	0.07	2.40	100.88
40/26	66.62	0.85	19.67	5.23	0.01	0.74	0.09	0.42	5.04	0.07	2.10	100.84
40/142	89.21	0.40	6.54	1.78	0.01	0.09	0.04	0.27	1.23	0.05	0.68	100.21
40/90	72.51	1.18	16.65	3.52	0.02	0.07	0.11	0.26	4.43	0.06	1.98	100.72
40/191	82.03	0.56	10.48	2.66	0.02	0.30	0.21	0.12	2.47	0.11	1.51	100.45
40/269	64.54	1.03	23.45	1.97	0.01	0.08	0.09	0.38	6.70	0.02	2.44	100.64
42/84	71.98	0.67	15.26	5.31	0.02	1.26	0.12	0.09	4.15	0.04	1.71	100.53

Примечание. Приведены анализы с ппп менее 5 мас. %.

**Валовый химический состав глинистых пород и алевролитов машакской свиты  
Южного Урала**

Образец	SiO <sub>2</sub>	TiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> *	MnO	MgO	CaO	Na <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	ппп	Сумма
801-1-1	63.00	0.82	19.00	6.66	0.01	1.48	0.56	0.96	3.42	0.12	4.61	100.17
801-1-2	64.00	0.82	18.40	7.25	0.01	1.57	0.61	0.65	3.00	0.07	4.38	100.25
801-1-6	67.50	0.72	15.80	7.35	0.01	2.00	0.95	0.31	2.47	0.07	3.90	100.55
802-5-1	60.60	0.92	20.50	7.94	0.01	1.68	1.20	0.35	3.53	0.05	4.78	100.91
756-20	65.55	1.12	15.59	8.94	0.01	1.07	0.12	0.20	4.13	0.05	2.74	99.53
П-12-15	67.30	0.81	17.21	7.21	0.02	1.76	0.72	0.14	4.96	0.20	0.70	100.70
756-21	64.64	1.25	14.45	11.79	0.01	0.82	0.07	0.20	4.15	0.14	1.98	99.51
П-12-14	65.92	0.58	17.98	6.22	0.01	2.18	0.44	0.15	6.45	0.11	0.90	100.90
758-35	57.00	1.01	20.65	9.21	0.11	3.13	0.10	0.32	3.41	0.10	4.46	99.51
П-12-20	62.23	0.71	20.62	6.00	0.02	2.73	0.68	0.18	6.87	0.14	1.00	101.00
758-5	62.32	1.62	17.41	9.70	0.01	1.13	0.21	0.29	4.41	0.15	2.25	99.51
П-12-24	59.72	0.75	19.64	12.17	0.03	1.11	0.12	0.26	6.20	0.20	0.90	100.90
756-6	53.79	1.13	23.03	8.46	0.01	1.75	0.19	0.27	6.82	0.08	3.97	99.51
759-28	54.96	1.48	21.30	10.32	0.01	1.27	0.23	0.29	6.08	0.13	3.42	99.50
П-12-19	63.34	0.76	20.52	5.73	0.02	2.52	0.59	0.11	6.71	0.04	1.00	101.00
П-12-16	69.25	0.97	19.03	2.88	0.01	1.55	0.54	0.12	5.61	0.15	0.70	100.70
П-12-17	63.16	0.88	19.88	7.10	0.02	1.68	0.59	0.12	6.70	0.03	0.90	100.90
П-12-18	66.33	0.77	18.61	5.39	0.01	1.66	0.73	0.16	6.46	0.03	0.80	100.80
758-13	66.20	0.70	15.98	7.98	0.02	1.69	0.18	0.96	2.72	0.13	2.92	99.49
805-2-4	72.75	0.90	16.31	4.08	0.01	0.87	0.08	0.07	3.20	0.08	2.09	100.38
802-4-8	59.77	1.09	23.94	6.83	0.04	1.18	0.10	0.29	4.00	0.12	3.58	100.97
805-3-7	81.02	0.55	10.88	3.98	0.01	0.37	0.06	0.12	2.21	0.07	1.21	100.49
802-4-9	72.41	0.87	14.18	6.81	0.03	1.79	0.10	0.08	2.18	0.10	2.12	100.57
802-2-2	58.63	1.27	18.76	9.14	0.03	4.09	0.15	1.19	4.45	0.15	3.09	100.97
802-2-1	57.67	1.25	20.36	9.88	0.04	2.61	0.12	0.26	5.05	0.15	3.34	100.76
802-5-3	59.47	1.13	21.28	7.15	0.03	4.29	0.06	0.25	3.58	0.09	3.73	101.06
А-111	59.13	0.91	20.35	9.06	0.04	2.33	0.09	0.80	3.63	0.08	3.84	100.25
А-114	58.18	0.70	18.59	7.90	0.06	3.35	0.52	0.55	4.45	0.12	4.80	99.22
1/213	62.76	0.74	19.72	6.66	0.04	2.73	0.16	1.27	4.29	0.07	2.42	100.87
40/298	64.36	1.07	22.24	1.83	0.01	1.38	0.10	0.38	6.60	0.01	3.01	101.18
41/266	57.73	0.98	18.61	8.31	0.06	4.90	0.67	0.09	5.22	0.08	3.86	100.43

**Валовый химический состав метатерригенных пород аршинской серии Южного Урала**

Образец	SiO <sub>2</sub>	TiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> *	MnO	MgO	CaO	Na <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>
3631-11	77.04	0.41	12.27	4.56	0.01	1.40	0.15	0.45	2.18	0.14
3631-12	75.15	0.48	14.77	3.48	0.02	0.84	0.14	1.00	2.75	0.12
3631-13	70.27	0.54	16.75	4.16	0.03	1.04	0.41	1.00	3.05	0.23
3631-14	72.04	0.49	15.96	3.56	0.02	0.57	0.20	1.35	2.82	0.12
3635	93.25	0.09	3.55	0.72	0.01	0.09	0.10	0.81	0.47	0.08
3636	89.79	0.22	4.36	1.64	0.02	0.09	0.11	1.20	0.20	0.07
3636-1	93.55	0.05	3.88	0.45	0.01	0.09	0.10	0.45	0.58	0.06
3636-2	93.05	0.06	3.90	0.43	0.01	0.09	0.09	0.70	0.59	0.04
3636-6	81.65	0.30	7.97	3.03	0.03	1.05	0.17	1.85	0.55	0.12
3636-4	94.74	0.06	2.99	0.51	0.01	0.09	0.08	0.35	0.49	0.02
3636-7	85.95	0.34	7.65	2.19	0.02	0.21	0.19	1.08	0.63	0.11
3638	68.18	1.07	15.08	5.56	0.03	3.51	0.17	1.27	3.29	0.09
3638-1	63.90	0.69	16.87	8.02	0.04	2.52	0.23	1.08	3.81	0.12
3638-3	65.38	0.76	17.51	6.27	0.05	1.70	0.23	1.08	3.86	0.16
3638-4	64.72	0.77	16.56	5.75	0.04	2.31	2.65	1.35	3.99	0.34
3648	83.42	0.23	8.11	3.02	0.03	0.08	0.15	2.43	0.84	0.11
3648-2	63.26	0.62	17.89	8.08	0.04	2.49	0.15	2.43	2.06	0.16
3648-3	92.14	0.51	3.26	1.56	0.02	0.08	0.09	1.05	0.07	0.06
3648-4	68.49	0.56	12.81	8.80	0.03	2.06	0.29	2.70	2.85	0.26
3649	74.92	0.43	13.27	3.38	0.04	0.65	0.18	2.50	2.30	0.16
3649-1	74.22	0.48	13.96	3.24	0.04	1.02	0.23	2.20	3.31	0.16
3649-2	71.11	0.54	16.86	4.32	0.02	0.68	0.15	1.08	3.58	0.14
3649-4	94.06	0.46	1.82	1.38	0.01	0.08	0.08	0.81	0.13	0.05
3649-9	94.92	0.24	1.91	0.76	0.01	0.08	0.08	0.81	0.24	0.08
3650	96.20	0.19	1.74	0.27	0.01	0.08	0.08	0.80	0.14	0.05
3650-1	94.83	0.35	2.45	0.30	0.01	0.08	0.08	0.50	0.30	0.04
3653	88.05	0.20	6.73	1.06	0.04	0.08	0.18	1.00	0.78	0.05
3654-3	58.87	0.78	23.04	7.41	0.02	1.64	0.14	0.81	4.85	0.13

**Валовый химический состав песчаников Бассейна Douala [Nguetchoua et al., 2017]**

Образец	SiO <sub>2</sub>	TiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> *	MnO	MgO	CaO	Na <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	ппп	Сумма
MTR1	84.10	0.12	11.00	0.17	0.04	0.06	0.01	0.05	2.11	0.02	3.40	101.08
TJC3	67.30	0.39	13.10	2.61	0.07	1.24	1.72	0.14	5.83	0.09	7.01	99.50
TJC5	77.80	0.19	11.70	0.97	0.01	0.10	0.02	0.14	4.39	0.05	2.91	98.28
BB5	79.80	1.07	8.03	6.22	0.02	0.06	0.01	0.06	0.63	0.12	4.51	100.53
BB1	76.80	1.07	13.05	3.54	0.01	0.09	0.03	0.03	0.13	0.12	6.09	100.96

**Валовый химический состав глинистых пород и алевролитов Бассейна Douala [Nguetchoua et al., 2017]**

Образец	SiO <sub>2</sub>	TiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> *	MnO	MgO	CaO	Na <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	ппп	Сумма
MTR5	62.20	0.91	17.15	5.72	0.02	1.46	0.31	0.11	7.50	0.12	6.14	101.64
TJC1	56.90	0.96	16.60	7.52	0.01	1.58	0.39	0.10	7.01	0.15	7.15	98.37
TJC2	61.50	0.75	14.90	3.56	0.09	1.87	1.71	0.11	6.45	0.13	7.77	98.84
TJC4	62.10	1.21	19.40	2.49	0.01	0.93	0.04	0.11	6.60	0.21	6.39	99.49
MTFb	70.80	0.62	15.10	1.75	0.01	0.81	0.23	0.13	7.19	0.10	4.37	101.11

**Валовый химический состав песчаников серии Upper Oranjemund [Basei et al., 2005]**

Образец	SiO <sub>2</sub>	TiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> *	MnO	MgO	CaO	Na <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	ппп	Сумма
1	73.47	0.60	11.67	4.09	0.06	1.75	0.48	2.51	2.40	0.14	2.09	99.26
2	77.12	0.53	10.38	3.71	0.04	1.27	0.65	1.96	2.11	0.14	1.94	99.85
3	73.87	0.56	11.26	4.12	0.07	1.89	0.64	2.30	1.98	0.14	2.34	99.17
4	73.83	0.55	10.81	4.10	0.05	1.62	0.91	2.24	1.90	0.14	2.49	98.64
5	76.68	0.51	10.85	3.75	0.04	1.42	0.56	2.46	2.14	0.13	1.87	100.41
6	82.24	0.47	8.34	2.90	0.04	0.89	0.78	1.79	2.09	0.11	1.38	101.03
7	75.43	0.59	10.77	3.75	0.04	1.71	0.54	2.69	1.90	0.14	1.83	99.39
8	75.35	0.60	10.76	3.79	0.05	1.52	0.61	1.81	3.02	0.15	1.98	99.64
9	77.41	0.60	10.55	3.97	0.04	1.56	0.24	1.83	2.88	0.15	1.49	100.72
10	75.80	0.58	10.39	3.79	0.06	1.47	1.35	1.82	2.75	0.14	2.35	100.50
11	77.06	0.52	10.34	3.42	0.05	1.49	0.32	2.38	2.19	0.13	1.48	99.38
12	74.34	0.63	11.78	4.17	0.07	1.74	0.27	2.75	2.15	0.17	1.66	99.73
13	76.45	0.58	10.68	3.62	0.05	1.44	0.51	2.40	2.33	0.16	1.38	99.60
14	63.12	0.73	15.87	6.71	0.06	3.27	0.29	1.34	3.65	0.16	3.6	98.80
15	65.63	0.83	14.99	6.36	0.06	2.83	0.30	1.76	4.13	0.22	2.67	99.78

**Валовый химический состав глинистых пород и алевролитов серии Upper Oranjemund [Basei et al., 2005]**

Образец	SiO <sub>2</sub>	TiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> *	MnO	MgO	CaO	Na <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	ппп	Сумма
1	69.28	0.67	12.13	5.53	0.05	2.13	1.47	2.49	2.55	0.20	3.35	99.85
2	71.53	0.73	11.72	4.63	0.09	2.09	1.08	2.99	1.83	0.19	2.61	99.49
3	71.29	0.66	11.30	4.47	0.10	2.12	1.99	2.83	1.61	0.16	3.35	99.88
4	54.02	0.88	19.58	7.90	0.08	5.15	0.26	2.72	4.07	0.19	4.33	99.18
5	66.43	0.93	14.13	6.02	0.07	2.63	0.59	2.61	2.93	0.25	2.89	99.48
6	69.78	0.75	13.08	6.12	0.08	2.70	0.23	2.44	2.41	0.18	2.58	100.35
7	71.97	0.90	12.34	5.86	0.12	2.50	0.26	2.53	2.19	0.20	2.32	101.19
8	58.38	0.83	18.08	8.68	0.04	3.36	0.26	2.10	3.86	0.18	3.56	99.33
9	60.92	0.77	16.30	9.11	0.07	3.84	0.25	1.79	2.87	0.18	3.41	99.51
10	59.67	0.93	18.57	8.20	0.09	4.41	0.25	1.43	3.62	0.18	4.09	101.44
11	65.33	0.87	14.88	7.05	0.07	3.72	0.24	1.39	2.71	0.18	3.23	99.67
12	54.99	0.78	19.30	9.94	0.06	4.00	0.23	0.66	4.47	0.16	4.27	98.86
13	58.66	0.86	17.93	8.67	0.06	3.88	0.28	2.15	3.55	0.21	3.53	99.78
14	56.80	0.84	18.41	9.11	0.07	4.39	0.32	1.28	4.02	0.17	4.18	99.59
15	57.54	0.83	17.95	9.60	0.06	3.65	0.25	1.67	3.67	0.18	3.66	99.06
16	59.23	0.80	17.71	7.41	0.13	4.01	0.19	1.34	4.37	0.12	4.11	99.42
17	60.33	0.84	17.40	7.68	0.08	3.46	0.25	1.87	4.07	0.18	3.66	99.82
18	68.68	0.68	13.49	5.69	0.06	2.65	0.34	1.43	3.88	0.24	2.39	99.53



**Валовый химический состав песчаников формации Nanmingshui [Tao et al., 2014]**

Образец	SiO <sub>2</sub>	TiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> *	MnO	MgO	CaO	Na <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	ппп	Сумма
1	61.20	0.67	15.48	6.15	0.06	2.83	2.63	4.50	1.72	0.26	4.17	99.68
2	60.21	0.74	15.10	6.38	0.08	3.45	2.96	3.58	1.65	0.27	4.96	99.38
3	61.66	0.66	15.45	6.61	0.08	3.47	2.54	3.17	2.09	0.25	4.58	100.56
4	62.38	0.66	15.18	6.14	0.08	3.01	2.75	3.91	1.96	0.30	4.24	100.60
5	62.85	0.72	14.75	6.06	0.08	2.23	3.08	4.62	1.37	0.21	4.20	100.17
6	58.79	1.00	16.07	6.77	0.12	2.57	3.15	6.30	1.88	0.40	3.44	100.48
7	70.99	0.54	12.56	2.61	0.05	1.39	2.72	4.01	1.82	0.20	3.30	100.18
8	71.82	0.49	12.80	3.41	0.04	1.84	1.68	4.26	1.45	0.16	2.50	100.45
9	61.64	0.72	15.41	6.81	0.06	3.53	2.16	3.49	2.17	0.23	3.86	100.08
10	65.22	0.64	16.43	4.84	0.03	2.63	0.56	4.18	2.86	0.18	2.50	100.07
11	64.30	0.64	14.77	4.86	0.11	2.33	3.14	3.56	2.46	0.21	3.72	100.10
12	63.76	0.80	15.25	3.59	0.11	1.66	4.00	4.59	2.13	0.37	3.92	100.18

**Валовый химический состав глинистых пород формации Nanmingshui [Tao et al., 2014]**

Образец	SiO <sub>2</sub>	TiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> *	MnO	MgO	CaO	Na <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	ппп	Сумма
SM02	59.73	0.81	16.73	7.11	0.05	3.48	0.90	1.96	3.58	0.26	5.24	99.85
SM03	59.25	0.81	16.46	6.81	0.05	3.35	1.24	1.86	3.50	0.27	5.72	99.32
SM04	58.98	0.85	16.82	7.75	0.05	3.52	0.66	2.37	3.10	0.28	5.66	100.04
SM06	59.57	0.72	15.31	7.97	0.05	3.03	2.49	3.64	1.53	2.19	3.76	100.26
SM07	61.94	0.84	16.87	6.45	0.06	2.48	1.28	4.41	1.95	0.32	3.56	100.16
SM08	59.07	0.75	15.98	6.67	0.09	2.79	2.92	2.64	3.31	0.43	5.21	99.86
SM10	59.11	0.88	17.24	7.51	0.06	2.97	1.32	2.68	2.96	0.38	4.72	99.82
SM11	59.57	0.89	18.64	6.27	0.05	2.33	1.37	4.25	2.45	0.34	4.02	100.17
SM13	63.20	0.65	17.02	5.69	0.03	2.54	0.75	3.52	2.58	0.24	4.02	100.24
SM15	60.46	0.90	17.05	7.20	0.04	3.34	0.70	2.00	3.43	0.22	5.20	100.54
SM16	60.74	0.76	16.78	7.22	0.04	3.05	1.13	2.40	3.06	0.24	4.85	100.28
SM17	60.99	0.78	17.93	5.87	0.04	2.86	0.79	2.25	3.59	0.18	5.07	100.36
SM18	63.50	0.73	16.24	6.29	0.03	3.04	0.64	2.02	3.17	0.20	4.52	100.38

**Валовый химический состав представительных образцов песчаников чингасанской серии Енисейского кряжа**

Образец	SiO <sub>2</sub>	TiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> *	MnO	MgO	CaO	Na <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	ппп	Сумма
1	67.50	1.92	16.70	6.5		0.75		0.75	4.54		2.12	100.78
2	69.00	1.16	15.30	5.9	0.02	1.00		0.22	3.78		3.34	99.72
3	64.50	1.14	20.40	5.51	0.03	0.65	0.26	0.33	5.01		2.56	100.39
4	65.50	1.18	18.50	2.92	0.12	0.75	0.10	0.44	6.06		4.04	99.61
5	57.50	1.34	24.00	5.2	0.07	1.30	0.15	0.58	5.80		4.40	100.34
6	66.85	1.22	19.17	12.8	0.01	0.50	0.07	0.81	5.00		3.52	109.95
7	58.37	1.05	19.93	9.73	0.02	0.73	0.41	0.88	5.48		3.35	99.95
8	82.00	0.86	6.61	5.6	0.10	0.70	0.15	0.45	1.80		1.09	99.36
9	78.50	0.96	9.15	5.2	0.08	1.45	1.00	0.15	1.88		2.08	100.45
10	83.60	1.46	6.30	4.82	0.05	0.25	0.15	0.15	1.97		0.84	99.59
11	74.00	0.86	1.96	2.5	0.06	0.20	0.41	0.10	0.55		0.91	81.55

Окончание прилож. 63-1

Образец	SiO <sub>2</sub>	TiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> *	MnO	MgO	CaO	Na <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	ппп	Сумма
12	83.10	0.47	9.15	3.31		0.35		0.09	2.80		0.84	100.11
13	73.50	0.43	12.50	5.91	0.04	0.50	0.15	0.20	3.45	0.03	2.96	99.67
14	67.40	0.60	19.00	4.25	0.06	0.63	0.51	0.30	4.20		3.02	99.97
15	78.20	0.85	12.30	4.31	0.72	0.35	0.10	0.50	2.05		0.40	99.78
16	76.00	0.42	13.60	5.16	0.08	0.50		0.25	3.30	0.03	1.96	101.30
17	71.50	0.47	13.40	6.07	0.05	0.60	0.10	0.20	3.85	0.07	3.07	99.38
18	72.38	0.48	16.43	1.73		0.40	0.70	0.56	3.41	0.07	3.60	99.76
19	74.10	1.20	9.80	9.68		0.20	1.16	0.35	1.22	0.04	1.34	99.09
20	78.64	1.22	11.03	2.63		0.35	0.40	0.19	2.09	0.03	2.53	99.11
21	79.32	0.83	11.10	3.36		0.30	0.14	0.24	3.12	0.14	1.20	99.75

Приложение 63-2

**Валовый химический состав представительных образцов глинистых пород чингасанской серии Енисейского края**

Образец	SiO <sub>2</sub>	TiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> *	MnO	MgO	CaO	Na <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	ппп	Сумма
А-729-76	56.82	0.11	28.40	1.75	0.01	0.41	0.16	0.10	5.96	0.09	5.56	99.37
А-383-70	69.21	1.22	17.25	2.47	0.01	0.95	0.16	0.06	2.93	0.06	5.62	99.94
А-197-70	76.53	1.07	14.15	1.66	0.01	0.44	0.08	0.12	2.69	0.06	3.19	100.00
А-1313-78	57.07	1.12	19.70	9.91	0.05	1.20	0.89	0.39	4.53	0.12	5.08	100.06
А-117-70	59.54	1.04	20.90	7.88	0.07	1.87	0.26	0.48	3.75	0.05	4.83	100.67
А-106-70	67.53	1.20	16.00	7.07	0.04	1.33	0.20	0.42	2.75	0.05	3.77	100.36

Приложение 64-1

**Валовый химический состав песчаников прикамской свиты Камско-Бельского авлакогена**

Образец	SiO <sub>2</sub>	TiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> *	MnO	MgO	CaO	Na <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	ппп	Сумма
КБА-103	89.20	0.10	6.21	0.86	0.02		0.21	0.50	2.45	0.10	0.50	100.16
КБА-104	87.00	0.14	6.78	0.99	0.02	0.22	0.29	0.50	3.11	0.06	0.90	100.00
КБА-110	89.10	0.07	5.04	1.25	0.02	0.55	0.70	0.70	2.16	0.05	1.10	100.73

Приложение 64-2

**Валовый химический состав глинистых пород прикамской свиты Камско-Бельского авлакогена**

Образец	SiO <sub>2</sub>	TiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> *	MnO	MgO	CaO	Na <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	ппп	Сумма
ПБ-16	58.69	0.68	17.35	5.94	0.03	3.13	0.30	0.30	9.12	0.10	3.40	98.77
ПБ-17	65.09	0.43	14.85	5.84	0.02	3.17	0.30	0.60	6.82	0.10	2.40	99.05
ПБ-18	64.04	0.57	14.98	5.76	0.02	2.43	0.30	0.90	8.73	0.09	2.30	99.26
ПБ-21	59.69	0.66	18.63	7.73	0.03	2.33	0.30	0.50	5.06	0.08	4.90	99.43
ПБ-22	61.00	0.66	17.67	4.70	0.03	3.11	0.30	0.40	8.92	0.10	3.20	99.70
ПБ-23	63.52	0.64	18.47	4.44	0.04	2.19	0.30	0.80	4.94	0.07	4.10	98.73
ПБ-25	60.06	0.70	18.75	7.30	0.03	1.97	0.30	0.70	6.18	0.08	3.40	98.80
ПБ-26	62.44	0.75	18.70	5.02	0.05	2.43	0.30	0.90	4.63	0.08	3.80	99.12
ПБ-27	64.04	0.59	17.92	5.09	0.05	2.59	0.30	0.90	4.50	0.06	3.50	98.67
ПБ-47	58.39	0.73	17.53	5.70	0.03	2.98	0.30	0.60	9.30	0.09	4.40	99.48
ПБ-51	60.88	0.61	16.86	6.56	0.04	2.08	0.30	0.40	8.66	0.10	3.00	99.10

**Валовый химический состав песчаников зигазино-комаровской свиты Южного Урала**

Образец	SiO <sub>2</sub>	TiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> *	MnO	MgO	CaO	Na <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	ппп	Сумма
1	75.98	0.43	10.80	4.88	0.05	1.04	0.20	2.00	2.67	0.08	2.20	100.33
2	75.58	0.53	9.74	4.37	0.04	1.80	0.60	2.00	2.33	0.09	2.72	99.80
3	74.00	0.52	10.80	3.76	0.05	1.50	1.63	2.16	2.55	0.09	3.92	100.98
4	76.00	0.51	11.20	2.07	0.03	1.43	0.70	2.87	2.95	0.10	2.63	100.49
5	92.00	0.15	4.00	0.99		0.20	0.20	1.35	0.53		0.59	100.01
6	94.70	0.07	2.15	1.39		0.20	0.13	0.35	0.53		0.43	99.95
7	90.12	0.16	5.07	1.42	0.02	0.28	0.24	0.36	1.48	0.03	0.20	99.38
8	87.38	0.25	6.17	2.58	0.02	0.56	0.20	1.47	0.84	0.03	1.47	100.97
9	85.98	0.28	6.17	2.39	0.02	0.44	0.24	1.42	0.92	0.04	1.54	99.44
10	88.80	0.20	6.00	1.59		0.30	0.13	0.54	1.61		1.35	100.52
762-46	71.36	0.54	11.16	7.28	0.01	3.42	0.23	1.23	2.27	0.11	2.54	100.15
762-44	75.26	0.50	11.35	3.70	0.01	2.09	0.50	1.56	2.59	0.05	0.05	97.66
762-39	71.11	0.94	15.70	4.69	0.01	0.78	0.03	0.61	2.60	0.02	3.44	99.93
762-38	66.15	1.12	18.37	5.26	0.05	0.97	0.01	0.79	3.16	0.02	4.08	99.98
762-36	74.75	0.48	8.52	11.12	0.01	1.30	0.36	0.20	0.79	0.01	2.95	100.49
762-34	82.69	0.30	5.53	8.45	0.01	1.45	0.11	0.01	0.06	0.05	1.58	100.24
762-31	88.03	0.59	6.43	0.99	0.01	0.10	0.01	0.09	2.01	0.02	1.32	99.60
762-20	93.75	0.26	2.50	1.23	0.01	0.10	0.01	0.03	0.87	0.02	0.90	99.68
762-17	77.52	0.67	14.00	0.74	0.01	0.42	0.01	0.09	4.41	0.07	1.65	99.59
755-22	72.92	0.48	12.27	5.55	0.06	1.22	0.07	2.14	3.44	0.04	1.30	99.49
755-19	85.78	0.10	6.75	2.06	0.01	0.32	0.13	1.61	2.29	0.02	0.25	99.32
755-16	78.37	0.46	8.82	3.13	0.04	1.28	1.15	2.34	1.99	0.07	1.85	99.50
755-11	76.81	0.29	6.54	8.59	0.01	0.42	0.01	1.18	1.62	0.02	4.03	99.52
755-5	86.32	0.30	6.68	1.94	0.01	0.38	0.06	1.80	1.00	0.02	1.01	99.52
755-3	73.12	0.65	13.15	3.21	0.01	1.49	0.03	1.51	3.38	0.02	2.95	99.52

**Валовый химический состав глинистых пород и алевролитов зигазино-комаровской свиты Южного Урала**

Образец	SiO <sub>2</sub>	TiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> *	MnO	MgO	CaO	Na <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	ппп	Сумма
233-5-2	70.85	0.60	14.13	4.03	0.02	1.68	0.40	0.93	3.27	0.05	3.79	99.75
233-4-4	74.50	0.51	13.30	3.97	0.02	1.80	0.42	0.99	2.03	0.02	3.21	100.77
233-5-3	65.80	0.80	15.70	7.38	0.05	2.81	0.20	1.27	2.64	0.02	4.38	101.05
233-11-1	69.38	0.74	12.26	5.88	0.02	2.80	0.56	1.47	3.71	0.11	2.90	99.83
233-7-2	65.20	0.78	15.10	5.56	0.03	4.00	0.56	2.20	3.00	0.12	4.35	100.90
233-9-2	63.00	0.88	17.40	4.01	0.01	3.67	0.42	2.23	5.76	0.10	3.32	100.80
233-13-1	64.00	0.78	16.40	5.96	0.03	3.21	0.56	2.06	4.33	0.11	3.32	100.76
233-14-2	68.30	0.72	14.80	5.13	0.03	2.12	0.56	1.52	4.69	0.09	2.88	100.84
233-11-2	66.50	0.76	14.56	5.51	0.03	3.47	0.42	2.40	3.86	0.13	3.51	101.15
234-17-2	64.80	0.99	17.50	6.85	0.05			1.22	4.84	0.09	3.47	99.81
234-19-2	66.50	0.88	16.00	5.57	0.05	1.87	0.40	2.11	4.16	0.07	3.00	100.61
233-17-4	68.12	0.92	13.80	6.37	0.07	1.70	0.32	1.33	3.56	0.08	3.76	100.03

Приложение 66-1

**Валовый химический состав песчаников авзянской свиты Южного Урала**

Образец	SiO <sub>2</sub>	TiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> *	MnO	MgO	CaO	Na <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	ппп	Сумма
1	87.00	0.20	6.00	1.35		0.22	0.40	0.09	4.23		0.60	100.09
2	91.00	0.09	3.50	2.76	0.02	0.20	0.14	0.09	2.49	0.01	0.30	100.60
3	93.80	0.14	2.45	1.69	0.01	0.40	0.28	0.04	0.67	0.03	0.63	100.14
4	90.12	0.07	2.47	2.59	0.01	0.80	0.56	0.04	0.02	0.04	1.25	97.97
5	93.60	0.06	2.32	1.59	0.01	0.20	0.28	0.04	1.86	0.03	0.15	100.14
7	91.50	0.22	3.70	0.70	0.01	0.48	0.84	0.08	2.36	0.05	0.79	100.73
8	79.00	0.27	4.30	1.34	0.04	2.98	3.59	0.11	2.33		5.63	99.59

Приложение 66-2

**Валовый химический состав глинистых пород авзянской свиты Южного Урала**

Образец	SiO <sub>2</sub>	TiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> *	MnO	MgO	CaO	Na <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	ппп	Сумма
292-4-1	60.48	0.79	17.57	7.18	0.01	3.11	0.30	0.59	5.86	0.04	4.53	100.46
292-3-1	56.18	1.00	20.33	7.19	0.01	3.83	0.56	0.73	5.77	0.06	4.40	100.06
292-20-2	59.15	0.82	18.78	5.57	0.01	3.93	0.42	0.37	6.10	0.04	4.78	99.97
259-10-1	58.63	0.88	17.84	4.73	0.01	4.59	1.53	0.50	6.54	0.12	4.85	100.22
781-18	63.80	0.85	14.90	6.90	0.09	2.60	0.89	0.98	3.96	0.13	4.82	99.92
781-10-2	57.00	0.87	20.60	6.55	0.02	2.60	0.35	1.19	5.25	0.07	3.90	98.40
781-11-1	62.20	1.05	17.60	6.48	0.16	3.00	0.35	1.08	5.32	0.10	3.40	100.74
781-11-6	65.00	1.13	18.40	5.90	0.01	1.26	0.70	1.14	2.74	0.14	3.52	99.94
781-12-8	60.80	0.93	18.90	6.13	0.01	2.54	0.56	1.19	4.54	0.07	4.68	100.35
781-3-4	60.70	0.88	14.00	3.89	0.01	8.87	1.40	1.11	4.86	0.16	4.36	100.24

Приложение 67-1

**Валовый химический состав алевропесчаных пород ряда эратем рифея и систем фанерозоя платформенного чехла Русской плиты [Ронов и др., 1995]**

Образец	SiO <sub>2</sub>	TiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> *	MnO	MgO	CaO	Na <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>
Нижний рифей	73.32	0.59	10.85	3.53	0.05	1.96	1.48	0.77	4.06	0.10
Средний рифей	81.06	0.50	7.59	3.49	0.05	0.48	1.59	0.63	2.87	0.32
Кембрий	77.10	0.30	9.46	4.32	0.08	1.04	1.51	0.46	2.42	0.10
Ордовик	69.06	0.11	7.50	3.84	0.06	1.68	7.40	0.39	1.74	1.95
Силур	66.58	0.15	2.88	3.51	0.03	1.16	12.51	0.53	1.34	0.15
Палеоген	79.05	0.49	5.33	2.91	0.064	0.75	2.83	0.4	1.5	0.09
Неоген	80.02	0.41	6.25	2.08	0.036	1.01	2.58	0.59	1.27	0.051
Четвертичный период	80.06	0.45	6.05	2.14	0.03	0.91	3.13	0.50	1.71	0.08

**Валовый химический состав глинистых пород серий Asu River и Cross River  
[Adeigbe, Jimoh, 2013]**

Образец	SiO <sub>2</sub>	TiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> *	MnO	MgO	CaO	Na <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	ппп	Сумма
1	63.34	1.08	17.58	2.40	0.01	0.18	0.07	0.04	1.00	0.21	13.80	99.83
2	46.97	1.44	25.71	3.69	0.01	0.37	0.04	0.04	0.95	0.11	20.50	99.83
3	52.97	0.82	15.03	5.12	0.05	1.33	8.95	2.07	2.08	0.16	11.20	99.87
4	53.38	0.38	5.98	2.99	0.03	0.63	15.36	0.13	0.70	0.19	20.10	99.85
5	55.03	0.30	4.56	2.08	0.03	0.52	16.19	0.10	0.52	0.15	20.40	100.00
6	25.11	0.35	5.16	3.06	0.03	0.84	30.97	0.11	0.68	0.21	33.00	99.83
7	54.41	0.92	17.90	7.66	0.05	1.79	1.64	1.27	3.18	0.10	10.90	100.02
8	52.06	0.90	17.37	9.53	0.11	2.18	1.51	1.05	2.81	0.14	12.10	99.84
9	54.03	0.85	18.53	4.34	0.01	0.78	1.76	0.17	2.88	3.21	13.10	100.02
10	48.40	0.91	18.44	7.13	0.04	1.72	3.85	0.64	2.40	2.33	13.90	99.91
11	58.21	0.54	14.54	13.63	0.02	2.26	1.33	2.18	1.53	0.64	4.90	99.87
12	48.11	0.89	19.83	9.08	0.09	2.24	0.89	0.33	2.48	0.13	15.80	99.80
13	52.91	0.98	21.84	4.52	0.01	1.18	0.19	0.09	3.10	0.16	14.90	99.75
14	53.33	0.95	19.84	5.65	0.03	1.77	1.07	0.96	3.13	0.09	13.00	99.84
15	52.16	0.96	19.85	6.47	0.03	1.89	0.97	0.81	3.01	0.07	13.60	99.83
16	52.86	0.99	19.17	6.40	0.06	1.98	1.13	0.83	3.87	0.14	12.40	99.83
17	53.05	0.97	18.98	6.63	0.06	1.94	1.14	0.89	3.89	0.14	12.20	99.98
18	53.20	1.02	19.43	6.32	0.03	1.70	1.29	0.94	3.52	0.33	12.00	99.81
19	53.53	0.98	18.96	6.46	0.03	1.65	1.54	1.00	3.44	0.44	11.80	99.91
20	67.24	0.33	10.67	4.21	0.18	0.94	5.96	3.21	0.87	0.13	6.20	99.78
21	60.23	1.12	21.34	5.48	0.02	1.50	0.41	1.71	3.17	0.10	4.70	100.03
22	55.47	1.05	20.30	9.49	0.10	2.08	0.84	1.69	2.84	0.12	5.80	99.81
23	52.42	1.08	23.10	9.68	0.09	2.25	0.10	0.78	2.91	0.11	7.30	99.84
24	54.33	1.05	21.24	10.34	0.08	2.20	0.10	0.61	2.71	0.11	7.10	99.83
25	51.48	1.07	23.13	10.25	0.06	2.31	0.16	0.78	2.92	0.13	7.50	99.91

**Валовый химический состав глинистых пород формаций Bir Maghara и Safa  
[Ghandour et al., 2003]**

Образец	SiO <sub>2</sub>	TiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	FeO*	MnO	MgO	CaO	Na <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O
28	61.10	1.20	17.00	7.10	0.10	1.50	10.00	1.00	1.00
27	69.06	2.00	19.00	5.20	0.04	1.40	0.60	1.00	1.70
26	68.90	0.60	12.00	2.30	0.10	1.20	14.00	0.60	0.30
25	63.56	1.80	27.00	4.40	0.04	0.90	0.40	1.10	0.80
24	51.16	2.70	36.00	5.70	0.04	1.40	1.20	0.90	0.90
23	54.66	2.10	33.00	4.50	0.04	1.70	1.80	1.10	1.10
22	69.68	0.50	9.00	4.20	0.12	1.00	15.00	0.10	0.40
21	53.76	1.90	25.00	17.00	0.04	0.60	0.50	0.80	0.40
20	55.86	2.40	27.00	10.00	0.04	1.00	1.90	0.90	0.90
19	52.65	2.00	21.00	9.40	0.15	1.30	11.00	1.10	1.40
18	63.57	2.10	28.00	3.30	0.03	0.70	0.50	0.90	0.90
17	41.65	2.00	27.00	2.60	0.05	0.80	23.00	1.90	1.00
16	57.06	2.30	29.00	6.30	0.04	1.60	1.20	1.00	1.50
15	69.05	1.80	21.00	2.80	0.05	0.90	2.00	1.00	1.40
13	59.26	1.40	32.00	2.20	0.04	1.00	2.40	1.10	0.60

Окончание прилож. 74-2

Образец	SiO <sub>2</sub>	TiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	FeO*	MnO	MgO	CaO	Na <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O
12	75.98	1.90	18.00	1.40	0.02	0.50	0.90	0.90	0.40
11	64.67	2.10	25.00	3.70	0.03	0.80	0.60	1.60	1.50
10	61.86	1.60	27.00	5.10	0.04	1.10	1.90	0.40	1.00
9	57.47	2.00	26.00	11.00	0.03	0.80	0.60	0.90	1.20
8	53.96	2.10	33.00	6.20	0.04	1.70	0.60	1.00	1.40
7	67.46	1.40	26.00	2.80	0.04	0.50	0.50	0.50	0.80
6	62.06	2.60	27.00	3.80	0.04	0.90	0.70	1.00	1.90
5	69.05	2.10	18.00	5.50	0.05	1.70	0.80	0.90	1.90
4	71.66	1.20	18.00	4.90	0.04	1.20	0.90	0.30	1.80
3	59.36	1.60	27.00	6.60	0.04	1.90	0.80	0.80	1.90
2	54.93	1.40	17.00	7.90	0.07	2.50	14.00	0.70	1.50
1	53.90	1.10	17.00	13.00	0.10	2.30	11.00	0.90	0.70

Приложение 76-2

**Валовый химический состав глинистых пород Бассейна Congo [Harris, 2000]**

Образец	SiO <sub>2</sub>	TiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> *	MnO	MgO	CaO	Na <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>
1	45.80	0.67	17.60	8.41	0.08	3.94	3.99	1.93	3.22	0.17
2	49.90	0.67	18.40	8.30	0.09	3.53	3.69	1.22	3.06	0.27
3	49.90	0.67	17.00	7.65	0.08	3.18	4.15	1.10	2.83	0.28
4	39.20	0.53	13.10	6.25	0.08	2.99	13.50	0.97	2.26	0.23
5	38.10	0.50	11.70	5.99	0.09	3.34	14.50	0.96	2.12	0.23
6	44.20	0.60	14.40	7.11	0.08	3.97	7.20	0.98	2.65	0.19
7	35.30	0.42	7.20	3.07	0.08	3.71	17.00	1.22	1.59	0.36
8	38.50	0.46	7.67	3.75	0.08	3.58	13.30	1.37	1.71	0.37
9	39.10	0.47	7.96	3.82	0.08	3.63	13.50	1.45	1.78	0.19
10	40.90	0.53	8.96	4.89	0.08	3.51	8.85	1.58	1.89	0.36
11	49.20	0.57	10.60	5.77	0.08	3.54	7.33	1.68	2.35	0.17
12	55.70	0.60	11.80	5.49	0.09	3.30	4.43	2.47	2.51	0.16
13	46.70	0.64	12.40	6.03	0.08	3.78	5.51	1.91	2.49	0.24
14	55.60	0.63	14.00	6.16	0.09	3.54	4.80	2.32	2.80	0.20
15	46.70	0.67	13.10	6.61	0.11	4.04	5.65	2.16	2.49	0.21
16	48.90	0.61	12.60	6.63	0.11	3.78	5.70	1.98	2.46	0.19

Приложение 77-2

**Валовый химический состав глинистых пород основания осадочного выполнения Японского моря [Ishiga et al., 1999]**

Образец	SiO <sub>2</sub>	TiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> *	MnO	MgO	CaO	Na <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	ппп	Сумма
1	66.50	0.65	14.99	5.84	0.05	3.10	0.23	0.87	2.92	0.08	4.73	99.96
2	70.26	0.55	12.93	6.10	0.06	2.25	0.37	0.75	2.31	0.07	4.54	100.17
3	63.66	0.75	16.82	6.60	0.07	2.57	0.76	0.89	3.15	0.11	5.00	100.37
4	63.54	0.72	17.12	7.13	0.06	2.63	0.39	0.86	3.01	0.11	4.74	100.31
5	67.30	0.66	14.87	6.55	0.05	2.12	0.21	0.91	2.59	0.10	4.94	100.28
7	55.02	0.77	17.73	15.36	0.09	2.74	0.65	0.51	2.21	0.43	4.91	100.43
8	61.37	0.87	18.54	8.30	0.07	2.07	0.31	0.76	3.42	0.18	4.89	100.77
9	63.28	0.83	19.28	5.69	0.05	1.62	0.36	1.19	3.74	0.08	4.62	100.74

Образец	SiO <sub>2</sub>	TiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> *	MnO	MgO	CaO	Na <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	ппп	Сумма
10	61.88	0.59	13.22	15.00	0.12	2.46	0.56	0.90	1.03	0.12	4.66	100.54
11	68.47	0.67	16.51	4.40	0.04	1.59	0.21	0.82	3.66	0.09	4.04	100.51
12	63.96	0.78	18.00	6.30	0.05	1.45	0.34	1.61	3.29	0.17	4.73	100.68
13	65.04	0.68	16.66	5.64	0.04	1.41	0.25	1.50	3.14	0.11	4.12	98.58
14	69.77	0.63	15.17	4.93	0.05	1.32	0.25	1.49	2.78	0.12	3.63	100.13
15	63.81	0.84	16.14	7.82	0.06	1.45	0.42	2.16	2.65	0.13	4.83	100.31
16	67.67	0.74	17.61	3.99	0.04	1.57	0.25	1.50	3.55	0.11	3.51	100.55
17	69.25	0.67	16.74	3.63	0.04	1.58	0.23	1.40	3.43	0.10	3.35	100.42
18	68.99	0.68	16.75	3.94	0.04	1.66	0.25	1.31	3.52	0.10	3.41	100.65
19	69.09	0.53	16.84	3.59	0.03	1.42	0.25	1.74	3.47	0.11	3.17	100.24
20	67.40	0.73	15.68	5.65	0.05	1.94	0.29	1.82	2.85	0.12	3.66	100.19
21	59.17	1.34	16.58	8.60	0.08	2.91	1.76	2.31	2.66	0.47	4.38	100.26
22	63.88	1.17	14.91	7.96	0.07	2.49	0.53	1.99	2.59	0.29	3.80	99.70
23	69.17	0.37	17.23	2.63	0.03	1.18	0.17	0.88	5.65	0.08	3.10	100.49
24	68.07	0.61	13.82	6.18	0.06	1.59	1.03	0.17	4.38	0.11	3.67	99.70
25	68.32	0.66	15.65	4.80	0.05	1.74	0.23	1.02	4.18	0.12	3.34	100.09

## Валовый химический состав глинистых пород Бассейна Oliete [Lopez et al., 2005]

Образец	SiO <sub>2</sub>	TiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> *	MnO	MgO	CaO	Na <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>
AR-51	68.65	1.04	23.84	1.67	0.01	0.61	0.17	0.38	3.52	0.09
AR-49	61.15	1.22	27.83	5.78	0.00	0.55	0.20	0.54	2.58	0.07
AR-46	64.54	1.04	26.30	2.81	0.01	0.69	0.22	0.34	3.97	0.05
AR-44	59.32	1.24	30.49	3.36	0.01	1.11	0.45	0.45	3.45	0.07
AR-41	52.71	1.02	29.59	11.13	0.04	1.22	0.56	0.49	3.06	0.12
AR-39	71.45	0.68	16.95	1.54	0.01	0.38	0.20	0.50	1.68	0.05
AR-38	55.22	1.12	35.51	3.68	0.01	0.92	0.45	0.31	2.67	0.07
AR-35	60.71	1.03	27.26	6.18	0.02	0.65	0.52	0.24	3.21	0.12
AR-33	55.00	0.91	36.63	2.83	0.01	0.77	0.55	0.40	2.54	0.07
AR-32	64.39	1.09	26.07	4.51	0.04	0.59	0.42	0.23	2.40	0.07
AR-26	69.05	1.07	22.20	2.81	0.05	0.67	0.24	0.34	3.46	0.08
AR-25	62.76	1.02	21.62	2.48	0.03	0.57	0.27	0.53	2.92	0.09
AR-24	65.04	1.14	27.16	2.43	0.05	0.62	0.34	0.42	2.60	0.08
AR-23	56.71	0.91	34.16	3.23	0.01	0.85	0.57	0.46	2.49	0.13
AR-20	65.77	0.92	14.57	5.61	0.07	0.57	0.29	0.42	2.77	0.12
AR-18	73.48	0.99	18.75	2.07	0.01	0.64	0.38	0.34	3.03	0.15
AR-12	74.77	1.00	17.52	2.39	0.04	0.49	0.21	0.35	3.08	0.07
AR-10	63.96	0.94	25.74	3.72	0.05	0.75	0.51	0.39	3.14	0.18
AR-9	58.72	0.90	30.59	4.18	0.06	0.66	0.91	0.26	2.58	0.29
AR-7	61.82	0.68	13.94	6.10	0.13	0.41	0.92	0.45	1.96	0.30

**Валовый химический состав глинистых пород Бассейна Krishna-Godavari  
[Mazumdar et al., 2015]**

Образец	SiO <sub>2</sub>	TiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> *	MnO	MgO	CaO	Na <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>
1	48.20	1.40	15.80	11.50	0.04	2.90	1.40	0.33	1.70	0.15
2	47.30	1.30	15.80	11.30	0.05	2.80	1.20	0.29	1.80	0.15
3	48.40	1.30	16.40	11.20	0.03	2.30	0.60	0.35	1.80	0.15
4	47.40	1.30	16.40	11.20	0.04	2.50	0.90	0.30	1.90	0.14
5	46.50	1.20	16.20	10.90	0.05	2.70	1.30	0.34	2.00	0.14
6	47.80	1.40	15.60	10.90	0.10	2.70	1.70	0.46	1.90	0.15
7	50.40	1.30	15.50	10.10	0.14	2.50	1.80	0.74	2.10	0.16
8	49.40	1.30	15.40	10.10	0.17	2.60	2.10	0.91	2.10	0.17
9	47.90	1.20	16.10	10.70	0.05	2.90	1.80	0.37	2.10	0.16
10	49.20	1.20	16.30	9.90	0.07	2.60	1.40	0.41	2.20	0.16
11	53.80	1.30	16.20	9.10	0.02	1.90	0.50	0.43	2.20	0.07
12	49.00	1.20	15.90	9.80	0.08	2.80	2.20	0.46	2.30	0.15
13	55.10	1.30	17.00	8.50	0.03	1.90	0.60	0.50	2.20	0.09
14	48.70	1.20	15.90	9.70	0.05	2.80	2.30	0.46	2.30	0.15
15	53.10	1.20	17.10	9.30	0.02	2.00	0.50	0.33	2.40	0.09
16	44.60	1.00	14.40	9.30	0.04	2.90	6.20	0.45	2.20	0.15
17	46.20	1.20	14.80	10.40	0.10	3.00	3.40	0.66	2.20	0.15
18	53.70	1.40	16.90	9.30	0.03	2.30	0.60	0.53	2.30	0.08
19	54.00	1.40	16.80	9.40	0.03	2.20	0.80	0.61	2.20	0.17
20	46.70	1.40	14.00	10.90	0.14	3.10	3.80	0.83	1.80	0.17
21	53.90	1.40	17.10	9.30	0.03	2.30	0.60	0.54	2.30	0.11
22	49.60	1.30	15.20	9.80	0.07	2.40	3.90	0.77	2.00	0.17
23	55.30	1.30	16.50	8.40	0.03	1.80	0.90	0.67	2.10	0.05
24	46.70	1.30	14.80	10.20	0.08	3.10	3.50	0.87	2.10	0.16
25	55.30	1.40	16.40	8.90	0.03	1.90	1.00	0.69	2.10	0.11
26	45.80	1.30	14.50	10.00	0.07	2.90	2.90	0.52	1.80	0.15
27	54.20	1.40	16.90	8.90	0.03	2.10	0.80	0.59	2.10	0.11
28	48.80	1.40	14.20	10.60	0.14	2.60	4.10	0.89	1.80	0.16
29	49.00	1.30	16.80	10.80	0.10	2.50	1.60	0.59	2.20	0.15
30	49.50	1.30	16.00	10.10	0.08	2.50	3.20	0.68	2.20	0.18
31	49.60	1.40	16.40	10.50	0.05	2.60	2.80	0.76	2.30	0.16
32	51.60	1.60	16.90	10.00	0.02	1.80	0.50	0.42	1.70	0.09
33	46.90	1.30	16.00	10.50	0.03	2.50	2.70	0.57	1.90	0.14
34	50.00	1.30	15.80	10.70	0.06	2.40	2.20	0.69	2.20	0.15
35	48.10	1.30	16.00	10.90	0.05	2.60	2.30	0.53	2.20	0.15
36	54.20	1.70	16.90	10.00	0.03	1.80	0.70	0.56	1.90	0.07
37	48.50	1.30	15.10	12.10	0.07	2.00	1.20	0.63	2.00	0.16
38	53.70	1.50	16.30	9.10	0.03	1.70	0.80	0.62	2.10	0.09
39	47.50	1.30	17.00	11.20	0.07	2.30	1.10	0.56	2.10	0.18
40	48.30	1.30	15.90	11.30	0.08	2.30	1.80	0.57	2.00	0.17
41	52.10	1.50	16.70	10.00	0.02	1.70	0.70	0.45	1.90	0.08
42	48.10	1.40	16.30	10.90	0.04	2.50	2.00	0.61	2.00	0.15
43	52.80	1.40	17.60	9.30	0.02	2.00	0.70	0.56	2.30	0.08
44	48.90	1.30	17.10	10.40	0.04	2.50	1.60	0.65	2.30	0.15
45	45.90	1.30	14.20	10.30	0.08	3.40	5.50	0.65	2.00	0.19
46	51.70	1.50	16.70	9.70	0.02	1.90	0.80	0.56	2.00	0.09
47	51.70	1.50	16.70	9.70	0.02	1.90	0.80	0.56	2.00	0.09
48	47.90	1.40	15.60	10.70	0.04	2.70	2.40	0.71	2.10	0.16
49	48.00	1.50	15.80	10.80	0.03	2.50	2.50	0.56	2.00	0.16



Образец	SiO <sub>2</sub>	TiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> *	MnO	MgO	CaO	Na <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>
50	52.70	1.30	17.10	9.50	0.02	1.90	0.70	0.52	2.20	0.07
51	46.40	1.20	15.60	10.30	0.03	2.60	2.70	0.42	2.00	0.14
52	52.80	1.60	15.90	9.80	0.02	1.90	0.80	0.54	1.90	0.08
53	47.70	1.30	15.60	10.80	0.04	2.70	3.50	0.60	2.00	0.16
54	53.70	1.50	16.60	10.00	0.03	2.20	1.00	0.68	2.10	0.06
55	46.90	1.40	15.20	10.90	0.06	3.00	3.20	0.78	2.10	0.17
56	48.10	1.40	16.20	12.00	0.08	2.90	2.40	0.63	2.10	0.18
57	47.50	1.20	14.70	9.60	0.05	3.20	5.80	0.78	2.20	0.19
58	46.40	1.20	14.70	10.00	0.06	3.20	6.00	0.65	2.20	0.20
59	54.20	1.50	16.30	9.80	0.04	2.50	1.20	0.77	2.20	0.13
60	44.00	1.10	14.00	10.00	0.06	3.30	7.40	0.95	2.30	0.25
61	46.90	1.20	14.10	9.70	0.06	3.10	6.50	0.97	2.20	0.21
62	51.00	1.30	15.80	10.90	0.05	3.10	2.50	0.74	2.30	0.23
63	45.20	1.20	14.20	9.80	0.06	3.20	7.40	0.65	2.10	0.19
64	53.40	1.70	16.30	10.60	0.04	2.50	1.10	0.69	2.00	0.11
65	46.20	1.40	15.80	12.50	0.11	3.20	2.00	0.63	1.90	0.20
66	50.30	1.60	15.60	10.60	0.09	2.70	1.90	0.96	2.10	0.15
67	45.70	1.10	15.20	9.40	0.04	2.90	6.00	0.61	2.30	0.19
68	48.80	1.30	15.20	10.60	0.05	3.10	2.80	0.62	2.20	0.14
69	46.90	1.90	14.40	11.70	0.15	3.40	5.70	1.25	1.60	0.17
70	52.90	1.50	16.00	10.10	0.04	2.90	1.30	0.75	2.10	0.10
71	46.30	1.30	14.20	10.00	0.08	3.50	6.00	0.78	2.00	0.19
72	48.30	1.40	15.30	10.90	0.08	2.90	2.10	0.45	1.90	0.14
73	53.30	1.40	15.70	9.50	0.03	2.10	1.00	0.63	2.20	0.12
74	46.20	1.20	14.80	9.30	0.04	3.20	4.70	0.53	2.30	0.13
75	48.00	1.40	14.30	10.40	0.11	3.10	3.10	0.69	2.10	0.14
76	39.00	0.90	12.00	8.30	0.04	3.00	12.70	0.48	2.10	0.18
77	47.10	1.20	15.70	10.10	0.06	3.30	3.50	0.50	2.40	0.16
78	51.20	1.30	16.30	9.80	0.04	2.30	1.30	0.66	2.20	0.14
79	47.40	1.10	15.70	9.30	0.03	2.50	4.00	0.51	2.20	0.16
80	48.30	1.10	16.10	9.90	0.05	2.80	2.00	0.56	2.30	0.17
81	49.10	1.30	15.70	11.00	0.11	2.60	2.00	0.64	2.10	0.17
82	50.50	1.50	14.20	10.10	0.11	2.60	3.60	0.93	1.90	0.18
83	47.10	1.20	14.80	10.10	0.06	2.80	4.00	0.64	2.20	0.16
84	45.10	1.10	14.70	9.80	0.05	2.70	4.90	0.61	2.20	0.16
85	50.00	1.30	16.70	10.80	0.07	2.30	1.40	0.65	2.20	0.15
86	49.10	1.20	16.30	10.90	0.11	2.40	1.80	0.64	2.20	0.15
87	50.50	1.20	17.30	10.30	0.06	2.10	1.00	0.61	2.30	0.14
88	49.50	1.20	17.30	10.20	0.10	2.20	1.00	0.67	2.30	0.14
89	48.40	1.30	16.20	11.30	0.10	2.40	1.40	0.65	2.10	0.15
90	46.40	1.50	16.90	12.70	0.04	2.10	0.30	0.24	1.60	0.12
91	46.00	1.50	16.50	11.20	0.08	2.70	1.10	0.60	1.90	0.13
92	47.30	1.40	16.20	11.70	0.11	2.40	1.30	0.58	2.00	0.17
93	56.50	1.60	14.00	8.50	0.07	1.90	2.50	1.12	2.10	0.13
94	48.20	1.40	15.40	11.30	0.07	2.30	2.00	0.58	1.80	0.18
95	48.50	1.60	14.40	11.00	0.11	2.40	2.80	0.71	1.70	0.17
96	48.10	1.50	14.40	11.20	0.14	2.50	2.80	0.66	1.70	0.17
97	49.50	1.50	14.80	11.00	0.11	2.20	2.40	0.69	1.70	0.17
98	49.50	1.60	15.00	10.70	0.12	2.30	2.70	0.73	1.70	0.17

**Валовый химический состав глинистых пород верхнего триаса-нижней юры  
гор Peloritani [Perri et al., 2011]**

Образец	SiO <sub>2</sub>	TiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> *	MnO	MgO	CaO	Na <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	ппп	Сумма
1	50.99	0.94	24.12	10.35	0.01	1.28	0.05	0.26	6.99	0.09	4.91	99.99
2	70.74	0.49	16.16	3.74	0.01	0.92	0.04	0.17	4.56	0.05	3.11	99.99
3	67.09	0.63	17.20	5.35		1.16	0.04	0.18	4.86	0.05	3.43	99.99
4	64.71	0.78	18.04	5.99	0.01	1.13	0.04	0.20	5.27	0.05	3.76	99.98
5	61.10	0.77	19.17	6.91	0.01	1.83	0.10	0.26	5.90	0.08	3.86	99.99
6	62.85	0.80	17.81	6.57	0.01	1.77	0.04	0.14	5.62	0.04	4.34	99.99
7	60.51	0.77	19.74	6.88	0.01	1.63	0.20	0.23	5.88	0.07	4.07	99.99
8	68.22	0.83	15.98	4.51	0.08	1.35	0.18	0.21	4.48	0.06	4.07	99.97
9	66.29	0.74	17.40	5.29	0.01	1.29	0.04	0.30	4.37	0.06	4.20	99.99
10	65.90	0.74	17.61	5.30	0.01	1.21	0.10	0.30	4.58	0.05	4.18	99.98
11	63.68	0.81	18.18	6.21	0.04	1.75	0.05	0.23	5.08	0.05	3.90	99.98
12	63.81	0.80	18.55	5.79	0.00	1.18	0.02	0.25	4.90	0.03	4.66	99.99
13	56.85	0.74	21.78	8.17	0.01	1.25	0.02	0.27	6.04	0.06	4.80	99.99
15	62.97	0.79	19.46	5.51	0.01	1.29	0.15	0.26	5.32	0.06	4.15	99.97
16	61.59	0.77	20.15	6.34	0.01	1.31	0.05	0.29	4.99	0.06	4.32	99.88
17	60.96	0.82	20.29	6.41	0.03	1.46	0.13	0.42	5.09	0.06	4.32	99.99
18	64.17	0.85	18.52	6.46	0.01	1.46	0.02	0.37	4.21	0.02	3.90	99.99
19	60.45	0.98	20.92	7.04	0.01	1.46	0.02	0.40	4.87	0.02	3.81	99.98
20	54.65	1.08	23.90	7.96	0.01	1.31	0.02	0.45	5.76	0.03	4.82	99.99
21	69.15	0.63	16.46	4.50	0.01	1.30	0.02	0.14	4.76	0.02	3.00	99.99
22	60.28	0.80	19.56	7.38	0.02	1.72	0.02	0.19	5.74	0.02	4.25	99.98
23	63.83	0.75	18.07	6.22	0.01	1.50	0.01	0.18	5.32	0.02	4.07	99.98
24	60.12	0.76	19.32	7.19	0.02	1.66	0.01	0.18	5.76	0.03	4.94	99.99
25	72.34	0.78	14.09	4.37	0.01	1.16	0.02	0.14	3.98	0.02	3.08	99.99
26	61.67	0.78	19.50	6.09	0.01	1.54	0.03	0.19	5.62	0.03	4.52	99.98
27	57.35	0.87	21.52	8.00	0.01	1.35	0.04	0.21	6.39	0.06	4.19	99.99
28	58.03	0.89	20.56	8.96	0.01	1.30	0.03	0.21	5.92	0.07	4.01	99.99
29	58.43	1.03	21.99	7.09	0.01	1.79	0.03	0.58	4.53	0.02	4.48	99.98
30	59.37	0.90	20.91	6.75	0.01	2.56	0.02	0.38	4.10	0.03	4.96	99.99
31	64.39	0.81	18.77	6.42	0.01	1.62	0.02	0.37	4.03	0.02	3.53	99.99
32	60.17	0.87	21.40	6.78	0.01	1.77	0.03	0.43	4.59	0.02	3.91	99.98
33	67.90	0.87	17.99	5.88	0.01	0.87	0.03	0.38	2.74	0.04	3.26	99.97
34	62.30	0.86	18.86	8.17	0.07	1.57	0.17	0.36	3.48	0.05	4.00	99.89

**Валовый химический состав глинистых пород и алевролитов Бассейна Thrace  
[Perri et al., 2015]**

Образец	SiO <sub>2</sub>	TiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> *	MnO	MgO	CaO	Na <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	ппп	Сумма
1	51.12	0.99	17.82	7.81	0.05	3.82	5.32	0.37	3.54	0.08	8.76	99.68
2	56.02	0.87	16.54	4.74	0.12	1.39	6.64	0.77	2.74	0.12	9.57	99.53
4	66.96	0.75	15.49	5.28	0.03	1.50	2.52	1.09	1.99	0.11	4.28	100.00
5	60.86	0.56	9.71	12.86	0.14	1.92	4.66	0.15	1.30	0.19	6.94	99.30
7	52.04	0.85	14.30	7.53	0.06	5.26	4.74	2.60	3.14	0.10	9.00	99.64
8	52.83	0.67	12.95	6.32	0.07	4.82	8.17	0.98	2.19	0.10	10.98	100.08
9	50.76	0.85	13.73	7.34	0.07	5.25	7.21	1.08	2.96	0.11	9.76	99.12
10	52.23	0.84	14.39	6.99	0.07	5.37	6.49	0.93	2.68	0.10	9.92	100.02
13	51.41	0.78	17.91	10.04	0.10	6.70	1.65	1.08	3.12	0.05	6.44	99.28
15	50.18	0.65	14.54	4.93	0.13	2.75	9.89	0.63	4.42	0.06	11.48	99.67
16	66.49	0.42	16.99	3.74	0.08	1.13	1.32	0.64	3.76	0.05	5.23	99.84
17	51.08	0.56	16.29	5.65	0.16	2.59	6.02	1.28	3.35	0.07	12.71	99.76
18	58.93	0.72	22.23	3.78	0.04	1.65	0.84	1.32	4.60	0.08	5.49	99.68
21	55.65	0.80	19.53	6.49	0.06	4.15	1.55	1.84	3.98	0.12	5.78	99.95
22	54.18	0.82	18.68	8.22	0.06	5.02	1.04	1.55	3.92	0.10	5.96	99.55
23	47.32	0.82	13.85	6.47	0.39	4.54	10.71	1.01	2.63	0.14	11.62	99.50
24	51.13	0.82	15.89	7.14	0.18	4.72	6.75	1.23	3.29	0.09	8.58	99.81
25	53.94	0.73	28.64	3.61	0.03	1.19	0.81	0.13	1.27	0.13	8.93	99.40
26	56.22	0.76	22.43	4.07	0.04	2.17	3.61	0.42	2.35	0.23	7.58	99.87
27	51.62	0.99	17.73	9.40	0.11	7.27	1.46	1.30	3.55	0.11	5.78	99.32
28	53.83	1.04	18.03	8.88	0.09	4.75	1.87	1.24	4.32	0.11	5.78	99.95

**Валовый химический состав глинистых пород и алевролитов среднего триаса-верхней юры Internal Domains [Perri, Ohta, 2014]**

Образец	SiO <sub>2</sub>	TiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> *	MnO	MgO	CaO	Na <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	ппп	Сумма
FP57	63.43	0.83	17.35	6.99	0.01	2.14	0.36	0.18	4.95	0.10	3.25	99.59
FP59	59.10	0.97	19.37	6.38	0.02	2.45	0.25	0.33	5.83	0.16	5.03	99.89
FP60	61.13	0.93	17.70	7.37	0.02	2.25	0.24	0.28	5.41	0.16	4.02	99.51
FP37	62.38	0.86	17.15	7.04	0.02	2.11	0.13	0.18	5.52	0.09	4.25	99.73
FP36	56.89	0.88	20.13	7.78	0.02	2.34	0.08	0.22	5.79	0.11	4.28	98.52
FP35b	64.27	0.79	17.50	5.77	0.08	2.32	0.17	0.36	4.43	0.08	4.02	99.80
FP34d	62.31	0.88	19.40	6.21	0.08	2.28	0.30	0.72	2.93	0.05	4.62	99.78
FP27	64.07	0.84	18.81	5.73	0.04	2.20	0.41	0.84	2.68	0.05	4.29	99.96
FP25	63.05	0.92	18.22	6.60	0.04	2.32	0.25	0.86	2.93	0.06	4.51	99.77
FP90	65.87	0.86	17.24	6.09	0.01	1.31	0.19	0.22	4.00	0.02	4.11	99.92
FP93	66.46	0.87	16.65	6.32	0.01	1.04	0.41	0.21	3.34	0.01	4.15	99.47
FP94	66.13	1.05	16.62	6.18	0.01	1.06	0.21	0.26	3.32	0.01	5.02	99.87
FP103	71.62	0.89	15.84	2.39	0.01	1.20	0.37	0.47	2.79	0.03	4.19	99.80
FP104	69.32	0.83	13.43	5.25	0.01	1.38	1.48	0.34	3.40	0.02	4.36	99.81
FP159	63.81	0.80	18.55	5.79	0.00	1.18	0.02	0.25	4.90	0.03	4.41	99.74
FP160	56.85	0.74	21.78	8.17	0.01	1.25	0.02	0.27	6.04	0.06	4.74	99.93

Образец	SiO <sub>2</sub>	TiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> *	MnO	MgO	CaO	Na <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	ппп	Сумма
FP162	62.97	0.79	19.46	5.51	0.01	1.29	0.15	0.26	5.32	0.06	4.11	99.93
FP163	61.59	0.77	20.15	6.34	0.01	1.31	0.05	0.29	4.99	0.06	4.12	99.68
FP164	60.96	0.82	20.29	6.41	0.03	1.46	0.13	0.42	5.09	0.06	4.22	99.89
FP165	64.17	0.85	18.52	6.46	0.01	1.46	0.02	0.37	4.21	0.02	3.75	99.84
FP166	60.45	0.98	20.92	7.04	0.01	1.46	0.02	0.40	4.87	0.02	3.74	99.91
FP167	54.65	1.08	23.90	7.96	0.01	1.31	0.02	0.45	5.76	0.03	4.65	99.82
FP168	69.15	0.63	16.46	4.50	0.01	1.30	0.02	0.14	4.76	0.02	3.00	99.99
FP169	60.28	0.80	19.56	7.38	0.02	1.72	0.02	0.19	5.74	0.02	4.25	99.98
FP170	63.83	0.75	18.07	6.22	0.01	1.50	0.01	0.18	5.32	0.02	4.01	99.92
FP171	60.12	0.76	19.32	7.19	0.02	1.66	0.01	0.18	5.76	0.03	4.21	99.26
FP172	72.34	0.78	14.09	4.37	0.01	1.16	0.02	0.14	3.98	0.02	3.01	99.92
FP173	61.67	0.78	19.50	6.09	0.01	1.54	0.03	0.19	5.62	0.03	4.24	99.70
FP174	57.35	0.87	21.52	8.00	0.01	1.35	0.04	0.21	6.39	0.06	4.09	99.89
FP175	58.03	0.89	20.56	8.96	0.01	1.30	0.03	0.21	5.92	0.07	4.01	99.99
FP176	58.43	1.03	21.99	7.09	0.01	1.79	0.03	0.58	4.53	0.02	4.25	99.75
FP177	59.37	0.90	20.91	6.75	0.01	2.56	0.02	0.38	4.10	0.03	4.65	99.68
FP178	64.39	0.81	18.77	6.42	0.01	1.62	0.02	0.37	4.03	0.02	3.23	99.69
FP179	60.17	0.87	21.40	6.78	0.01	1.77	0.03	0.43	4.59	0.02	3.54	99.61
FP180	67.90	0.87	17.99	5.88	0.01	0.87	0.03	0.38	2.74	0.04	3.15	99.86
FP181	62.30	0.86	18.86	8.17	0.17	1.57	0.17	0.36	3.48	0.05	3.95	99.94
VL1	650.86	0.62	16.30	6.01	0.20	1.68	0.20	0.18	4.37	0.06	4.41	99.89
VL2	72.05	0.66	14.23	3.76	0.11	1.55	0.13	0.15	4.04	0.03	3.15	99.86
VL4	70.15	0.74	15.38	4.26	0.01	1.23	0.13	0.19	3.95	0.05	3.89	99.98
VL5	64.79	0.71	16.48	6.86	0.14	1.65	0.15	0.21	4.53	0.05	4.44	100.01
VL8	63.55	0.79	17.43	7.47	0.02	1.60	0.22	0.18	4.54	0.07	4.02	99.89
VL9	70.43	0.74	14.53	5.80	0.02	1.10	0.15	0.22	3.32	0.07	3.54	99.92
VL10	60.21	0.83	19.36	8.11	0.02	1.68	0.21	0.21	4.90	0.09	4.12	99.74
VL11	66.83	0.70	16.69	7.06	0.02	1.21	0.12	0.15	3.84	0.07	3.15	99.84
VL12	61.26	0.81	18.88	8.13	0.02	1.38	0.08	0.15	4.49	0.05	4.61	99.86
VL14	59.80	0.84	19.58	7.91	0.02	1.45	0.11	0.16	5.00	0.05	5.01	99.93
VL15	62.73	0.82	18.41	6.60	0.06	1.43	0.26	0.20	4.16	0.04	5.05	99.76
VL16	66.81	0.79	16.50	6.48	0.01	1.20	0.21	0.15	3.68	0.04	4.08	99.95
VL17	67.97	0.68	14.77	5.58	0.04	1.89	0.89	0.15	3.92	0.02	4.01	99.92
VL18	65.09	0.78	17.71	3.66	0.02	1.53	0.22	0.17	4.80	0.02	5.01	99.01
FP148	50.99	0.94	24.12	10.35	0.01	1.28	0.05	0.26	6.99	0.09	4.89	99.97
FP149	70.74	0.49	16.16	3.74	0.01	0.92	0.04	0.17	4.56	0.05	3.02	99.90
FP150	67.09	0.63	17.20	5.35		1.16	0.04	0.18	4.86	0.05	3.21	99.77
FP151	64.71	0.78	18.04	5.99	0.01	1.13	0.04	0.20	5.27	0.05	3.54	99.76
FP152	61.10	0.77	19.17	6.91	0.01	1.83	0.10	0.26	5.90	0.08	3.59	99.72
FP153	62.85	0.80	17.81	6.57	0.01	1.77	0.04	0.14	5.62	0.04	4.12	99.77
FP154	60.51	0.77	19.74	6.88	0.01	1.63	0.20	0.23	5.88	0.07	4.01	99.93
FP155	68.22	0.83	15.98	4.51	0.08	1.35	0.18	0.21	4.48	0.06	4.04	99.94
FP156	66.29	0.74	17.40	5.29	0.01	1.29	0.04	0.30	4.37	0.06	4.10	99.89
FP157	65.90	0.74	17.61	5.30	0.01	1.21	0.10	0.30	4.58	0.05	4.15	99.95
FP158	63.68	0.81	18.18	6.21	0.04	1.75	0.05	0.23	5.08	0.05	3.74	99.82

Примечание. Приведены только анализы с ппп менее мас. 5%.

**Валовый химический состав глинистых пород формации Tadkeshwar  
[Pundaree et al., 2015]**

Образец	SiO <sub>2</sub>	TiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> *	MnO	MgO	CaO	Na <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>
1	44.95	10.56	28.75	7.08	0.05	5.57	2.98	0.45	0.12	0.05
2	46.75	7.62	22.24	11.76	0.12	8.37	2.01	0.30	0.41	0.08
3	46.66	7.99	22.29	12.08	0.15	8.36	1.91	0.30	0.34	0.09
4	46.90	7.32	21.42	12.19	0.09	9.17	2.22	0.29	0.65	0.13
5	46.91	8.34	21.26	13.83	0.05	8.29	1.46	0.30	0.28	0.05
6	46.75	7.98	23.66	10.36	0.05	8.11	1.68	0.16	0.63	0.09
7	43.17	10.85	28.99	12.58	0.08	3.96	0.40	0.29	0.09	0.09
8	43.03	9.75	39.96	2.63	0.03	3.76	0.37	0.28	0.09	0.05
9	45.37	9.49	22.70	16.36	0.25	4.65	0.65	0.18	0.08	0.18
10	42.56	10.25	40.72	2.08	0.01	2.98	0.65	0.26	0.07	0.07
11	42.70	10.05	40.45	2.17	0.01	3.32	0.92	0.29	0.07	0.07
12	43.24	8.64	41.71	1.62	0.01	3.03	0.69	0.28	0.07	0.06
13	42.83	9.42	40.83	1.95	0.01	3.12	0.82	0.29	0.07	0.07
14	44.50	4.88	23.96	14.86	0.04	8.20	1.81	0.31	0.38	0.10

**Валовый химический состав глинистых пород и алевролитов среднего-верхнего триаса,  
сектор Rifian [Zaghloul et al., 2010]**

Образец	SiO <sub>2</sub>	TiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> *	MnO	MgO	CaO	Na <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	ппп	Сумма
1	59.15	1.08	20.97	4.45	0.02	2.38	0.15	0.21	6.01	0.27	5.29	99.98
2	56.65	0.97	20.18	7.87	0.02	2.26	0.11	0.23	5.84	0.19	5.66	99.98
3	62.38	0.86	17.50	7.04	0.02	2.11	0.30	0.18	5.52	0.09	4.51	99.99
4	56.87	0.88	20.13	7.78	0.02	2.34	0.08	0.22	5.79	0.11	5.75	99.97
5	58.06	0.90	19.87	7.10	0.02	2.32	0.10	0.24	5.86	0.09	5.40	99.96
6	64.27	0.79	17.50	5.77	0.08	2.33	0.17	0.36	4.43	0.08	4.21	99.99
7	55.80	0.92	20.30	8.58	0.12	2.63	0.18	0.28	5.23	0.10	5.84	99.98
8	57.33	0.92	19.78	8.07	0.02	2.58	0.09	0.24	4.95	0.07	5.94	99.99
9	56.73	0.80	19.09	7.07	0.09	3.41	1.26	0.64	3.98	0.12	6.80	99.99
10	51.26	0.76	20.38	8.64	0.04	4.11	1.33	0.38	4.62	0.20	8.27	99.99
11	62.30	0.88	19.40	6.21	0.08	2.28	0.30	0.72	2.93	0.05	4.83	99.98
12	59.34	0.90	19.78	6.68	0.06	2.40	0.90	0.69	3.33	0.06	5.85	99.99
13	56.80	0.85	20.85	7.05	0.04	3.11	0.48	0.58	3.54	0.10	6.57	99.97
14	58.11	0.87	21.77	7.19	0.02	1.56	0.31	0.30	2.98	0.03	6.85	99.99
15	56.04	0.88	22.21	7.39	0.02	2.14	0.42	0.42	3.62	0.14	6.71	99.99
16	57.05	0.92	22.06	7.26	0.02	2.14	0.21	0.42	3.56	0.02	6.33	99.99
17	58.01	1.01	20.88	7.54	0.04	2.58	0.25	0.70	3.61	0.06	5.29	99.97
18	64.06	0.84	18.81	5.73	0.04	2.20	0.41	0.84	2.68	0.05	4.32	99.98
19	61.17	0.91	19.29	6.83	0.11	2.39	0.26	0.68	2.98	0.08	5.29	99.99
20	63.05	0.92	18.22	6.60	0.04	2.32	0.25	0.86	2.94	0.06	4.73	99.99
21	60.72	0.80	18.67	6.09	0.04	3.24	0.37	0.76	3.48	0.10	5.71	99.98
22	60.40	0.87	19.43	6.53	0.04	2.71	0.40	0.62	3.05	0.06	5.88	99.99
23	58.83	0.90	20.16	6.65	0.06	2.43	0.84	0.66	3.41	0.07	5.96	99.97

---

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

---

- Абрамович И.И., Зелепугин В.Н., Аглонов С.В., Борковская Е.А.* Основы геодинамического анализа при геологическом картировании. М.: МПР РФ, 1997. 519 с.
- Беккер Ю.Р.* Молассы докембрия. Л.: Недра, 1988. 288 с.
- Беккер Ю.Р.* Позднедокембрийская моласса Южного Урала. Л.: Недра, 1968. 160 с.
- Гарань М.И.* Верхний докембрий (рифей): Стратиграфия // Геология СССР. Т. 12. Пермская, Свердловская, Челябинская и Курганская области. Ч. 1. М.: Недра, 1969. С. 149–200.
- Гареев Э.З.* Геохимические особенности и условия осадконакопления отложений инзерской свиты в стратотипическом разрезе на Южном Урале // Верхний докембрий Южного Урала и востока Русской плиты. Уфа: БФАН СССР, 1988. С. 29–35.
- Гареев Э.З.* Геохимические особенности карбонатных пород опорных разрезов кавказской и уксской свит рифея Южного Урала // Верхний докембрий и палеозой Южного Урала. Уфа: БФАН СССР, 1982. С. 36–46.
- Гареев Э.З.* Геохимия и условия формирования отложений миньярской свиты Южного Урала // Стратиграфия, литология и геохимия верхнего докембрия Южного Урала и Приуралья. Уфа: БФАН СССР, 1986. С. 50–58.
- Гареев Э.З.* Геохимия осадочных пород стратотипического разреза рифея: автореф. дис. ... канд. геол.-мин. наук. М.: ГЕОХИ АН СССР, 1989. 24 с.
- Гареев Э.З.* 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, 1997. С. 171–182.
- Гареев Э.З.* Петрохимия и эволюция составов терригенных пород как отражение процессов осадконакопления на примере стратотипа ашинской серии венда на Южном Урале // Палеогеография венда-раннего палеозоя Северной Евразии. Екатеринбург: ИГГ УрО РАН, 1998. С. 56–63.
- Гареев Э.З.* Условия формирования зильмердакских отложений по геохимическим данным на примере стратотипического разреза по р. Малый Инзер (Южный Урал) // Геохимия осадочных формаций Урала. Свердловск: УНЦ АН СССР, 1987. С. 29–36.
- Гарецкий Р.Г.* Авлакогены платформ Северной Евразии // Геотектоника. 1995. № 4. С. 16–28.
- Грачев А.Ф.* Рифтовые зоны Земли. Л.: Недра, 1987. 247 с.
- Иванов С.Н.* О байкалидах Урала // Докл. АН СССР. 1977. Т. 327, № 5. С. 1144–1147.
- Иванов С.Н.* О байкалидах Урала и Сибири // Геотектоника. 1981. № 5. С. 47–65.
- Иванов С.Н.* О доордовикской истории Урала и предгеосинклинальном развитии земной коры вообще // Доордовикская история Урала. Свердловск: УНЦ АН СССР, 1980. Вып. 1. С. 3–28.

*Иванов С.Н., Пучков В.Н., Иванов К.С. Самаркин Г.И., Семенов И.В., Пумпянский А.И., Дымкин А.М., Полтавец Ю.А., Русин А.И., Краснобаев А.А.* Формирование земной коры Урала. М.: Наука, 1986. 248 с.

*Казьмин В.Г.* Рифтовые структуры Восточной Африки – раскол континента и зарождение океана. М.: Наука, 1987. 205 с.

*Козлов В.И., Сергеева Н.Д., Генина Л.А.* К вопросу о строении и расчленении машакской свиты среднего рифея Южного Урала // Геологический сборник № 6. Уфа: ИГ УНЦ РАН, 2007. С. 21–32.

*Краснобаев А.А., Козлов В.И., Пучков В.Н., Бушарина С.В., Сергеева Н.Д., Падерин И.П.* Цирконовая геохронология машакских вулканитов и проблема возраста границы нижний–средний рифей (Южный Урал) // Стратиграфия. Геол. корреляция. 2013б. Т. 21, № 5. С. 3–20.

*Краснобаев А.А., Пучков В.Н., Козлов В.И., Сергеева Н.Д., Бушарина С.В., Лепехина Е.Н.* Цирконология навьшских вулканитов айской свиты и проблема возраста нижней границы рифея на Южном Урале // Докл. АН. 2013а. Т. 448, № 4. С. 437–442.

*Ларионов Н.Н., Бергазов И.Р., Генина Л.А., Грановская Н.В., Захаров А.А., Нигматуллина А.М., Цветкова А.А.* Государственная геологическая карта Российской Федерации масштаба 1 : 200 000. Изд. 2-е. Сер. Южноуральская. Л. N-40-XXII (Тузан). Объяснительная записка. Уфа: ОАО «Башкиргеология», 2006. 248 с.

*Леонов Ю.Г.* Континентальный рифтогенез: современные представления, проблемы и решения // Геотектоника. 2001. № 2. С. 5–18.

*Лиханов И.И., Ревердатто В.В.* Неопротерозойские комплексы-индикаторы континентального рифтогенеза как свидетельство процессов распада Родинии на западной окраине Сибирского кратона // Геохимия. 2015. № 8. С. 675–694.

*Логачев Н.А.* Вулканогенные и осадочные формации рифтовых зон Восточной Африки. М.: Наука, 1977. 183 с.

*Логачев Н.А.* Осадочные и вулканогенные формации Байкальской рифтовой зоны // Байкальский рифт. М.: Наука, 1968. С. 72–101.

*Маслов А.В.* Гляциогенные и связанные с ними осадочные образования: основные литохимические особенности. Сообщ. 1. Поздний архей, протерозой // Литология и полез. ископаемые. 2010а. № 4. С. 423–445.

*Маслов А.В.* Гляциогенные и связанные с ними осадочные образования: основные литохимические особенности. Сообщ. 2. Палеозой, кайнозой // Литология и полез. ископаемые. 2010б. № 5. С. 496–518.

*Маслов А.В.* Литология верхнерифейских отложений Башкирского мегантиклинория. М.: Наука, 1988. 133 с.

*Маслов А.В.* Осадочные комплексы в разрезах рифтогенных структур. Екатеринбург: ИГГ УрО РАН, 1994а. 162 с.

*Маслов А.В.* Раннерифейский Волго-Уральский седиментационный бассейн // Литология и полез. ископаемые. 1994б. № 5. С. 99–118.

*Маслов А.В.* Типы источников сноса песчаных ассоциаций эталона рифея // Ежегодник-1994. Екатеринбург: ИГГ УрО РАН, 1995. С. 41–44.

*Маслов А.В., Анфимов Л.В.* Авзянская рудоносная свита среднего рифея Южного Урала (литостратиграфия, условия образования, минералогия). Екатеринбург: ИГГ УрО РАН, 2000. 132 с.

*Маслов А.В., Гареев Э.З.* Основные петрохимические особенности и условия образования аркозовых комплексов рифея и венда Южного Урала // Литология и полез. ископаемые. 1992. № 3. С. 50–60.

*Маслов А.В., Гареев Э.З.* Основные черты петрохимической эволюции песчаников стратотипического разреза рифея на Южном Урале // Литология и полез. ископаемые. 1994. № 4. С. 119–127.

*Маслов А.В., Гареев Э.З.* Петрографо-петрохимические аспекты формирования нижнерифейских песчаниковых ассоциаций Южного Урала // *Геохимия*. 1996. № 3. С. 278–288.

*Маслов А.В., Гареев Э.З., Ишерская М.В.* «Стандартные» дискриминантные палеогеодинамические диаграммы и платформенные песчаниковые ассоциации // *Отечественная геология*. 2012б. № 3. С. 55–65.

*Маслов А.В., Гареев Э.З., Котова Л.Н., Подковыров В.Н.* Литохимические особенности песчаников машакской свиты (средний рифей, Южный Урал) // *Проблемы минералогии, петрографии и металлогении: материалы научных чтений памяти П.Н. Чирвинского*. Вып. 21. Пермь: Изд-во Пермского государственного национального исследовательского университета, 2018в. С. 153–161.

*Маслов А.В., Гареев Э.З., Крупенин М.Т.* Терригенные осадочные последовательности типового разреза рифея: соотношение процессов рециклинга и привноса first cycle материала // *Геохимия*. 2005. № 2. С. 158–181.

*Маслов А.В., Гареев Э.З., Крупенин М.Т., Ронкин Ю.Л.* Литогеохимические особенности глинистых сланцев и аргиллитов верхнего рифея Башкирского мегантиклинория в координатах реального времени // *Литосфера*. 2007. № 5. С. 38–67.

*Маслов А.В., Гареев Э.З., Подковыров В.Н.* Песчаники верхнего рифея и венда Башкирского мегантиклинория // *Литология и полез. ископаемые*. 2010. № 3. С. 320–338.

*Маслов А.В., Гареев Э.З., Подковыров В.Н., Котова Л.Н.* Синрифтовые осадочные образования основания эталонного разреза рифея Южного Урала (краткая литохимическая характеристика) // *Вестник СПбГУ. Науки о Земле*. 2018б. Т. 63, № 1. С. 36–55.

*Маслов А.В., Ишерская М.В.* Осадочные ассоциации рифея Волго-Уральской области (условия формирования и литофациальная зональность). Екатеринбург: ИГГ УрО РАН, 1998. 286 с.

*Маслов А.В., Ковалев С.Г., Пучков В.Н., Сергеева Н.Д.* Аршинская серия рифея Южного Урала: к вопросу о геодинамической природе породных ассоциаций // *Докл. АН*. 2018г. Т. 480, № 1. С. 64–68.

*Маслов А.В., Крупенин М.Т., Гареев Э.З.* Литологические, литохимические и геохимические индикаторы палеоклимата (на примере рифея Южного Урала) // *Литология и полез. ископаемые*. 2003а. № 5. С. 427–446.

*Маслов А.В., Крупенин М.Т., Гареев Э.З., Анфимов Л.В.* Рифей западного склона Южного Урала (классические разрезы, седименто- и литогенез, минералогия, геологические памятники природы). Екатеринбург: ИГГ УрО РАН, 2001. Т. 1. 351 с.

*Маслов А.В., Крупенин М.Т., Гареев Э.З., Петров Г.А.* К оценке редокс-обстановок рифейских и вендских бассейнов осадконакопления западного склона Урала // *Литосфера*. 2003б. № 2. С. 75–93.

*Маслов А.В., Крупенин М.Т., Ронкин Ю.Л., Гареев Э.З., Лепихина О.П., Попова О.Ю.* Тонкозернистые алюмосиликокластические образования стратотипического разреза среднего рифея на Южном Урале: особенности формирования, состав и эволюция источников сноса // *Литология и полез. ископаемые*. 2004а. № 4. С. 414–441.

*Маслов А.В., Мизенс Г.А., Бадида Л.В., Крупенин М.Т., Вовна Г.М., Киселев В.И., Ронкин Ю.Л.* Литогеохимия терригенных ассоциаций южный впадин Предуральяского прогиба. Екатеринбург: ИГГ УрО РАН, 2015б. 308 с.

*Маслов А.В., Мизенс Г.А., Подковыров В.Н., Гареев Э.З., Сорокин А.А., Смирнова Ю.Н., Сокур Т.М.* Синорогенные псаммиты: основные черты литохимии // *Литология и полез. ископаемые*. 2013. № 1. С. 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.* Синорогенные глинистые породы: особенности валового химического состава и палеотектоника // *Геохимия*. 2015а. № 6. С. 512–538.



*Маслов А.В., Ножкин А.Д., Подковыров В.Н., Летникова Е.Ф., Туркина О.М., Гражданкин Д.В., Дмитриева Н.В., Ишерская М.В., Крупенин М.Т., Ронкин Ю.Л., Гареев Э.З., Вещева С.В., Лепихина О.П.* Геохимия тонкозернистых терригенных пород верхнего докембрия Северной Евразии. Екатеринбург: УрО РАН, 2008а. 274 с.

*Маслов А.В., Ножкин А.Д., Подковыров В.Н., Летникова Е.Ф., Туркина О.М., Ронкин Ю.Л., Крупенин М.Т., Дмитриева Н.В., Гареев Э.З., Лепихина О.П., Попова О.Ю.* Тонкозернистые алюмосиликокластические породы рифея Южного Урала, Учуро-Майского региона и Енисейского кряжа: основные литогеохимические характеристики // Геохимия. 2008б. № 11. С. 1187–1215.

*Маслов А.В., Оловянишников В.Г., Ишерская М.В.* Рифей восточной, северо-восточной и северной периферии Русской платформы и западной мегазоны Урала: литостратиграфия, условия формирования и типы осадочных последовательностей // Литосфера. 2002. № 2. С. 54–95.

*Маслов А.В., Подковыров В.Н., Гареев Э.З.* К оценке палеогеодинамических обстановок формирования осадочных последовательностей нижнего и среднего рифея Учуро-Майского региона и Башкирского мегантиклинория // Тихоокеан. геология. 2012а. Т. 31, № 5. С. 55–68.

*Маслов А.В., Подковыров В.Н., Гареев Э.З., Граунов О.В.* Изменения палеоклимата в позднем докембрии (по данным изучения верхнедокембрийского разреза Южного Урала) // Литология и полез. ископаемые. 2016в. № 2. С. 129–149.

*Маслов А.В., Подковыров В.Н., Гареев Э.З., Котова Л.Н.* Валовый химический состав песчаников и палеогеодинамические реконструкции // Литосфера. 2016а. № 6. С. 33–55.

*Маслов А.В., Подковыров В.Н., Гареев Э.З., Сергеева Н.Д.* Синрифтовые песчаники: особенности валового химического состава и положение на дискриминантных палеогеодинамических диаграммах // Геодинамика и тектонофизика. 2018а. Т. 9, № 1. С. 59–80.

*Маслов А.В., Подковыров В.Н., Котова Л.Н.* Синрифтовые глинистые породы: валовый химический состав и положение на дискриминантных палеогеодинамических диаграммах // Геохимия. 2019. Т. 64, № 6. С. 618–633.

*Маслов А.В., Подковыров В.Н., Мизенс Г.А., Ножкин А.Д., Фазлиахметов А.М., Малиновский А.И., Худoley А.К., Котова Л.Н., Купцова А.В., Гареев Э.З., Зайнуллин Р.И.* Дискриминантные палеогеодинамические диаграммы для терригенных пород: опыт сопоставления // Геохимия. 2016б. № 7. С. 579–595.

*Маслов А.В., Подковыров В.Н., Ронкин Ю.Л., Крупенин М.Т., Гареев Э.З., Горожанин В.М.* Долговременные вариации состава верхней коры по данным изучения геохимических особенностей глинистых пород позднего докембрия западного склона Южного Урала и Учуро-Майского региона // Стратиграфия. Геол. корреляция. 2006. Т. 14, № 2. С. 26–51.

*Маслов А.В., Ронкин Ю.Л., Крупенин М.Т., Гареев Э.З., Лепихина О.П.* Источники сноса рифейских бассейнов седиментации области сочленения Русской платформы и Южного Урала: синтез петрографических, петро- и геохимических данных // Докл. АН. 2003в. Т. 389, № 2. С. 219–222.

*Маслов А.В., Ронкин Ю.Л., Крупенин М.Т., Гареев Э.З., Лепихина О.П.* Нижнерифейские тонкозернистые алюмосиликокластические осадочные образования Башкирского мегантиклинория на Южном Урале: состав и эволюция источников сноса // Геохимия. 2004б. № 6. С. 648–669.

*Милановский Е.Е.* Рифтовые зоны континентов. М.: Недра, 1976. 280 с.

*Милановский Е.Е.* Рифтогенез в истории Земли (рифтогенез на древних платформах). М.: Недра, 1983. 280 с.

*Никишин А.М., Ершов А.В., Копаевич Л.Ф., Алексеев А.С., Барабошкин Е.Ю., Болотов С.Н., Веймарн А.Б., Кортаев М.В., Фокин П.А., Фурнэ А.В., Шалимов И.В.* Гео-

исторический и геодинамический анализ осадочных бассейнов. М.: МПР РФ; ЦРГЦ; Геокарт; МГУ, 1999. 524 с.

*Николаев В.Г.* Строение осадочного выполнения континентальных рифтов // Геотектоника. 1986. № 2. С. 116–124.

*Ножкин А.Д., Маслов А.В., Подковыров В.Н., Туркина О.М., Летникова Е.Ф., Ронкин Ю.Л., Крупенин М.Т., Дмитриева Н.В., Гареев Э.З., Лепихина О.П.* Геохимические особенности терригенных пород рифея Южного Урала и Сибири и вариации зрелости континентальной коры // Геология и геофизика. 2009. Т. 50, № 2. С. 95–114.

*Ножкин А.Д., Постников А.А., Наговицин К.Е., Травин А.В., Станевич А.М., Юдин Д.С.* Чингасанская серия неопротерозоя Енисейского кряжа: новые данные о возрасте и условиях образования // Геология и геофизика. 2007. Т. 48, № 12. С. 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.* Неопротерозойский рифтогенный и внутриплитный магматизм Енисейского кряжа как индикатор процессов распада Родинии // Геология и геофизика. 2008. Т. 49, № 7. С. 666–688.

Осадочные бассейны: методика изучения, строение и эволюция / под ред. Ю.Г. Леонова, Ю.А. Воложа. М.: Научный мир, 2004. 526 с.

*Парначев В.П.* Вулканические комплексы и тектонический режим западного склона Южного Урала в позднем докембрии // Древний вулканизм Южного Урала. Свердловск: УНЦ АН СССР, 1981. С. 18–30.

*Парначев В.П.* Магматизм и осадконакопление в позднедокембрийской истории Южного Урала: автореф. дис. ... д-ра геол.-мин. наук. Свердловск: ИГГ УрО АН СССР, 1988. 33 с.

*Парначев В.П., Ротарь А.Ф., Ротарь З.М.* Среднерифейская вулканогенно-осадочная ассоциация Башкирского мегантиклинория (Южный Урал). Свердловск: УрО АН СССР, 1986. 104 с.

*Петтиджон Ф.Дж., Поттер П., Сивер Р.* Пески и песчаники. М.: Мир, 1976. 534 с.

*Подковыров В.Н.* Осадочные последовательности рифея и венда стратотипических регионов Сибири и Урала (литохимия, хемотратиграфия, геодинамические обстановки формирования): автореф. дис. ... д-ра геол.-мин. наук. СПб.: ИГГД РАН, 2001. 37 с.

*Подковыров В.Н., Ковач В.П., Котова Л.Н.* Глинистые отложения сибирского гипостратотипа рифея и венда: химический состав, Sm-Nd систематика источников и этапы формирования // Литология и полез. ископаемые. 2002. № 4. С. 397–418.

*Пучков В.Н.* Взаимосвязь плитных и плюмовых процессов в глобальном и региональном масштабе. Плюмовые процессы на Урале // Металлогения древних и современных океанов – 2016. От минералогенезиса к месторождениям. Миасс: ИМин УрО РАН, 2016. С. 17–21.

*Пучков В.Н.* Взаимосвязь плитотектонических и плюмовых процессов // Геотектоника. 2016. № 4. С. 88–104.

*Пучков В.Н.* Геология Урала и Приуралья (актуальные вопросы стратиграфии, тектоники, геодинамики и металлогении). Уфа: ДизайнПолиграфСервис, 2010. 280 с.

*Пучков В.Н.* Палеогеодинамика Южного и Среднего Урала. Уфа: ГИЛЕМ, 2000. 146 с.

*Пучков В.Н.* Плюмы в истории Урала // Бюл. МОИП. Отд. геол. 2013. № 4. С. 64–73.

*Пучков В.Н., Краснобаев А.А., Сергеева Н.Д.* Новое в стратиграфии стратотипического разреза рифея // Общая стратиграфическая шкала России: состояние и проблемы обустройства. М.: ГИН РАН, 2013. С. 70–72.

*Пучков В.Н., Сергеева Н.Д., Краснобаев А.А.* Стратиграфическая схема стратотипа рифея Южного Урала // Геология. Известия Отделения наук о Земле и природных ресурсов АН РБ. 2017. № 23. С. 3–26.

*Раабен М.Е.* Верхний рифей как единица общей стратиграфической шкалы. М.: Наука, 1975. 248 с.

*Разваляев А.В.* Континентальный рифтогенез и его предистория. М.: Недра, 1988. 189 с.

*Романов В.А.* Типовые разрезы докембрия Южного Урала. М.: Наука, 1973. 133 с.

*Ронов А.Б., Мигдисов А.А., Хане К.* Количественные закономерности эволюции состава алевропесчаных пород Русской плиты // Геохимия. 1995. № 3. С. 323–348.

*Ротарь А.Ф.* К вопросу о составе и стратиграфическом положении конгломератов машакской свиты на Южном Урале // Конгломераты и их роль в познании геологической истории Урала. Свердловск: УНЦ АН СССР, 1976. С. 14–20.

*Ротарь А.Ф.* Машакская свита (рифей) на Южном Урале // Сов. геология. 1974. № 4. С. 116–123.

*Рыкус М.В., Сначёв В.И., Насибуллин Р.А., Рыкус Н.Г., Савельев Д.Е.* Осадконакопление, магматизм и рудоносность северной части зоны Уралтау. Уфа: ИГ УНЦ РАН, 2002. 266 с.

*Самойлов В.С., Ярмолюк В.В.* Континентальный рифтогенез: типизация, магматизм, геодинамика // Геотектоника. 1992. № 1. С. 3–23.

*Семихатов М.А., Кузнецов А.Б., Чумаков Н.М.* Изотопный возраст границ общих стратиграфических подразделений верхнего протерозоя (рифей и венда) России: эволюция взглядов и современная оценка // Стратиграфия. Геол. корреляция. 2015. Т. 23, № 6. С. 16–27.

*Семихатов М.А., Серебряков С.Н.* Сибирский гипостратотип рифей М.: Наука, 1983. 224 с.

*Смирнов Ю.Д.* История развития Уральской складчатой области в докембрии // Геология докембрия. Докл. советских геологов. МГК XXII сессия. М.: Недра, 1964. С. 195–207.

Стратотип рифей. Стратиграфия. Геохронология / под ред. Б.М. Келлера, Н.М. Чумакова. М.: Наука, 1983. 184 с.

*Худолей А.К.* Континентальный рифтогенез и пассивные окраины: тектоника и эволюция осадочных бассейнов: учеб. пособие. СПб.: Изд-во СПбГУ, 2004. 84 с.

*Чайка В.М.* Докембрийские аркозовые формации, метаморфизованные россыпи и цирконовый метод изучения метаморфических пород и гранитов // Проблемы осадочной геологии докембрия. Вып. 1. М.: Недра, 1966. С. 200–215.

*Чамов Н.П.* Стрoение и развитие Среднерусско-Беломорской провинции в неопротерозое. М.: ГЕОС, 2016. 233 с.

*Шванов В.Н., Трифионов Б.А.* Вертикальные ряды петрографических видов песчаных пород как индикаторы геодинамических обстановок // Изв. вузов. Геология и разведка. 1997. № 5. С. 42–50.

*Шутов В.Д.* Классификация песчаников // Литология и полез. ископаемые. 1967. № 5. С. 86–103.

*Эринчек Ю.М., Мильштейн Е.Д.* Рифейский рифтогенез центральной части Восточно-Европейской платформы. СПб.: ВСЕГЕИ, 1995. 48 с.

*Юдович Я.Э., Кетрис М.П.* Геохимия черных сланцев. Л.: Наука, 1988. 272 с.

*Юдович Я.Э., Кетрис М.П.* Основы литохимии. СПб.: Наука, 2000. 479 с.

*Adeigbe O.C., Jimoh Y.A.* Geochemical Fingerprints; Implication for Provenance, Tectonic and Depositional Settings of Lower Benue Trough Sequence, Southeastern Nigeria // J. Environm. Earth Sci. 2013. V. 3, no. 10. P. 115–140.

*Armstrong-Altrin J.S., Verma S.P.* Critical evaluation of six tectonic setting discrimination diagrams using geochemical data of Neogene sediments from known tectonic settings // Sed. Geol. 2005. V. 177. P. 115–129.

- Arribas J., Alonso A., Mas R., Tortosa A., Rodas M., Barrenechea J.F., Alonso-Azcarate J., Artigas R.* Sandstone petrography of continental depositional sequences of an intra-plate rift basin: Western Cameros basin (North Spain) // *J. Sed. Res.* 2003. V. 73. P. 309–327.
- Bakkiaraj D., Nagendra R., Nagarajan R., Armstrong-Altrin J.S.* Geochemistry of Sandstones from the Upper Cretaceous Sillakkudi Formation, Cauvery Basin, Southern India: Implication for Provenance // *J. Geol. Soc. India.* 2010. V. 76. P. 453–467.
- Bhatia M.R.* Plate tectonics and geochemical composition of sandstones // *J. Geol.* 1983. V. 91. P. 611–627.
- Bhatia M.R., Crook K.A.W.* Trace element characteristics of graywackes and tectonic setting discrimination of sedimentary basins // *Contr. Mineral. Petrol.* 1986. V. 92. P. 181–193.
- Bolnar R., Kamber B.S., Moorbath S., Whitehouse M.J., Collerson K.D.* Chemical characterization of earth's most ancient clastic metasediments from the Isua Greenstone Belt, southern West Greenland // *Geochim. Cosmochim. Acta.* 2005. V. 69. P. 1555–1573.
- Brun J.-P.* Narrow rifts versus wide rifts: inferences for the mechanics of rifting from laboratory experiments // *Phil. Trans. Royal Soc. London. Ser. A.* 1999. V. 357. P. 695–712.
- Buck W.R.* Modes of continental lithospheric extension // *J. Geophys. Res.* 1991. V. 96. P. 20161–20178.
- Burke K., Dewey J.F.* Plume-generated triple junctions: key indicators in applying plate tectonics of old rocks // *J. Geol.* 1973. V. 81. P. 406–433.
- Cai G., Guo F., Liu X., Sui S.* 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.* 2011. V. 45. P. 33–55.
- Cai G., Guo F., Liu X., Sui S., Li C., Zhao L.* Geochemistry of Neogene sedimentary rocks from the Jiyang basin, North China Block: The roles of grain size and clay minerals // *Geochem. J.* 2008. V. 42. P. 381–402.
- Caracciolo L., Critelli S., Innocenti F., Kolios N., Manetti P.* Unravelling provenance from Eocene–Oligocene sandstones of the Thrace Basin, North-east Greece // *Sedimentology.* 2011. V. 58. P. 1988–2011.
- Caracciolo L., von Eynatten H., Tolosana-Delgado R., Critelli S., Manetti P., Marchev P.* Petrological, geochemical, and statistical analysis of Eocene–Oligocene sandstones of the Western Thrace basin, Greece and Bulgaria // *J. Sed. Res.* 2012. V. 82. P. 482–498.
- Cole G.A., Requejo A.G., Ormerod D., Yu Z., Clifford A.* Petroleum geochemical assessment of the Lower Congo Basin // *Petroleum systems of South Atlantic margins* / ed. by M.R.Mello, B.J. Katz. AAPG Memoir. 2000. V. 73. P. 325–339.
- Condie K.C.* Chemical composition and evolution of the upper continental crust: contrasting results from surface samples and shales // *Chem. Geol.* 1993. V. 104. P. 1–37.
- Condie K.C.* *Plate Tectonics and Continental Drifts.* Oxford: Pergamon Press, 1997. 282 p.
- Condie K.C., Lee D., Farmer G.L.* 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.* 2001. V. 141–142. P. 443–464.
- Continental rifts: evolution, structure, tectonics / ed. by K.H. Olsen. Lynnwood: Elsevier, 1995. 465 p.
- Corti G.* Continental rift evolution: from rift initiation to incipient break-up in the Main Ethiopian Rift, East Africa // *Earth-Sci. Rev.* 2009. V. 96. P. 1–53.
- Cox R., Lowe D.R., Cullers R.L.* The influence of sediment recycling and basement composition on evolution of mudrock chemistry in southwestern United States // *Geochim. Cosmochim. Acta.* 1995. V. 59. P. 2919–2940.
- Crossley R.* Controls of sedimentation in the Malawi Rift Valley, Central Africa // *Sed. Geol.* 1984. V. 40. P. 33–50.
- Cullers R.L.* The controls on the major and trace element variation of shales, siltstones, and sandstones of Pennsylvanian–Permian age from uplifted continental blocks in Colorado

to platform sediment in Kansas, USA // *Geochim. Cosmochim. Acta*. 1994. V. 58. P. 4955–4972.

*Cullers R.L.* The geochemistry of shales, siltstones and sandstones of Pennsylvanian–Permian age, Colorado, USA: implications for provenance and metamorphic studies // *Lithos*. 2000. V. 51. P. 181–203.

*Cullers R.L., Berendsen P.* The provenance and chemical variation of sandstones associated with the Mid-Continent Rift System, U.S.A. // *Europ. J. Miner.* 1998. V. 10. P. 987–1002.

*Cullers R.L., Podkovyrov V.N.* The source and origin of terrigenous sedimentary rocks in the Mesoproterozoic Ui group, southeastern Russia // *Precam. Res.* 2002. V. 117. P. 157–183.

*Cullers R.L., Stone J.* Chemical and mineralogical comparison of the Pennsylvanian Fountain Formation, Colorado, U.S.A. (an uplifted continental block) to sedimentary rocks from other tectonic environments // *Lithos*. 1991. V. 27. P. 115–131.

*Das B.K., Al-Mikhlafti A.S., Kaur P.* Geochemistry of Mansar Lake sediments, Jammu, India: Implication for source-area weathering, provenance, and tectonic setting // *J. Asian Earth Sci.* 2006. V. 26. P. 649–668.

*Davison I., Underhill J.R.* Tectonics and sedimentation in extensional rifts: Implications for petroleum systems // *Tectonics and sedimentation: Implications for petroleum systems* / ed. by D. Gao. AAPG Memoir. 2012. V. 100. P. 15–42.

*Deru X., Xuexiang G., Pengchun L., Guanghao C., Bin X., Bachlinski R., Zhuanli H., Gonggu F.* 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.* 2007. V. 29. P. 637–650.

*Descourvieres C., Douglas G., Leyland L., Hartog N., Prommer H.* Geochemical reconstruction of the provenance, weathering and deposition of detrital-dominated sediments in the Perth Basin: The Cretaceous Leederville Formation, south-west Australia // *Sed. Geol.* 2011. V. 236. P. 62–76.

*Dickinson W.R.* Plate tectonics and sedimentation // *SEPM Spec. Publ.* 1974. V. 22. P. 1–27.

*Dostal J., Keppie J.D.* Geochemistry of low-grade clastic rocks in the Acatlán Complex of southern Mexico: Evidence for local provenance in felsic–intermediate igneous rocks // *Sed. Geol.* 2009. V. 222. P. 241–253.

*Dupuis C., Hebert R., Dubois-Cote V., Guilmette C., Wang C.S., Li Z.J.* Geochemistry of sedimentary rocks from melange and flysch units south of the Yarlung Zangbo suture zone, southern Tibet // *J. Asian Earth Sci.* 2006. V. 26. P. 489–508.

*El-Rahman Y.A., Polat A., Fryer B.J., Dilek Y., El-Sharkawy M., Sakran S.* The provenance and tectonic setting of the Neoproterozoic Um Hassa Greywacke Member, Wadi Hammamat area, Egypt: Evidence from petrography and geochemistry // *J. Afr. Earth Sci.* 2010. V. 58. P. 185–196.

*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.* Geochemistry of Merkhayat Sandstones, Omdurman Formation, Sudan: Implication of depositional environment, provenance and tectonic setting // *Inter. J. Geology, Agriculture Environmental Sci.* 2014. V. 2, no. 3. P. 10–15.

*Ernst R.E., Pease V., Puchkov V.N., Kozlov V.I., Sergeeva N.D., Hamilton M.* Geochemical Characterization of Precambrian magmatic suites of the southeastern margin of the East European Craton, Southern Urals, Russia // *Геологический сборник № 5. Уфа: ДизайнПолиграфСервис*, 2006. С. 119–161.

*Etemad-Saeed N., Hosseini-Barzi M., Armstrong-Altrin J.S.* Petrography and geochemistry of clastic sedimentary rocks as evidences for provenance of the Lower Cambrian Lalun Formation, Posht-e-badam block, Central Iran // *J. Afr. Earth Sci.* 2011. V. 61. P. 142–159.

*Evans A.L.* Miocene sandstone provenance relations in the Gulf of Suez: insights into synrift unroofing and uplift history // *AAPG Bull.* 1990. V. 74. P. 1386–1400.

*Fatima S., Khan M.S.* Petrographic and geochemical characteristics of Mesoproterozoic Kumbalgarh clastic rocks, NW Indian shield: implications for provenance, tectonic setting, and crustal evolution // *Inter. Geol. Rev.* 2012. V. 54. P. 1113–1144.

*Fedo C.M., Nesbitt H.W., Young G.M.* Unraveling the Effects of Potassium Metasomatism in Sedimentary Rocks and Paleosols, with Implications for Weathering Conditions and Provenance // *J. Geol.* 1995. V. 23. P. 921–924.

*Fedo C.M., Young G.M., Nesbitt H.W.* Paleoclimatic control on the composition of the Paleoproterozoic Serpent Formation, Huronian Supergroup, Canada: a greenhouse to ice-house transition // *Prec. Res.* 1997. V. 86. P. 201–223.

*Friedmann S.J., Burbank D.W.* Rift basins and supradetachment basins: intracontinental extensional end-members // *Basin Res.* 1995. V. 7. P. 109–127.

*Garzanti E., Vezzoli G., Ando S., Castiglioni G.* Petrology of rifted-margin sand (Red Sea and Gulf of Aden, Yemen) // *J. Geol.* 2001. V. 109. P. 277–297.

*Gawthorpe R.L., Leeder M.R.* Tectono-sedimentary evolution of active extensional basins // *Basin Res.* 2000. V. 12. P. 195–218.

Geoscience of Rift Systems – Evolution of East Africa / ed. by C.K. Morley. AAPG, Studies in Geol. 1999. V. 44. 250 p.

*Ghandour I.M., Masuda H., Maejima W.* Mineralogical and chemical characteristics of Bajocian-Bathonian shales, G. Al-Maghara, North Sinai, Egypt: Climatic and environmental significance // *Geochem. J.* 2003. V. 37. P. 87–108.

*Ghosh S., Sarkar S.* Geochemistry of Permo-Triassic mudstone of the Satpura Gondwana basin, central India: Clues for provenance // *Chem. Geol.* 2010. V. 277. P. 78–100.

*Ghosh S., Sarkar S., Ghosh P.* 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.* 2012. V. 43. P. 207–240.

*González-Álvarez I.J.* 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, 2005. 243 p.

*Gu X.X., Liu J.M., Zheng M.H., Tang J.X., Qi L.* Provenance and tectonic setting of the proterozoic turbidites in Hunan, South China: geochemical evidence // *J. Sed. Res.* 2002. V. 72. P. 393–407.

*Harnois L.* The CIW, Index: A New Chemical Index of Weathering // *Sed. Geol.* 1988. V. 55. P. 319–322.

*Harris N.B.* Evolution of the Congo rift basin, West Africa: an inorganic geochemical record in lacustrine shales // *Basin Res.* 2000. V. 12. P. 425–445.

*Hassan S., Ishiga H., Roser B.P., Dozen K., Naka T.* Geochemistry of Permian–Triassic shales in the Salt Range, Pakistan: implications for provenance and tectonism at the Gondwana margin // *Chem. Geol.* 1999. V. 158. P. 293–314.

*Helwig J.A.* Origin and Classification of Sedimentary Basins // *Proceedings of the 17<sup>th</sup> Annual Offshore Technology Conference. Paper 4843.* V. 1. 1985. P. 21–35.

*Herron M.M.* Geochemical Classification of Terrigenous Sands and Shales from Core or Log Data // *J. Sed. Petrol.* 1988. V. 58. P. 820–829.

*Hiscott R.N., Wilson R.C.L., Gradstein F.M., Pujalte V., Garcia-Mondejar J., Boudreau R.R., Wishart H.A.* Comparative stratigraphy and subsidence history of Mesozoic rift basins of North Atlantic // *AAPG Bull.* 1990. V. 74. P. 60–76.

*Huismans R.S., Podladchikov Y.Y., Cloetingh S.* Transition from passive to active rifting: relative importance of asthenospheric doming and passive extension of the lithosphere // *J. Geoph. Res.* 2001. V. 106. P. 11271–11291.

- Huntsman-Mapila P., Kampunzu A.B., Vink B., Ringrose S.* Cryptic indicators of provenance from the geochemistry of the Okavango Delta sediments, Botswana // *Sed. Geol.* 2005. V. 174. P. 123–148.
- Illies J.H., Greiner G.* Rhinegraben and the Alpine system // *GSA Bull.* 1978. V. 89. P. 770–782.
- Ingersoll R.V.* Tectonics of sedimentary basins // *GSA Bull.* 1988. V. 100. P. 1704–1719.
- Ingersoll R.V.* Tectonics of sedimentary basins, with revised nomenclature // *Tectonics of Sedimentary Basins: Recent Advances* / ed. by C. Busby, A.A. Perez. Hoboken: Blackwell Publishing, 2012. P. 3–43.
- Ingersoll R.V., Busby C.J.* Tectonics of sedimentary basins // *Tectonics of sedimentary basins* / ed. by C.J. Busby, R.V. Ingersoll. Oxford: Blackwell Science, 1995. P. 1–51.
- Ingersoll R.V., Cavazza W., Baldrige W.S., Shaficullah M.* Cenozoic sedimentation and paleotectonics of north-central New Mexico: Implication for initiation and evolution of the Rio Grande rift // *GSA Bull.* 1990. V. 102. P. 1280–1296.
- Ishiga H., Dozen K., Sampei Y.* 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.* 1999. V. 17. P. 443–457.
- Jones C.H., Wernicke B.P., Farmer G.L., Walker J.D., Coleman D.S., Mckenna L.W., Perry F.V.* Variations across and along a major continental rift: an interdisciplinary study of the Basin and Range Province, Western USA // *Tectonophysics.* 1992. V. 213. P. 57–96.
- Keen C.E.* The dynamics of rifting: deformation of the lithosphere by active and passive driving mechanisms // *Geophys. J. Royal Astronom. Soc.* 1985. V. 80. P. 95–120.
- 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.* Sedimentary evolution of the Riphean-Vendian Basin of southeastern Siberia // *Prec. Res.* 2001. V. 111. P. 129–163.
- Kingston D.K., Dishroon C.P., Williams P.A.* Global basin classification // *AAPG Bull.* 1983. V. 67. P. 2175–2193.
- Klemme H.D.* Petroleum basins – classifications and characteristics // *J. Petrol. Geol.* 1980. V. 3. P. 187–207.
- Kroonenberg S.B.* Effects of provenance, sorting and weathering on the geochemistry of fluvial sands from different tectonic and climatic environments // *Proc. of the 29<sup>th</sup> Int. Geol. Congress.* 1994. Pt A. P. 69–81.
- Lambiase J.J., Bosworth W.* Structural controls on sedimentation in continental rifts // *Hydrocarbon Habitat in Rift Basins* / ed. by J.J. Lambiase. Geol. Soc. London, Spec. Publ. 1995. No. 80. P. 117–144.
- Leeder M.R.* Continental rifts and proto-oceanic rift troughs // *Tectonics of sedimentary basins* / ed. by C.J. Busby, R.V. Ingersoll. Oxford: Blackwell Science, 1995. P. 119–148.
- Leeder M.R., Gawthorpe R.L.* Sedimentary models for extensional tilt-block/half-graben basins // *Geol. Soc. London, Spec. Publ.* 1987. V. 28. P. 139–152.
- Lopez J.M.G., Bauluz B., Fernandez-Nieto C., Oliete A.Y.* Factors controlling the trace-element distribution in fine-grained rocks: the Albian kaolinite-rich deposits of the Oliete Basin (NE Spain) // *Chem. Geol.* 2005. V. 214. P. 1–19.
- Mack G.H., Love D.W., Seager W.R.* Spillover models for axial rivers in regions of continental extension: the Rio Grande in the Southern Rio Grande rift, USA // *Sedimentology.* 1997. V. 44. P. 637–652.
- Magnavita L.P., Da Silva H.T.F.* Rift border system: The interplay between tectonics and sedimentation in the Reconcavo Basin // *AAPG Bull.* 1995. V. 79. P. 1590–1607.
- Maslov A.V., Isherskaya M.V.* Riphean sedimentary sequences of the eastern and north-eastern margins of the Eastern European craton // *Russian J. Earth Sci.* 2002. V. 4, no. 4. P. 271–276.

*Maynard J.B., Valloni R., Ho Shing Ju.* Composition of modern deep-sea sands from arc-related basin // *Geol. Soc. London, Spec. Publ.* 1982. V. 10. P. 551–561.

*Mazumdar A., Kocherla M., Carvalho M.A., Peketi A., Joshi R.K., Mahalaxmi P., Joao H.M., Jisha R.* Geochemical characterization of the Krishna-Godavari and Mahanadi offshore basin (Bay of Bengal) sediments: A comparative study of provenance // *Marine Petrol. Geol.* 2015. V. 60. P. 18–33.

*McCann T.* Sandstone composition and provenance of the Rotliegendes of the NE German basin // *Sed. Geol.* 1998. V. 116. P. 177–198.

*McKenzie D.P.* Some remarks on the development of continental basins // *Earth Planet. Sci. Lett.* 1978. V. 40. P. 25–32.

*McLennan S.M., Hemming S., McDaniel D.K., Hanson G.N.* Geochemical Approaches to Sedimentation, Provenance and Tectonics // *Geol. Soc. Am. Spec. Paper.* 1993. No. 284. P. 21–40.

*McLennan S.M., Hemming S., Taylor S.R., Eriksson K.A.* Early Proterozoic Crustal Evolution: Geochemical and Nd-Pb Isotopic Evidence from Metasedimentary Rocks Southwestern North America // *Geochim. Cosmochim. Acta.* 1995. V. 59. P. 1153–1173.

*Merle O.* A simple continental rift classification // *Tectonophysics.* 2011. V. 513. P. 88–95.

*Merle O., Michon L.* The formation of the West European Rift: a new model as exemplified by the Massif Central area // *Bull. Soc. Geol. de France.* 2001. V. 172. P. 213–221.

*Morgan P., Baker B.H.E.* Introduction – processes of continental rifting // *Tectonophysics.* 1983. V. 94. P. 1–10.

*Morley C.K.* Extension, detachments, and sedimentation in continental rifts (with particular reference to East Africa) // *Tectonics.* 1989. V. 8. P. 1175–1192.

*Mulugeta G.* Dynamic models of continental rift valley systems // *Tectonophysics.* 1985. V. 113. P. 49–73.

*Murphy J.B.* 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.* 2002. V. 110. P. 407–419.

*Murphy J.B., Keppie J.D., Braid J.F., Nance R.D.* Geochemistry of the Tremadocian Tiñu Formation (Southern Mexico): Provenance in the Underlying ~1 Ga Oaxacan Complex on the Southern Margin of the Rheic Ocean // *Inter. Geol. Rev.* 2005. V. 47. P. 887–900.

*Murphy J.B., Keppie J.D., Dostal J., Waldron J.W.F., Cude M.P.* 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.* 1996. V. 33. P. 379–388.

*Nesbitt H.W., Young G.M.* Early Proterozoic Climates and Plate Motion Inferred from Major Element Chemistry of Lutites // *Nature.* 1982. V. 299. P. 715–717.

*Ngueutchoua G., Ngantchu L.D., Youbi M., Ngos III S., Beyala V.K.K., Yifomju K.P., Tchamgoué J.C.* 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 // *Inter. J. Geosci.* 2017. V. 8. P. 393–424.

Non-volcanic Rifting of Continental Margins: A Comparison of Evidence from Land and Sea / ed. by R.C.L. Wilson, R.B. Whitmarsh, B. Taylor, N. Froitzheim. *Geol. Soc. London, Spec. Publ.* 2001. V. 187. 585 p.

*Olsen P.E.* Stratigraphic record of the early Mesozoic breakup of Pangea in the Laurasia-Gondwana rift system // *Ann. Rev. Earth Planet. Sci.* 1997. V. 25. P. 337–401.

*Paikaray S., Banerjee S., Mukherji S.* Geochemistry of shales from the Paleoproterozoic to Neoproterozoic Vindhyan Supergroup: Implications on provenance, tectonics and paleo-weathering // *J. Asian Earth Sci.* 2008. V. 32. P. 34–48.



*Perez-Gussinye M., Reston T.J.* Rheological evolution during extension at nonvolcanic rifted margins: onset of serpentinization and development of detachments leading to continental breakup // *J. Geoph. Res.* 2001. V. 106 (B3). P. 3961–3975.

PeriThethyan Rift/Wrench Basins and Passive Margins / ed. by P.A. Ziegler, W. Cavazza, A.H.F. Robertson, S. Crasquin-Soleau. Museum National D'Histoire Naturelle. Memoires. 2001. V. 186. Peri-Tethys Memoir. 6, 763 p.

*Perri F., Caracciolo L., Cavalcante F., Corrado S., Critelli S., Muto F., Dominici R.* Sedimentary and thermal evolution of the Eocene-Oligocene mudrocks from the southwestern Thrace Basin (NE Greece) // *Basin Res.* 2015. V. 28. P. 319–339.

*Perri F., Critelli S., Mongelli G., Cullers R.L.* 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.)*. 2011. V. 100. P. 1569–1587.

*Perri F., Ohta T.* Paleoclimatic conditions and paleoweathering processes on Mesozoic continental redbeds from Western-Central Mediterranean Alpine Chains // *Palaeogeogr. Palaeoclimatol. Palaeoecol.* 2014. V. 395. P. 144–157.

*Postma G., Drinia H.* Architecture and sedimentary facies evolution of a marine, expanding half-graben (Crete, Late Miocene) // *Basin Res.* 1993. V. 5. P. 103–124.

*Pundaree N., Krishna A.K., Subramanyam K.S.V., Sawant S.S., Kavitha S., Kalpana M.S., Patil D.J., Dayal A.M.* Early Eocene carbonaceous shales of Tadkeshwar Formation, Cambay basin, Gujarat, India: Geochemical implications, petrogenesis and tectonics // *Marine and Petrol. Geol.* 2015. V. 68. P. 258–268.

*Quinlan C.* Models of subsidence mechanisms in intra-cratonic basins and their applicability to North America examples // *Sedimentary basins and basin forming mechanisms* / ed. by C. Beaumont, A. Tankard. Can. Soc. Petrol. Geol. Memoir. 1987. No. 12. P. 463–481.

*Ravnas R., Steel R.J.* Architecture of marine rift basin successions // *AAPG Bull.* 1998. V. 82. P. 110–146.

*Raza M., Casshyap S.M., Khan A.* 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.* 2002. V. 60. P. 505–518.

*Raza M., Dayal A.M., Khan A., Bhardwaj V.R., Rais S.* 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.* 2010. V. 39. P. 51–61.

*Reading H.G.* Sedimentary basins and global tectonics // *Proc. Geol. Ass.* 1982. V. 93. P. 321–350.

*Robertson A.H.F.* Role of the tectonic facies concept in orogenic analysis and its application to Tethys in the eastern Mediterranean region // *Earth-Sci. Rev.* 1994. V. 37. P. 139–213.

*Rosendahl B.R.* Architecture of continental rifts with special reference to East Africa // *Ann. Rev. Earth Planet. Sci.* 1987. V. 15. P. 445–503.

*Roser B.P., Korsch R.J.* Determination of tectonic setting of sandstone–mudstone suites using SiO<sub>2</sub> content and K<sub>2</sub>O/Na<sub>2</sub>O ratio // *J. Geol.* 1986. V. 94. P. 635–650.

*Roser B.P., Korsch R.J.* Provenance signatures of sandstone–mudstone suites determined using discriminant function analysis of major-element data // *Chem. Geol.* 1988. V. 67. P. 119–139.

*Roy D.K., Roser B.P.* Geochemistry of Tertiary sequence in Shahbajpur-1 well, Hatia trough, Bengal basin, Bangladesh: provenance, source weathering and province affinity // *J. Life and Earth Sci.* 2012. V. 7. P. 1–13.

*Rudnick R.L., Gao S.* The composition of the continental crust // *The Crust* / ed. by H.D. Holland, K.K. Turekian. Treatise on Geochemistry. V. 3. Oxford; N.Y.: Elsevier, 2003. P. 1–64.

*Ryan K.M., Williams D.M.* Testing the reliability of discrimination diagrams for determining the tectonic depositional environment of ancient sedimentary basins // *Chem. Geol.* 2007. V. 242. P. 103–125.

*Schlis R.W.* Half-graben basin filling models: new constraints on continental extensional basin development // *Basin Res.* 1991. V. 3. P. 123–141.

*Sedimentary Provenance and Petrogenesis: Perspectives from Petrography and Geochemistry* / ed. by J. Arribas, S. Critelli, M.J. Johnsson. *Geol. Soc. Am. Spec. Paper.* 2007. No. 420. 396 p.

*Sedimentation in Continental Rifts* / ed. by R.W. Renaut, G.M. Ashley. *SEPM Spec. Publ.* 2002. V. 73. 334 p.

*Sengör A.M.C.* Sedimentation and tectonics of fossil rifts // *Tectonics of Sedimentary Basins* / ed. by C.J. Busby, R.V. Ingersoll. Oxford: Blackwell, 1995. P. 53–117.

*Sengör A.M.C., Burke K.* Relative timing of rifting and volcanism on Earth and its tectonic implications // *Geoph. Res. Lett.* 1978. V. 5. P. 419–421.

*Sengör A.M.C., Natal'in B.A.* Rifts of the world // *Mantle plumes: their Identification through Time* / ed. by R.E. Ernst, K.L. Buchan. *Geol. Soc. Am. Spec. Pap.* 2001. V. 352. P. 389–482.

*Steel R.* Devonian basins of western Norway: Sedimentary response to tectonism and to varying tectonic context // *Tectonophysics.* 1976. V. 36. P. 207–224.

*Sun W.-H., Zhou M.-F., Yan D.-P., Li J.-W., Ma Y.-X.* Provenance and tectonic setting of the Neoproterozoic Yanbian Group, western Yangtze Block (SW China) // *Prec. Res.* 2008. V. 167. P. 213–236.

*Svendsen J., Friis H., Stollhofen H., Hartley N.* Facies discrimination in a mixed fluvio-eolian setting using elemental whole-rock geochemistry – applications for reservoir characterization // *J. Sed. Res.* 2007. V. 77. P. 23–33.

*Tao H., Sun S., Wang Q., Yang X., Jiang L.* 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.* 2014. V. 87. P. 11–25.

*Tao H., Wang Q., Yang X., Jiang L.* Provenance and tectonic setting of Late Carboniferous clastic rocks in West Junggar, Xinjiang, China: A case from the Hala-alat Mountains // *J. Asian Earth Sci.* 2013. V. 64. P. 210–222.

*Taylor S.R., McLennan S.M.* The continental crust: its composition and evolution. An examination of the geochemical record preserved in sedimentary rocks. Oxford: Blackwell, 1985. 312 p.

*Turgeon S., Brumsack H.-J.* Anoxic vs dysoxic events reflected in sediment geochemistry during the Cenomanian–Turonian Boundary Event (Cretaceous) in the Umbria–Marche basin of central Italy // *Chem. Geol.* 2006. V. 234. P. 321–339.

*van Schmus W.R.* Tectonic setting of the Midcontinent Rift system // *Tectonophysics.* 1992. V. 213. P. 1–15.

*Vdačný M., Vozárová A., Vozár J.* 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.* 2013. V. 64, no. 1. P. 23–38.

*Verma S.P., Armstrong-Altrin J.S.* New multi-dimensional diagrams for tectonic discrimination of siliciclastic sediments and their application to Precambrian basins // *Chem. Geol.* 2013. V. 355. P. 117–133.

*Wang B.-Q., Wang W., Zhou M.-F.* Provenance and tectonic setting of the Triassic Yidun Group, the Yidun Terrane, Tibet // *Geoscience Frontiers.* 2013. V. 4. P. 765–777.

*Wernicke B.* Low-angle normal faults in the Basin and Range province: nappe tectonics in an extending orogen // *Nature.* 1981. V. 291. P. 645–647.

*Withjack M.O., Schlische R.W., Olsen P.E.* Diachronous rifting, drifting, and inversion on the passive margin of central eastern North America – an analog for other passive margins // AAPG Bull. 1998. V. 82. P. 817–835.

*Woelk T.S., Hinze W.J.* Model of the Midcontinent Rift System in northeastern Kansas // Geology. 1991. V. 19. P. 277–280.

*Zaghloul M.N., Critelli S., Perri F., Mongelli G., Perrone V., Sonnino M., Tucker M., Aiello M., Ventimiglia C.* Depositional systems, composition and geochemistry of Triassic rifted-continental margin redbeds of the Internal Rif Chain, Morocco // Sedimentology. 2010. V. 57. P. 312–350.

*Zaid S.M.* Genesis of the Nukhul sandstones, west central Sinai, Egypt // J. Appl. Sci. Res. 2013. V. 9, no. 1. P. 375–392.

*Ziegler P.A.* Geodynamics of rifting and implications for hydrocarbon habitat // Tectonophysics. 1992. V. 215. P. 221–253.

*Ziegler P.A.* Cenozoic rift system of western and central Europe: an overview // Geol. en Mijnbouw. 1994. V. 73. P. 99–127.

*Ziegler P.A., Cloetingh S.A.P.L.* Dynamic processes controlling evolution of rifted basins // Earth Sci. Rev. 2004. V. 64. P. 1–50.

*Zuffa G.G., Gaudio W., Rovito S.* Detrital mode evolution of the rifted continental margin Longobucco sequence (Jurassic), Calabrian Arc, Italy // J. Sed. Petrol. 1980. V. 50. P. 51–61.

---

## СОДЕРЖАНИЕ

---

1. ВВЕДЕНИЕ .....	3
2. ПРОЦЕССЫ ОСАДКОНАКОПЛЕНИЯ В РИФТАХ: ОБЩИЕ РЕМАРКИ ...	7
3. СИТУАЦИЯ 1 – СИНРИФТОВЫЕ ПЕСЧАНИКИ: ВАЛОВЫЙ ХИМИЧЕСКИЙ СОСТАВ И ПОЛОЖЕНИЕ НА ДИСКРИМИНАНТНЫХ ПАЛЕОГЕОДИНАМИЧЕСКИХ ДИАГРАММАХ .....	18
3.1. Материал и подходы к его анализу .....	18
3.2. Положение полей синрифтовых песчаников на классификационных диаграммах .....	29
3.3. Общие особенности валового химического состава синрифтовых песчаников .....	32
3.4. Состав пород-источников сноса для синрифтовых песчаников .....	32
3.5. Положение полей синрифтовых песчаников на дискриминантных палео- геодинамических диаграммах .....	34
3.6. Обсуждение результатов и выводы .....	40
4. СИТУАЦИЯ 2 – СИНРИФТОВЫЕ ГЛИНИСТЫЕ ПОРОДЫ: ВАЛОВЫЙ ХИМИЧЕСКИЙ СОСТАВ И ПОЛОЖЕНИЕ НА ДИСКРИМИНАНТНЫХ ПАЛЕОГЕОДИНАМИЧЕСКИХ ДИАГРАММАХ .....	42
4.1. Материал и подходы к его анализу .....	42
4.2. Положение полей синрифтовых глинистых пород на классификационных диаграммах .....	45
4.3. Общие особенности валового химического состава синрифтовых глини- стых пород .....	46
4.4. Состав пород-источников сноса для синрифтовых глинистых образований .....	48
4.5. Положение полей синрифтовых глинистых пород на дискриминантных палеогеодинамических диаграммах .....	49
4.6. Обсуждение результатов и выводы .....	52
5. СИТУАЦИЯ 3 – СИНРИФТОВЫЕ ПЕСЧАНИКИ И ГЛИНИСТЫЕ ПОРОДЫ: ВАЛОВЫЙ ХИМИЧЕСКИЙ СОСТАВ И ПОЛОЖЕНИЕ НА ДИСКРИМИНАНТНЫХ ПАЛЕОГЕОДИНАМИЧЕСКИХ ДИАГРАММАХ .....	55
5.1. Материал и подходы к его анализу .....	55
5.2. Положение полей синрифтовых песчаников и ассоциирующих с ними глинистых пород на классификационных диаграммах .....	58

5.3. Общие особенности валового химического состава синрифтовых песчаников и ассоциирующих с ними глинистых пород .....	60
5.4. Состав пород-источников сноса для синрифтовых песчаников и ассоциирующих с ними глинистых пород .....	66
5.5. Положение полей синрифтовых песчаников и глинистых пород на дискриминантных палеогеодинамических диаграммах .....	66
5.6. Обсуждение результатов и выводы .....	72
6. СИНРИФТОВЫЕ ОСАДОЧНЫЕ ОБРАЗОВАНИЯ РИФЕЯ ЮЖНОГО УРАЛА .....	76
6.1. Разрез рифея Южного Урала и место в нем рифтогенных осадочных ассоциаций .....	76
6.2. Первая рифтогенная ассоциация типового разреза рифея (айская свита бурзянской серии) .....	81
6.2.1. Фактический материал .....	81
6.2.2. Результаты исследований и их обсуждение .....	82
6.3. Вторая рифтогенная ассоциация типового разреза рифея (машакская свита юрматинской серии) .....	87
6.3.1. Фактический материал .....	88
6.3.2. Результаты исследований и их обсуждение .....	89
6.4. Выводы .....	97
7. ВМЕСТО ЗАКЛЮЧЕНИЯ .....	100
ПРИЛОЖЕНИЯ .....	105
СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ .....	157

*Научное издание*

**Андрей Викторович МАСЛОВ  
Виктор Николаевич ПОДКОВЫРОВ**

**СИНРИФТОВЫЕ ОСАДОЧНЫЕ АССОЦИАЦИИ  
(несколько литохимических этюдов)**

Рекомендовано к изданию решением Объединенного  
ученого совета УрО РАН по наукам о Земле,  
Уральским отделением РАН  
и ученым советом Института геологии и геохимии УрО РАН

Редактор *М.О. Тюлюкова*  
Компьютерная верстка *Н.С. Глушковой*  
Дизайн обложки *Н.С. Глушковой*

Подписано в печать 28.02.2020. Формат 70×100 1/16.  
Бумага типографская. Печать офсетная.  
Усл. печ. л. 13,98. Уч.-изд. л. 14,5. Тираж 150 экз. Заказ №

ISBN 978-5-7691-2533-1



9 785769 125331

Отпечатано с готового оригинал-макета в типографии  
ООО Универсальная Типография “Альфа Принт”  
620049, г. Екатеринбург, переулок Автоматики, 2ж.  
Тел.: 8 (800) 300-16-00  
[www.alfaprint24.ru](http://www.alfaprint24.ru)