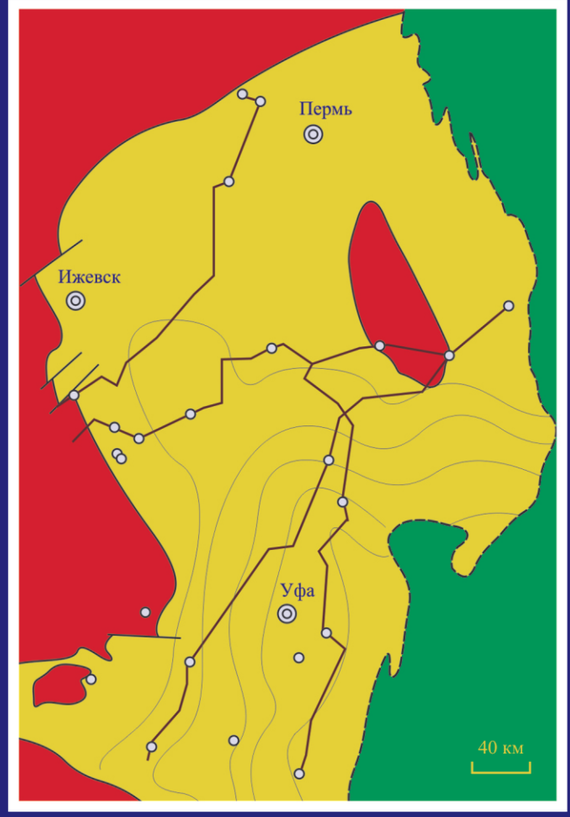


МАСЛОВ
Андрей Викторович

Доктор геолого-минералогических наук, член-корреспондент РАН, заведующий лабораторией литологии Института геологии и геохимии Уральского отделения РАН (Екатеринбург), профессор кафедры литологии и геологии горючих ископаемых Уральского государственного горного университета. Специалист в области литологии и геохимии осадочных образований. Автор и соавтор более 600 научных публикаций, в том числе 20 монографий и учебных пособий.

ЛИТОГЕОХИМИЯ ТЕРРИГЕННЫХ ПОРОД ВЕРХНЕГО ДОКЕМБРИЯ ВОЛГО-УРАЛЬСКОЙ ОБЛАСТИ

А.В. Маслов



А.В. Маслов

ЛИТОГЕОХИМИЯ ТЕРРИГЕННЫХ ПОРОД ВЕРХНЕГО ДОКЕМБРИЯ ВОЛГО-УРАЛЬСКОЙ ОБЛАСТИ

РОССИЙСКАЯ АКАДЕМИЯ НАУК • УРАЛЬСКОЕ ОТДЕЛЕНИЕ
ИНСТИТУТ ГЕОЛОГИИ И ГЕОХИМИИ им. А.Н. ЗАВАРИЦКОГО

А.В. Маслов

ЛИТОГЕОХИМИЯ ТЕРРИГЕННЫХ ПОРОД ВЕРХНЕГО ДОКЕМБРИЯ ВОЛГО-УРАЛЬСКОЙ ОБЛАСТИ

ЕКАТЕРИНБУРГ • 2012

УДК 551.7“611”:552.5
ББК 26.30
М31

Ответственный редактор

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

Рецензенты:

доктор геолого-минералогических наук **А.К. Худолей**
(Санкт-Петербургский государственный университет)
доктор геолого-минералогических наук **Е.Ф. Летникова**
(Институт геологии и минералогии СО РАН)

Маслов А.В.

М31 **Литогеохимия терригенных пород верхнего докембрия Волго-Уральской области.** Екатеринбург: РИО УрО РАН, 2012. – 248 с.

ISBN 978-5-7691-2307-8

Представлены результаты комплексного литогеохимического изучения терригенных пород верхнего докембрия Волго-Уральской области. Рассмотрены сведения о валовом химическом составе и распределении элементов-примесей в песчаниках и тонкозернистых обломочных породах (аргиллитах, алевритистых аргиллитах, глинистых сланцах и мелкозернистых глинистых алевролитах). Составы песчаников и тонкозернистых обломочных образований рифея и венда сравниваются между собой, а также с составами среднего протерозойского кратонного песчаника и PAAS. Анализ присущих аргиллитам и глинистым сланцам верхнего докембрия Волго-Уральской области значений K_2O/Al_2O_3 показал, что в большинстве литостратиграфических единиц они имеют петрогенную природу, а следовательно, их литогеохимические особенности могут быть использованы для разного рода генетических построений. Установлено, что поступавшая в область седиментации в течении позднего докембрия тонкая алюмосиликокластика характеризовалась относительно невысокой зрелостью. Это указывает на отсутствие на палеоводосборах интенсивных процессов химического выветривания. Значения ряда индикаторных отношений элементов-примесей и РЗЭ-систематика глинистых сланцев и аргиллитов позволяют предполагать, что в областях размыва в позднем докембрии преобладали породы кислого состава с характеристиками, типичными как для литохимически относительно зрелых, так и относительно незрелых (архейские гранитоиды и породы ТТГ-ассоциаций) субстратов. Различие Nd-модельных возрастов глинистых пород венда и рифея свидетельствует о существенной переработке состава пород на палеоводосборах или, возможно, принципиальном изменении схемы минерального питания крупных отрицательных структур Волго-Уральской области на указанном временном рубеже. Накопление тонкозернистых обломочных образований верхнего докембрия происходило преимущественно в окислительных условиях. Соленость рифейских бассейнов осадконакопления предположительно близка к нормально-морской или несколько ниже. Бассейн вендского времени, как можно предполагать, являлся существенно более пресноводным.

Для специалистов в области литологии и геохимии осадочных образований. Материалы книги также могут быть использованы при подготовке соответствующих спецкурсов для студентов вузов.

Ил. 114. Библиогр. 228 назв. Табл. 33.

Фото автора на 4-й странице обложки А.В. Колесникова.



ISBN 978-5-7691-2307-8

© Маслов А.В., 2012
© РИО УрО РАН, 2012

ВВЕДЕНИЕ

Прежде чем дать читателю возможность обратиться непосредственно к приведенному в настоящей монографии материалу, следует, по-видимому, ответить на ряд вопросов. Первый из них – почему и зачем написана эта книга? Второй – что дает применительно к объекту изучения избранный автором набор приемов и методов? Третий – можно ли применить указанный подход к другим осадочным последовательностям? Итак, по порядку.

Рассматривая возможные направления дальнейшего развития литологии, В.Г. Кузнецов отмечает: «…появление и широкое внедрение в практику литологических исследований новой прецизионной аналитической техники высокой чувствительности и разрешающей способности … даст, а частично уже дает возможность развиваться геохимическому направлению исследования осадочных пород, а отсюда и возможности изучения становления и развития внешних сфер, включая биосферу, и их геохимических обстановок» (Кузнецов, 2011, с. 343). Синтез результатов собственно литологических и литогеохимических исследований, позволяющий для многих явлений и процессов получить численные характеристики, действительно предоставляет литологу мощный инструмент познания. Геохимическая специализация осадочных пород определяется такими факторами, как состав питающих провинций, особенности выветривания и транспортировки обломочного материала, динамика среды в области осадконакопления, особенности процессов диагенеза и др. Считается, что среди всех перечисленных факторов наиболее важен состав пород питающих провинций, который, в свою очередь, в той или иной мере контролируется геодинамическими обстановками. Все указанные факторы оставляют в составе (как минеральном, так и химическом) песчаников и тонкозернистых обломочных пород свой «след», что делает их интегральными индикаторами тех или иных процессов седиментогенеза.

Исследования подобного рода ведутся в России все еще в отдельных «точках роста», начало их можно в определенной мере соотнести со временем выхода в свет монографий Я.Э. Юдовича и М.П. Кетрис «Основы литохимии» и Е.В. Склярова с соавторами «Интерпретация геохимических данных» и датировать началом 2000-х гг. На Западе интерес к разработкам подобного плана все еще сохраняется (в частности, см.: (Geochemistry…, 2003)), но пик его пришелся на 1980–1990-е гг., о чем свидетельствует перемещение публикаций на эту тему из высокорейтинговых журналов «Earth and Planetary Science Letters», «Chemical Geology», «Geochimica et Cosmochimica Acta» и «Precambrian Research» в менее известные «Journal of South American Earth Sciences», «Journal of Asian Earth Sciences», «Geoscience Frontiers» и др.

С 2000 г. мы с коллегами подробно анализировали литогеохимические особенности терригенных, прежде всего тонкозернистых, пород типового разреза рифея Башкирского мегантиклинория, а также разрезов рифея Учуро-Майского региона и Енисейского кряжа, венда Мезенской впадины и западного

склона Среднего Урала и еще нескольких регионов (Геохимия…, 2008; и др.). Существенно менее изучен в этом плане многокилометровый разрез верхнего докембрия Волго-Уральской области, хотя и на его основе проведен ряд исследований совместно с М.В. Ишерской. Часть из приведенных в настоящей работе сведений в том или ином виде опубликована в (Геохимия…, 2008), а также представлена в серии статей в журналах «Литология и полезные ископаемые», «Геохимия» и «Литосфера». В предлагаемой на суд читателей монографии ранее представленные материалы в определенной мере переработаны и существенно дополнены; пожалуй, впервые дана исходная литогеохимическая информация о песчаниках и тонкозернистых обломочных породах (ранее мы ограничивались усредненными для свит данными) с точной привязкой ее к положению индивидуальных образцов в геологическом пространстве. Последнее имеет существенное значение не только для специалистов, но может быть использовано в учебном процессе для «постановки руки, а главное – головы» студента любого геологического вуза.

Приведенные в настоящей монографии материалы в существенной мере дополняют результаты предпринятых ранее довольно робких попыток использовать литогеохимические сведения для реконструкции условий накопления мощных осадочных толщ рифея Камско-Бельского авлакогена и венда Шкаповско-Шиханской впадины и, что несомненно, ликвидируют существовавший в течение многих лет пробел в этой области научного знания.

Отметим, что рассматриваемое направление в России хотя и не потеряно полностью, но требует пристального внимания. Поразительно, но примерно такая же ситуация наблюдается в целом ряде других современных направлений литологических исследований, активно развивающихся на Западе, но почти не востребованных и/или недостаточно известных у нас. Назовем хотя бы два из них, опираясь на хорошо известную нам литературу по литологии Урала. Во-первых, это массовое изотопное датирование детритовых цирконов, позволяющее установить верхний возрастной предел тех или иных обломочных пород и стратиграфических подразделений, а также гораздо точнее, чем раньше, определить источники сноса и затем решать как локальные, так и региональные палеогеографические и палеотектонические задачи, проводить корреляцию удаленных разрезов. Применительно к докембрийским осадочным последовательностям Южного Урала первая статья по этой проблеме опубликована в начале 2000-х гг. в журнале «Precambrian Research» (Willner et al., 2003), продолжения не последовало в течение почти семи лет; лишь сейчас работы на эту тему стали появляться, в том числе и в российских периодических изданиях (Кузнецов и др., 2010; Орлов и др., 2011; Kuznetsov et al., 2010; и др.). Двумя годами ранее увидела свет работа, представившая эскиз изучения химического состава светлых слюд, турмалинов и эпидотов с выходом на так называемый *provenance signal* (Willner et al., 2001), однако и эти данные, и подходы, с помощью которых они были получены, оказались, по сути дела, невостребованными. И это присуще не только собственно уральской литологии, но характерно, как следует из внимательного анализа публикаций в наших ведущих геологических журналах, и для России в целом.

Избранный нами набор приемов и методов позволил получить представление о валовом химическом составе основных разновидностей терригенных пород, слагающих осадочные последовательности рифея и венда Волго-Ураль-

ской области, а также выполнить их литохимическую типизацию. Составы песчаников и тонкозернистых обломочных пород сопоставлены со стандартными составами среднего протерозойского кратонного песчаника и среднего постархейского австралийского сланца. Проведено сравнение химических составов песчаников и тонкозернистых обломочных пород рифея и венда. Анализ медианного содержания элементов-примесей в тонкозернистых обломочных породах рифея и венда показал, что существенного отличия между ними не наблюдается. Установлены особенности распределения в песчаниках, глинистых сланцах и аргиллитах элементов-примесей. Анализ изменения K_2O/Al_2O_3 в алевритистых аргиллитах и глинистых сланцах рифея Камско-Бельского авлакогена позволил выяснить, что в большинстве литостратиграфических единиц они имеют петрогенную природу, т.е. относятся к продуктам первого седиментационного цикла, а следовательно, их литогеохимические особенности могут быть использованы для разного рода генетических построений. Анализ соотношений в песчаниках Zr/Sc и Th/Sc подтверждает этот вывод. Выявлено, что поступавшая в область седиментации в течении всего рифея тонкая алюмосиликокластика характеризовалась относительно невысокой зрелостью. Это указывает на отсутствие на палеоводосборах выраженных процессов химического выветривания. Степень зрелости поступавшей в венде в бассейн тонкой алюмосиликокластики была умеренной, что подтверждает вывод о доминировании на палеоводосборах климата, близкого к семиаридному/семигумидному. Значение ряда индикаторных отношений элементов-примесей и РЗЭ-систематика глинистых сланцев, алевритистых аргиллитов и аргиллитов рифея Камско-Бельского авлакогена позволяют предполагать, что, наряду с кислыми магматическими и метаморфическими образованиями, на палеоводосборах были распространены породы основного и ультраосновного составов. Установлено, что на протяжении всего рифея в областях размыва присутствовали породы с характеристиками, типичными как для литохимически относительно зрелых (постархейских), так и относительно незрелых (архейские гранитоиды и породы ТТГ-ассоциаций) субстратов. Полученные нами изотопно-геохимические данные не подтвердили имеющиеся в специальной литературе представления, согласно которым основными источниками тонкой алюмосиликокластики для глинистых пород венда Шкаповско-Шиханской впадины служили архейские гранатсодержащие гнейсы фундамента Русской платформы. Заметное отличие Nd-модельного возраста глинистых пород венда от такового аналогичных по гранулометрическому составу пород рифея свидетельствует, возможно, о существенной переработке состава комплексов пород на палеоводосборах или принципиальном изменении схемы минерального питания рассматриваемых нами крупных отрицательных структур на указанном временном рубеже. Анализ значений индикаторов окислительно-восстановительных обстановок в придонных слоях воды показал, что накопление тонкозернистых обломочных образований верхнего докембрия Волго-Уральской области происходило преимущественно в окислительных условиях. Соленость рифейских бассейнов осадконакопления была, по-видимому, близка к нормальной морской или несколько ниже таковой. Бассейн вендского времени может рассматриваться как более пресноводный. Полученный нами фактический материал позволяет также сделать вывод о сходстве микроэлементного состава тонкозернистых обломочных пород ряда традиционно коррелируемых между собой литостра-

тиграфических подразделений рифея Башкирского мегантиклинория и Камско-Бельского авлакогена. Значительную часть приведенной выше информации иными, нежели литогеохимическими, методами и подходами получить невозможно. Весьма наглядно на протяжении последних десятилетий об этом свидетельствуют повторяющиеся из работы в работу практически одни и те же сведения об условиях накопления осадочных последовательностей рифея и венда Волго-Уральской области.

На третий вопрос – можно ли применить указанный подход к другим осадочным последовательностям – следует ответить утвердительно, однако необходимо помнить, что первая обязанность исследователя, когда он приступает к изучению того или иного региона, – установление типа (петрогенный или литогенный) осадочных образований, этот регион слагающих. При преобладании в разрезах петрогенных пород все примененные нами методы и приемы «работают» достаточно корректно, в иной же ситуации мы получаем многократно ретранслированный сигнал и, естественно, он содержит больше шумов и помех, чем собственно полезной информации.

Автор выражает искреннюю признательность М.В. Ишерской, без помощи которой на всех этапах нашего сотрудничества эта книга не имела бы шанса быть опубликованной, а также благодарит М.Т. Крупенина, Ю.Л. Ронкина, В.Г. Петрищеву, Т.Я. Гуляеву, О.П. Лепихину, О.Ю. Попову, Л.В. Кокшину, Н.П. Горбунову, В.П. Власова, Л.А. Татаринову, Г.М. Ятлук, Г.С. Неупокоеву, Е.С. Шагалова и И.И. Неустроеву, в существенной степени способствовавших проведению аналитических и других важных исследовательских работ; А.Д. Ножкина, В.Н. Подковырова и Ю.Н. Федорова, позволивших использовать в тексте монографии ряд совместно с ними опубликованных сведений о химическом составе тонкозернистых обломочных пород рифея Учуро-Майского региона, Енисейского кряжа и юры Западной Сибири, а также Г.А. Мизенса, А.К. Худолея и Е.Ф. Летникову за ценные замечания на заключительном этапе подготовки рукописи.

Все иллюстрации в книге выполнены Н.С. Глушковой.

В разные годы исследования по рассматриваемым в монографии проблемам были поддержаны РФФИ (грант 03-05-64121), конкурсными проектами, финансировавшимися УрО РАН в рамках программы президиума РАН «Происхождение и эволюция биосферы» и программ ОНЗ РАН № 7 и 8, а также интеграционными с СО РАН и ДВО РАН проектами «Докембрийские осадочные последовательности Урала и Сибири: типы и характер источников сноса, долговременные вариации состава коры, проблема рециклинга» и «Реконструкции источников поступления вещества в осадочные бассейны Северной Евразии: обстановки седиментогенеза, потенциальная рудоносность». Некоторые из приведенных в монографии материалов можно рассматривать как составную часть исследований в рамках выполняемого в 2012–2014 гг. интеграционного (ИГ УНЦ РАН и ИГГ УрО РАН) проекта (12-С-5-1002) «Фоновые и аномальные концентрации элементов-примесей в осадочных последовательностях рифея Башкирского мегантиклинория и их значение для металлогенического анализа».

Раздел 1

СТРОЕНИЕ И СОСТАВ ОСАДОЧНЫХ ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОСТЕЙ ВЕРХНЕГО ДОКЕМБРИЯ ВОЛГО-УРАЛЬСКОЙ ОБЛАСТИ

В настоящем разделе монографии суммируются сведения о строении разрезов основных литостратиграфических подразделений рифея и венда Камско-Бельского авлакогена и Шкаповско-Шиханской впадины (см. также (Маслов, Ишерская, 1998)), представления исследователей об условиях их формирования, а также излагаются результаты изучения минералого-петрографического и химического состава песчаников и тонкозернистых обломочных пород (ТОП) и анализа содержания в них широкого спектра элементов-примесей.

Глава 1

СТРАТИГРАФИЯ ВЕРХНЕДОКЕМБРИЙСКИХ ОТЛОЖЕНИЙ

На востоке Восточно-Европейской платформы в пределах Волго-Уральской области рифейские осадочные последовательности выполняют ряд отрицательных структур фундамента, к наиболее крупным из которых относятся Камско-Бельский и Серноводско-Абдулинский авлакогены (рис. 1); отложения венда слагают здесь же относительно неглубокую, но более обширную Шкаповско-Шиханскую впадину.

Камско-Бельский авлакоген протягивается от юго-восточной части Удмуртии до широты Стерлитамака. Длина его достигает 650–700 км, ширина 150–200 км. Ориентировка авлакогена северо-западная. Мощность осадочных образований рифея в северной и северо-восточной прибортовых частях рассматриваемой структуры (район Пермского выступа фундамента) невелика, тогда как в южной части она достигает 8–10 км. Восточным ограничением Камско-Бельского авлакогена служит Красноуфимский выступ фундамента; отложения рифея здесь отсутствуют. Внутреннее строение авлакогена достаточно сложное – значительную роль играют разрывные нарушения разных типов, а также выступы, грабены и горсты (Белоконь и др., 2001) (рис. 2).

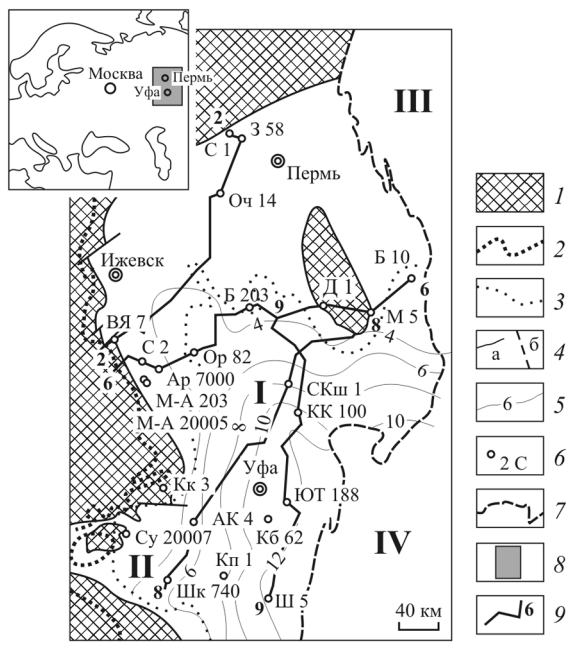
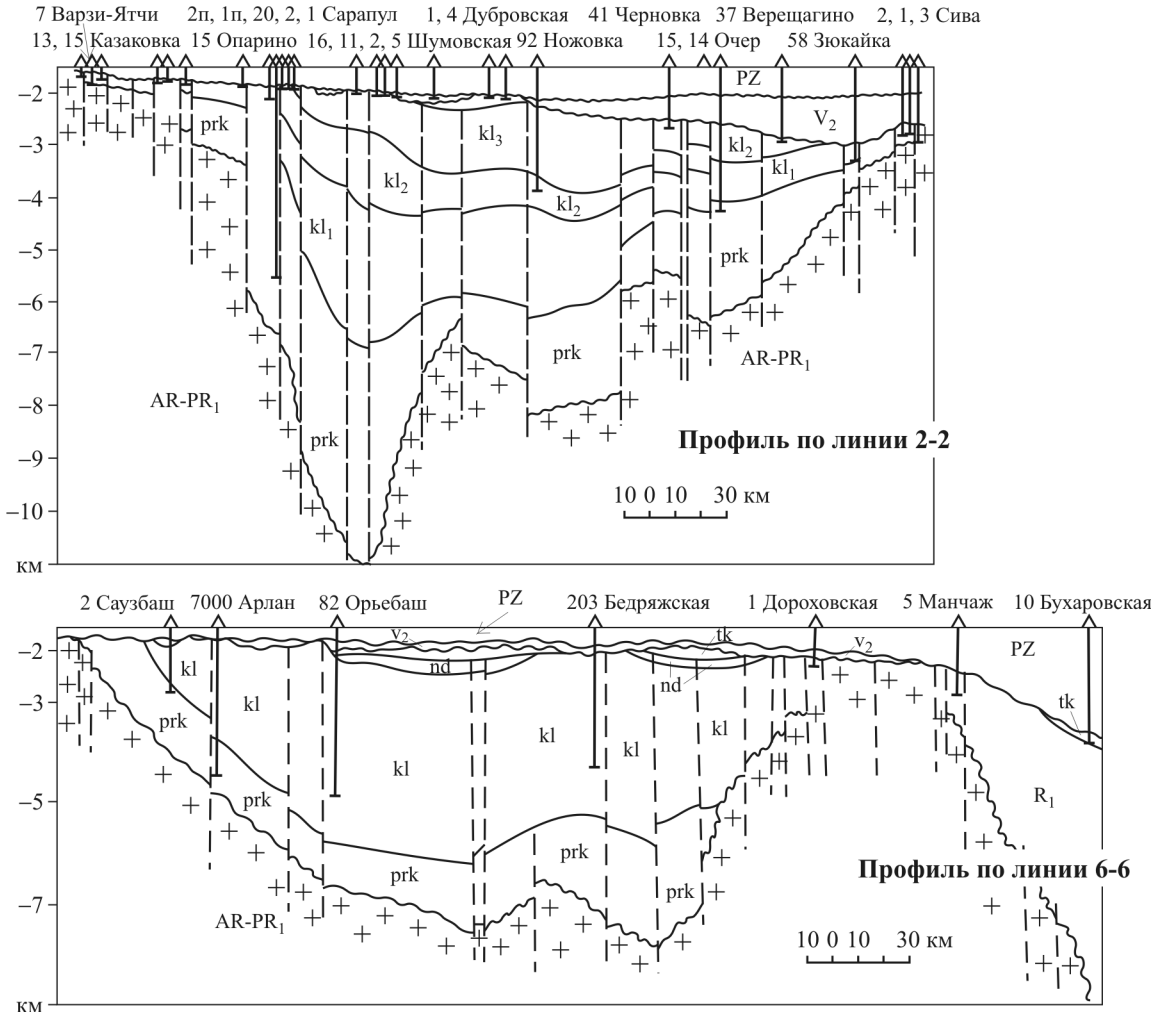


Рис. 1. Схема строения Камско-Бельского авлакогена (по: Белоконь и др., 2001) и положение ряда параметрических и поисково-разведочных скважин, вскрывших отложения рифея и венда:

1 – зона отсутствия отложений нижнего рифея; *2* – западная граница отсутствия отложений верхнего докембрия; *3* – западная граница распространения отложений среднего и верхнего рифея; *4* – границы между свитами (*а*) и разрывные нарушения (*б*); *5* – изопахиты отложений рифея, км; *6* – скважины; *7* – западная граница складчатого Урала; *8* – изученная территория; *9* – положение геологических разрезов.

Скважины: КК-3 – Копей-Кубово-3; С-2 – Саузбаш-2; Ар-7000 – Арлан-7000; Ор-82 – Орьебаш-82; Б-203 – Бедряж-203; Д-1 – Дороховская-1; М-5 – Манчаж-5; Б-10 – Бухаровская-10; Кб-62 – Кабаково-62; СКш-1 – Северокушкуль-1; Кп-1 – Кипчак-1; Шк-740 – Шкапово-740; М–А-203 – Мензелино–Актаныш-203; М–А-20005 – Мензелино–Актаныш-20005; Су-20007 – Сулли-20007; С-1 – Сарапул-1; З-58 – Зюкайка-58; Оч-14 – Очер-14; ВЯ-7 – Варзи–Ятчи-7; АК-4 – Аслыкуль-4; КК-100 – Кушкуль-100; ЮТ-188 – Южно-Тавтимановская-188; Ш-5 – Шихан-5.

I – **Камско-Бельский авлакоген**; II – **Серноводско-Абдулинский авлакоген**; III – **Кваркушско-Каменногорский мегантиклинорий**; IV – **Башкирский мегантиклинорий**


7 Варзи-Ятчи
2п, 1п, 20, 2, 1 Сарапул
1, 4 Дубровская
41 Черновка
37 Верещагино
2, 1, 3 Сива
13, 15 Казаковка
15 Опарино
16, 11, 2, 5 Шумовская
92 Ножовка
15, 14 Очер
58 Зюкайка
PZ
V2
kl3
kl2
kl1
prk
AR-PR1
Профиль по линии 2-2
10 0 10 30 км
км
2 Саузбаш
7000 Арлан
82 Орьебаш
PZ
203 Бедряжская
1 Дороховская
5 Манчаж
10 Бухаровская
V2
tk
nd
kl
prk
R1
Профиль по линии 6-6
10 0 10 30 км
км

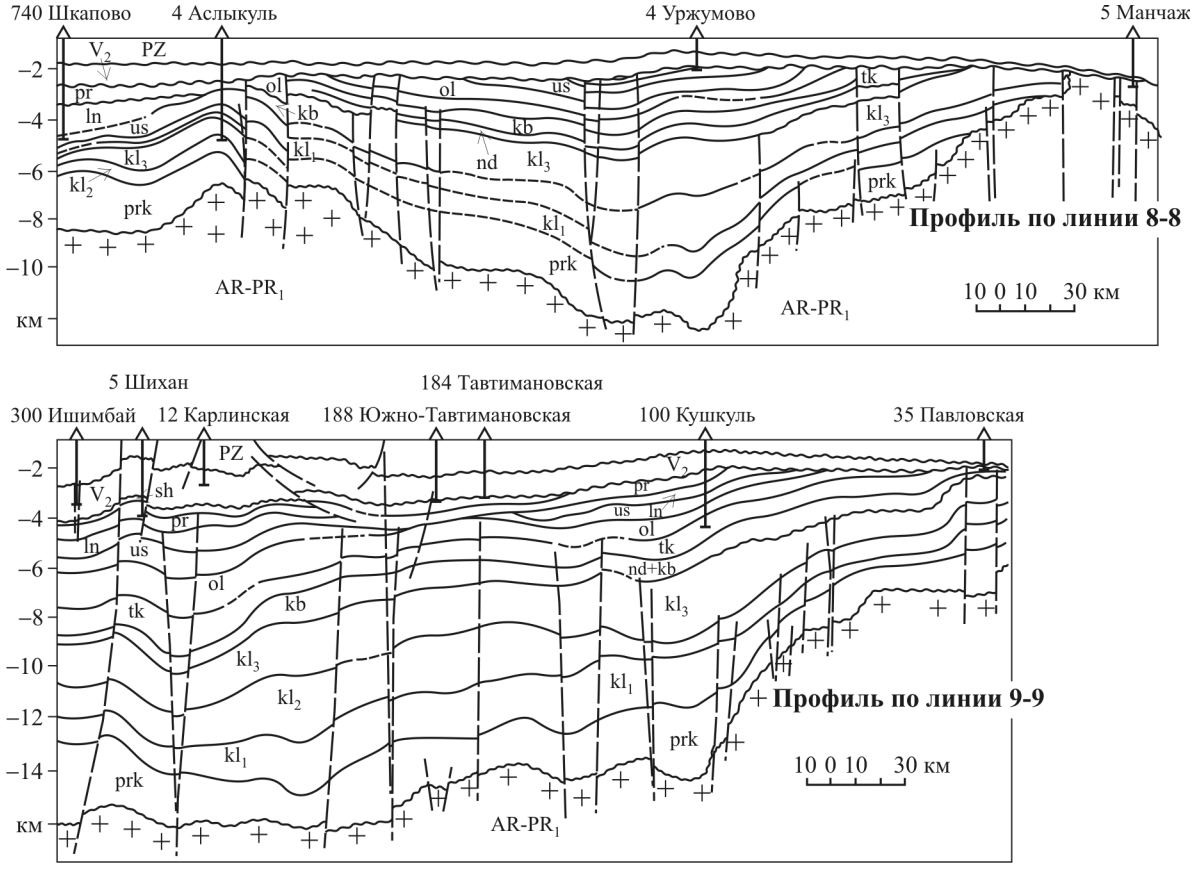


Рис. 2. Геологические профили через Камско-Бельский авлакоген (по: Белоконь и др., 2001) (положение профилей см. на рис. 1):

AR-PR_1 – архейско-раннепротерозойские кристаллические образования фундамента; R_1 – нерасчлененные нижнерифейские отложения.

Свиты: **prk – прикамская; kl –** калтасинская: kl_1 – саузовская подсвита, kl_2 – арланская подсвита, kl_3 – ашитская подсвита; nd – **надеждинская; kb – кабаковская; nd+kb – нерасчлененные** отложения надеждинской и кабаковской свит; tk – **тукаевская;** ol – **ольховская; us – усинская;** ln – **леонидовская; pr – приютовская;** sh – **шиханская;** V_2 – верхний венд; PZ – **палеозой**

В структуре авлакогена принято выделять Камскую и Бельскую впадины. В пределах первой преимущественно развиты отложения нижнего рифея, вторая вмещает осадочные последовательности всех трех серий – кырпинской, серафимовской и абдулинской. Разделены указанные впадины сложно построенной субширотной Орьебаш-Татышлинско-Чернушинской зоной поднятия фундамента, в пределах которой полностью отсутствуют верхнерифейские (а иногда и среднерифейские) отложения.

Серноводско-Абдулинский авлакоген расположен между Оренбургским сводом и Альметьевским выступом кристаллического фундамента (Лозин, 1994). Он имеет субширотную ориентировку. По своему внутреннему строению Серноводско-Абдулинский авлакоген много проще, чем Камско-Бельский. Глубина залегания фундамента в пределах рассматриваемой структуры варьируется в пределах 2–8 км. На юге и севере этот авлакоген осложнен Стерлибашевско-Ишимбайским и Бавлинско-Серафимовско-Демским грабенами. Согласно представлениям Р.О. Хачатряна (1979), Серноводско-Абдулинский авлакоген имеет раннерифейское заложение. В.А. Романов и М.В. Ишерская (2001), напротив, считают, что становление данной структуры произошло в каратавии, так как она выполнена породами преимущественно верхнерифейской абдулинской серии.

Шкаповско-Шиханская впадина представляет собой обширную (до 500×250–300 км) область погружения, наклоненную на восток и юго-восток. Западным и юго-западным ограничениями ее выступают Татарский, Коми-Пермяцкий и Оренбургский своды (Лозин, 1994; Белоконь и др., 2001). Максимальная мощность отложений венда во впадине достигает 1.6–1.8 км. Согласно взлядам Т.В. Белоконь с соавторами (2001), впадина развивалась целиком на рифейском ложе (с северо-запада на юго-восток выполняющие ее вендские отложения подстилаются более молодыми образованиями рифея). В то же время присутствие в составе конгломератов байкибашевской свиты галек кристаллических пород позволяет предполагать, что вендские отложения в Шкаповско-Шиханской впадине перекрывали и архейско-нижнепротерозойские комплексы. Вендский структурный этаж, отделенный в пределах Шкаповско-Шиханской впадины от подстилающих и перекрывающих образований поверхностями региональных угловых несогласий, в общих чертах наследует форму и отдельные наиболее ярко выраженные структурные элементы рифейских Камско-Бельского и Серноводско-Абдулинского авлакогенов (Лозин, 1994; Масагутов, 2002; и др.). Однако по сравнению с подстилающими рифейскими образованиями отложения венда характеризуются меньшей дислоцированностью и в основном плащеобразным залеганием. Современная западная граница распространения верхневендских отложений, не будучи древней береговой линией, тем не менее, по представлениям Т.В. Белоконь с соавторами (2001), достаточно точно повторяет ее. В целом же принято считать, что формирование рифейско-вендских осадочных бассейнов в области сочленения Восточно-Европейской платформы и Урала обусловливалось развитием системы микрорифтов в архейско-раннепротерозойском ложе (Лозин, 1994).

В соответствии с приведенной в корреляционной стратиграфической схеме информацией, рифей Волго-Уральской области представлен кырпинской, карачевской, кидашской, каверинской (все – нижний рифей, бурзяний), серафимовской, сомовской (все – средний рифей, юрматиний), абдулинской, пересыпкинской и пачелмской (все – верхний рифей, каратавий) сериями (Стра-

тиграфическая…, 2000). В пределах Камско-Бельского авлакогена, которому в настоящей монографии уделено основное внимание, наиболее сложно устроена менее всего изученная нижнерифейская часть его разреза. Так, в западной и северной прибортовой зонах (окрестности скважин Карачевская-20005, Мензелино–Актаныш-203, Тюрюшево-2, Бородулинская-1, Сива-2, Краснокамская-191, Поломская-1018 и др.) в нижней части бурзяния обособливаются отложения карачевской серии, объединяющей в себе кузякинскую и курмашевскую свиты; выше них залегают породы зияшевской, бугадинской и ротковской свит, не принадлежащие к какой-либо серии. В северной приосевой части Камско-Бельского авлакогена (окрестности скважин Арлан-7000 и Арлан-36, Калтасинская-83, Надеждинская-27, Азино–Пальниковская-13, Очер-14, Ножовская-92 и др.) к нижнему рифею отнесены породы кырпинской серии. В основании ее залегает сарапульская свита, а выше в корреляционной стратиграфической схеме показаны петнурская, норкинская, ротковская и минаевская свиты, входящие в прикамскую подсерию. Последняя перекрыта орьебашской подсерией, в состав которой включены карбонатные и терригенные образования калтасинской и надеждинской свит[1]. В центральной зоне авлакогена (скважины Аслыкуль-4, Северокушкуль-100, Байкибаш-4, Кипчак-1 и Кипчак-2, Сергеевская-800 и др.) вскрыты средняя и верхняя части кырпинской серии – калтасинская, надеждинская свиты и надстраивающая последнюю кабаковская свита. В восточной зоне Камско-Бельского авлакогена (район скважин Кабаково-62, Ахмерово-6, Шихан-5, Южно-Тавтимановская-188 и др.) разбурены только самые верхние уровни нижнего рифея, представленные кабаковской свитой (Стратиграфическая…, 2000).

Для северных районов Камско-Бельского авлакогена на основе результатов комплексного изучения керна параметрических и глубоких скважин в последние годы в составе нижнего рифея предложено выделять сарапульскую, прикамскую и орьебашскую подсерии, объединяющие семь (!! – *А.М.*) разных свит (сигаевскую, костинскую, норкинскую, ротковскую, минаевскую, калтасинскую и кабаковскую) (Козлов, 2008; Козлов, Сергеева, 2010; и др.). Нам, однако, представляется недостаточно обоснованным столь дробное (существенно превосходящее по своей детальности расчленение нижнерифейских отложений в стратотипической местности рифея, где в раз-

---

[1]В.И. Козловым и Н.Д. Сергеевой (2010) сарапульская свита переведена в ранг серии, в ее составе выделены сигаевская и костинская свиты. Надеждинская свита имеет, по мнению этих исследователей, локальное распространение и выполняет микрорифты только на Надеждинской и Орьебашской площадях. Предполагается, что надеждинская свита может соответствовать машакской свите западного склона Южного Урала (Козлов, 2008) и, следовательно, иметь раннесреднерифейский возраст. Вместе с тем в более ранней работе сказано буквально следующее: «…надеждинская свита … завершая осадконакопление калтасинского времени, имеет небольшую мощность, существенно аргиллитовый состав и сохранилась в небольших синклинальных структурах… На Южном Урале аналогично построена тюльменская толща, завершающая существенно карбонатный разрез авзянской свиты и всего среднего рифея. Таким образом, на востоке ВУО [Волго-Уральской области. – *А.М.*] пограничные слои нижнего и среднего рифея лишены эффузивных образований и даже примеси вулканогенного материала…» (Козлов и др., 2000, с. 55). Мы специально прибегаем здесь, как и в ряде мест далее, к весьма значительному по объему цитированию, поскольку это позволяет наглядно продемонстрировать существенные различия во взглядах одних и тех же авторов на одну и ту же проблему при практически одном и том же фактическом материале.

резе бурзянской серии обособлены только айская, саткинская и бакальская свиты) расчленение нижнерифейских отложений при крайне редкой сети вскрывших их скважин. По сути дела, и в начале второго десятилетия XXI в. общую ситуацию можно весьма показательно охарактеризовать следующими словами: «Практически каждая скважина вскрывает разрез додевонских отложений, имеющий только ему присущие особенности, что при незначительных интервалах проходки с отбором керна и выхода последнего, отсутствии надежных возрастных реперов и маркирующих горизонтов затрудняет сопоставление разрезов даже в пределах одной разведочной площади» (Козлов, 1994, с. 34).

К среднему рифею в корреляционной стратиграфической схеме отнесены породы тукаевской, ольховской и усинской свит. В указанном объеме среднерифейские отложения развиты в основном в центральной и восточной зонах Камско-Бельского авлакогена, а также на северо-востоке Серноводско-Абдулинского авлакогена. В северной приосевой зоне, как и в западной и северной прибортовых зонах Камско-Бельского авлакогена, известны только породы тукаевской свиты (Стратиграфическая…, 2000). Достаточно просто построен, как следует из (Стратиграфическая…, 2000), и разрез абдулинской серии верхнего рифея Камско-Бельского авлакогена, объединяющей (снизу вверх) леонидовскую, приютовскую и шиханскую свиты. В Серноводско-Абдулинском авлакогене абдулинская серия представлена двумя нижними свитами.

Однако далее для характеристики литогеохимических особенностей песчаников и тонкозернистых обломочных пород рифея Камско-Бельского авлакогена мы применяем не вкратце охарактеризованную выше корреляционную схему, а схему стратиграфии рифейских отложений Волго-Уральской области (Ишерская, Романов, 1993), представляющую собой модифицированный с учетом материалов сейсморазведки методом общей глубинной точки (МОГТ) вариант рабочей схемы стратиграфии и корреляции отложений верхнего протерозоя Западной Башкирии (Рабочая..., 1981). При рассмотрении же литогеохимии терригенных пород венда применяется, напротив, унифицированная стратиграфическая схема вендских отложений Волго-Уральской области (Стратиграфическая…, 2000) в той ее части, что касается Шкаповско-Шиханской впадины (рис. 3; табл. 1).

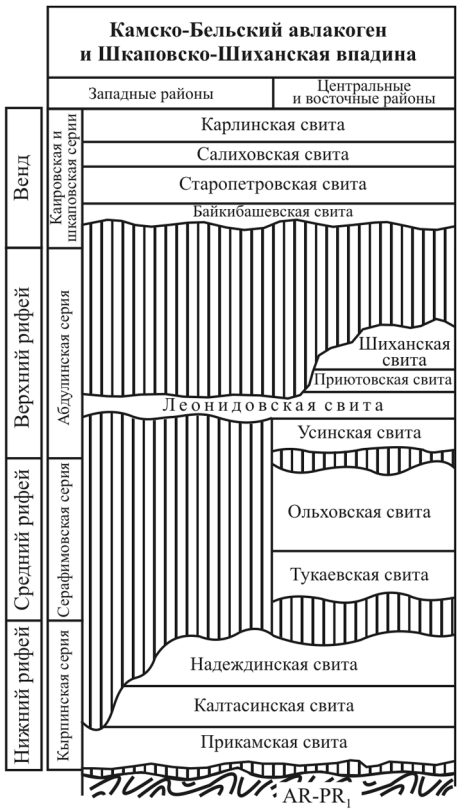


Рис. 3. Сводная стратиграфическая колонка отложений рифея и венда Волго-Уральской области

Таблица 1

Схема стратиграфии верхнего докембрия Камско-Бельского авлакогена и Шкаповско-Шиханской впадины

Эонотема	Эратема	Система	Серия	Свита	Возраст, млн лет	Литология	Мощность, м
		Венд	Шкаповская	Карлинская		Зеленовато-серые и (реже) темно-коричневые аргиллиты с прослоями и пакетами светлоокрашенных алевролитов и песчаников	0–600
				Салиховская		Пестроцветные песчаники и алевролиты с подчиненными прослоями аргиллитов	100–450
			Каировская	Старопетровская	~595*	Зеленовато-серые и (реже) буровато-коричневые алевроаргиллиты, алевролиты, песчаники, маломощные прослои алевритистых известняков, витрокластические туфы	85–320
				Байкибашевская		Средне-, крупно- и разнозернистые песчаники с гравийно-галечным материалом, гравелиты; в подчиненном количестве алевролиты и аргиллиты	10–85
Рифей	Верхний		Абдулинская	Шиханская		Пестроцветные глинистые и строматолитовые известняки, доломиты, мергели	0–360
				Приютовская	843–896*	Пестроцветные глинистые сланцы, алевролиты, мергели, доломиты, песчаники	76–676
				Леонидовская		Пестро- и сероцветные песчаники кварцевые с каолинитовым цементом	57–1300
				Усинская		Пестро- и сероцветные песчаники аркозовые и полевошпато-кварцевые, алевролиты и аргиллиты	45–400
	Средний		Серафимовская	Ольховская	1138–1120***	Внизу – темноцветные алевролиты и глинистые сланцы (акбердинский горизонт), вверху – пестроцветные аргиллиты, мергели, алевролиты, глинистые сланцы и доломиты	340–840
				Тукаевская	< 936***, 1250–1275*, 1270****	Пестроцветные аркозовые и полевошпато-кварцевые песчаники, глинистые сланцы и алевролиты	до 630
	Нижний		Кырпинская	Надеждинская	1366±6* ~ 1370***	Пестроцветные песчаники, алевролиты, глинистые сланцы с прослоями гравелитов и конгломератов, глинистые доломиты и мергели	150–730
				Калтасинская	1470–1490*	Доломиты, доломитистые известняки, известняки, глинистые сланцы, мелкозернистые алевролиты	60–3000
				Прикамская (актанышская и можаровская)	1334–1358*, 1480–1410** 1542±18*	Конгломераты, гравелиты, песчаники аркозовые, полевошпато-кварцевые и кварцевые, серые и розовато-серые; алевролиты, глинистые сланцы, песчанистые доломиты и доломитовые мергели	1500–1900

*Датировки минералогически неизученного глауконита (K–Ar-метод). **Возраст раннедиагенетического (?) иллита (Rb–Sr-метод). ***Датировки прорывающих габбро-диабазов (K–Ar-метод). ****Возраст серицита (K–Ar-метод). Серым цветом выделены интервалы преимущественного развития карбонатных пород.

1.1. НИЖНИЙ РИФЕЙ

Нижний рифей в Камско-Бельском авлакогене представлен, согласно сведениям, приведенным в (Рабочая..., 1981; Ожиганова, 1983; Ишерская, Романов, 1993; Романов, Ишерская, 1994а, 1996а; и др.), отложениями кырпинской серии, объединяющей прикамскую, калтасинскую и надеждинскую свиты.

Прикамская свита полностью вскрыта скважинами на западном борту Камско-Бельского (скважины Карачевская-20005, Мензелино–Актаныш-183) и в северной части Серноводско-Абдулинского (скважины Морозовская-1, Леонидовка-495, Серафимовская-377, Сулли-20007, Подгорная-20006 и др.) авлакогенов. Залегая непосредственно на породах кристаллического фундамента, она согласно с постепенным переходом (без видимых следов перерыва и размыва) перекрывается образованиями калтасинской свиты. Иногда (скважины Карачевская-20005, Мензелино–Актаныш-203 и Мензелино–Актаныш-183) рассматриваемые отложения выходят на уровень предвендского и предпалеозойского денудационного среза и тогда размыты на разную глубину.

Свита слагается преимущественно терригенными пестроцветными породами, снизу вверх расчленяется на четыре подсвиты[2]: азякульскую (песчаниковую), норкинскую (алевролито-аргиллитовую), ротковскую (песчаниковую) и минаевскую (карбонатно-терригенную). Упоминавшиеся ранее в составе свиты вулканиты (Нефтегазоносные..., 1969) представляют собой, по всей видимости, в подавляющем большинстве случаев секущие интрузивные образования.

Розовые и розовато-серые песчаники объединяются в азякульскую подсвиту. Состав их преимущественно кварцевый; преобладают мелко- и среднезернистые разности, подчиненное значение имеют крупнозернистые песчаники с полуокатанной, угловато-окатанной и (значительно реже) угловатой кластикой. Мощность подсвиты варьируется в пределах 60–140 м, однако представляется весьма вероятным, что она может оказаться много больше, так как на границе с перекрывающей ее норкинской подсвитой в полностью разбурив-ших ее скважинах Мензелино–Актаныш-183 и Мензелино–Актаныш-20005 прослеживается значительная (более 200 м) дайка габбро-диабазов. Норкинская подсвита сложена в основном красно-бурыми, темными фиолетово-бурыми, темно-серыми, черными (реже – красно-бурыми) аргиллитами и алевролитами. Последние характеризуются полевошпат-кварцевым и аркозовым составом, содержат примесь песчаного и (на отдельных участках) гравийного материала. К разным частям подсвиты приурочены прослои серых и розовато-серых мелкозернистых полевошпат-кварцевых песчаников, доломитов и мергелей. Мощность норкинской подсвиты изменяется в пределах рассматриваемой нами территории от 250 до 770 м (Маслов, Ишерская, 1998). Ротковская подсвита представлена красноцветными (розовыми, красно-бурыми, редко – светлыми зеленовато-серыми) песчаниками. Состав песчаников полевошпат-кварцевый; в нижней половине подсвиты встречаются кварцевые их разности. Преобладают мелкозернистые псаммиты, часто наблюдаются разнозернистые

[2]Азякульская и норкинская подсвиты объединяются в актанышскую свиту, а ротковская и минаевская подсвиты отнесены к можаровской свите (Ишерская, Романов, 2000; Романов, Ишерская, 2001).

песчаники с включениями гравийного и мелкогалечного материала. По всему разрезу подсвиты встречаются в виде линз и маломощных прослоев гравелиты и конгломераты, а также алевролиты и аргиллиты. Мощность подсвиты варьируется в пределах 142–468 м.

Минаевская подсвита объединяет светло-серые, розовые, реже – красно-бурые полевошпат-кварцевые алевролиты, серые и темно-серые доломиты, коричневые мергели, реже – серые и розовато-серые песчаники полевошпат-кварцевого состава, находящиеся в неравномерном переслаивании. На разных уровнях разреза подсвиты присутствуют прослои, линзы и скопления гравийно-галечного материала. Отличительная черта отложений данного уровня – наличие в алевролитах и песчаниках значительного количества глауконита. Мощность подсвиты варьируется в пределах 60–227 м.

Все подсвиты прикамской свиты связаны между собой постепенными переходами. Общая вскрытая мощность свиты в стратотипическом разрезе составляет 1013 м, а на территории Западной Башкирии меняется от ~100 до 1800 м.

В южных районах Камско-Бельского авлакогена и на большей части Серноводско-Абдулинского авлакогена прикамская свита, согласно результатам сейсморазведки, расчленяется на две пачки. На их границе прослеживается прерывистый отражающий горизонт, совпадающий с кровлей норкинской подсвиты, что позволяет считать нижнюю сейсмопачку аналогом азякульской и норкинской подсвит, а верхнюю – аналогом ротковской и минаевской.

В обрамлении Татарского свода на временных сейсмических профилях наблюдается постепенное и почти полное выклинивание нижней сейсмопачки. Базальными становятся более высокие уровни прикамской свиты. Это подтверждается и результатами бурения скважин Леонидовка-495, Морозовская-1, Подгорная-20006, Сулли-20007 и некоторых других, где отсутствуют характерные для других районов кварцевые песчаники азякульской подсвиты (Ишерская, Романов, 1993). Прикамская свита представлена здесь нижней (песчаниковой) и верхней (карбонатно-глинистой) толщами, которые Л.Ф. Солонцовым с соавторами (1966) выделены как троицкая и мизгиревская свиты, которые соответствуют, вероятно, ротковской и минаевской подсвитам.

Нижнерифейский возраст отложений прикамской свиты обосновывается датировками аутигенного глауконита из скважин Карачевская-20005 и Урус-Тамак-191 (1430–1358 + 30 млн лет), а также определениями изотопного возраста секущих габбро-диабазов в 1037–1163 млн лет (скв. Карачевская-20005) и 1300–1316 млн лет (скв. Мензелино–Актаныш-183) (Стратотип..., 1983; Ишерская, Романов, 1993). Не противоречат этому заключению и данные В.М. Горожанина (1983) по изотопному датированию аргиллитов (К–Ar-метод) из норкинской подсвиты прикамской свиты (разрез скв. Карачевская-20005). В то же время, согласно исследованиям Е.В. Козловой, в отложениях норкинской и ротковской подсвит прикамской свиты присутствуют акритархи и нитчатые формы микрофоссилий, на основе анализа которых «возраст вмещающих отложений может быть датирован как не более древний, чем верхний рифей» (Козлова, 1990, с. 4).

Калтасинская свита – это один из основных маркирующих горизонтов рифея на востоке Русской платформы. В Камско-Бельском авлакогене она

полностью вскрыта только в скв. Арлан-7000, хотя существует мнение, что и здесь самая верхняя ее часть размыта (Ишерская, Романов, 1993). В скважинах Калтасы (Орьебаш)-82 и Калтасы (Орьебаш)-83 свита вскрыта на значительную глубину. На северном борту Серноводско-Абдулинского авлакогена свита также пройдена на полную мощность в большинстве пробуренных глубоких скважин.

Отложения калтасинской свиты залегают согласно на породах прикамской свиты и перекрываются с размывом и перерывом либо терригенными образованиями надеждинской свиты нижнего рифея, либо базальными толщами верхнего рифея, венда или палеозоя (Ишерская, Романов, 1993). Представлена калтасинская свита почти исключительно карбонатными породами (известняками и доломитами), содержащими прослои и пачки терригенных отложений. До бурения скв. Арлан-7000 калтасинская свита, развитая на территории Западной Башкирии и смежных районов, представлялась большинству исследователей однородным геологическим телом, имеющим существенно доломитовый состав. Лишь на территории Пермской области и Удмуртии в разрезе калтасинской свиты оказались вскрыты бурением и фиксировались по геофизическим данным относительно мощные пачки терригенных образований (Фролович, 1980). Новые результаты бурения и расширение геофизических работ показали, что они значительно распространены в средней части калтасинской свиты и северных районах Башкирии.

В стратотипическом разрезе калтасинская свита подразделяется на три подсвиты (снизу вверх): саузовскую, арланскую и ашитскую. Саузовская подсвита полностью перебурена только в скв. Арлан-7000; в скв. Саузбаш-2 ее образования выходят на предпалеозойский срез и в верхней своей части размыты. Эта подсвита сложена серыми, розовато-серыми и, что значительно реже, зеленовато-серыми доломитами, обычно неслоистыми (на некоторых уровнях обнаруживающими присутствие многочисленных микростилолитовых швов) или слоистыми (полосчатыми). В виде отдельных прослоев и пачек небольшой мощности наблюдаются строматолитовые и онколитовые разности доломитов микро-, тонко- и неравномернокристаллических, а также прослои окремнелых и пиритизированных. Подчиненную роль среди доломитов играют маломощные прослои аргиллитов, мергелей, алевролитов и известняков. Мощность саузовской подсвиты в скв. Арлан-7000 составляет 815 м.

Арланская подсвита представлена темно-, светло- или буровато-серыми полевошпат-кварцевыми и аркозовыми алевролитами и темно-серыми глинистыми сланцами с прослоями известняков, доломитов и доломитовых мергелей. По сведениям Т.В. Ивановой (1970), подсвита расчленяется на три толщи. Средняя из них, основная по объему, имеет преимущественно терригенный состав, нижняя и верхняя – терригенно-карбонатный. Мощность подсвиты составляет в пределах рассматриваемой нами территории 537–980 м и более.

Завершающая разрез калтасинской свиты ашитская подсвита разбурена глубокими скважинами на Арланской, Калтасинской, Орьебашской и Татышлинской площадях. Сложена она серыми и зеленовато-серыми, обычно массивными (иногда – строматолитовыми), но на отдельных уровнях тонкослоистыми доломитами, среди которых отмечаются прослои известняков и алевролито-аргиллитовых пород, сходных по облику с породами арланской

подсвиты. Мощность ашитской подсвиты варьируется вследствие размыва ее верхней части в интервале 230–1650 м и более. Вскрытая мощность калтасинской свиты в Камско-Бельском авлакогене изменяется от ~230 до 1700 м (Ишерская, Романов, 1993; Маслов, Ишерская, 1998; Романов, Ишерская, 2001).

Результаты сейсмического профилирования свидетельствуют, что трехчленное строение свиты характерно только для осевой, наиболее погруженной части Камско-Бельского и (не повсюду) крайней восточной (скв. Аслыкуль-4) части Серноводско-Абдулинского авлакогенов. На остальной территории (окрестности скважин Леонидовка-495, Морозовская-1, Сулли-20007 и др.) калтасинская свита представлена единой толщей серых и коричневых пелитоморфных (иногда – окремнелых, кавернозных и/или строматолитовых) доломитов, содержащих подчиненные прослои алевролитов и аргиллитов. Л.Ф. Солонцовым с соавторами (1966) калтасинская свита в этом районе выделена под названием малокамышской свиты. На участках, прилагающих к Татарскому своду, в отдельных скважинах (в частности, Подгорная-20006 и Подгорная-20008) на уровне калтасинской свиты отмечается тектоническая брекчия. Мощность свиты составляет здесь 75–80 м.

В скважинах Арлан-36, База-1, Серафимовка-119 и Леонидовка-495 в калтасинских отложениях определен нижнерифейский комплекс микрофитолитов[3] (Забродин, 1967), а в скважинах Сулли-20007 и Аслыкуль-4 выявлены строматолиты нижнего рифея (неопубликованные сведения М.А. Семихатова и Н.П. Пановой, ИГ УНЦ РАН). В породах, вскрытых скв. Арлан-36, Г.А. Казаков (1967) установил К–Ar-возраст аутигенного глауконита (1470–1490 млн лет). На нижнерифейский возраст калтасинской свиты указывают также и данные C- и Sr-хемостратиграфии (Кей и др., 2007). В то же время из пород саузовской подсвиты калтасинской свиты, вскрытых скв. Азино–Пальниковская-133 (40 км к юго-востоку от Ижевска), А.Ф. Вейсом с соавторами (2000) описаны микрофоссилии, в значительной степени подобные более молодым (постнугушским, посткерпыльским и др.) микробиотам каратавия Южного Урала и Средней Сибири. Ранее гигантские водоросли-грибы, трихомы крупных осциллаториевых водорослей и нитчатые водоросли отмечены Т.В. Янкаускасом (1982) в аргиллитах арланской подсвиты (скважины Калтасы-83 и Арлан-7000).

Надеждинская свита в большинстве районов Камско-Бельского авлакогена представляет собой самое верхнее стратиграфическое подразделение нижнего рифея. Достаточно долго считалось, что она имеет локальное развитие и вскрыта в единичных скважинах на Надеждинской, Орьебашской и Аслыкульской площадях, однако анализ материалов сейсморазведки показывает, что породы свиты прослеживаются практически на всей территории Западной Башкирии, исключая только крайние западные и северо-западные ее районы (Ишерская, Романов, 1993; Романов, Ишерская, 2001).

Первоначально в типовом разрезе свита расчленялась Т.В. Ивановой на нижнюю (карбонатно-терригенную), среднюю (песчаниковую) и верхнюю

---

[3]Этот аргумент в пользу нижнерифейского возраста отложений калтасинской свиты в свете современных представлений о природе и стратиграфическом значении микрофитолитов можно рассматривать только как имеющий исторический интерес.

(терригенно-карбонатную) толщи. Позже на основе результатов бурения и сейсморазведки установлено (Ишерская, Романов, 1993), что надеждинская свита подразделяется здесь на нижнюю (преимущественно песчаниковую) и верхнюю (карбонатно-глинистую) подсвиты. Нижняя подсвита сложена серыми, розовато-серыми, зеленовато-серыми песчаниками с подчиненными прослоями алевролитов, буровато-красных и коричневых глинистых сланцев, гравелитов и конгломератов. По своему составу все песчаники – аркозовые и полевошпат-кварцевые, разнозернистые (преобладают мелкозернистые разности). Среди них по всему разрезу подсвиты выявлены редкие гальки кварца размером 0.5–1.5 см. Гравелиты состоят из мелкогравийных и крупнопесчаных хорошо окатанных зерен кварца, микроклина и обломков кварцитов, сцементированных вторичным доломитом. Конгломераты сложены гальками кварца, полевого шпата, магматических и кремнистых пород размером до 3.5 см в поперечнике. Мощность подсвиты изменяется в пределах 70–320 м. Верхняя подсвита представлена сургучно-красными, коричневыми, буровато-серыми и зелеными аргиллитами, мергелями, доломитами и песчаниками, находящимися между собой в тонком и грубом, как правило, неравномерном переслаивании. Некоторые исследователи в отложениях верхней подсвиты отмечают наличие метаморфизованных вулканогенно-осадочных пород, однако в скважинах Аслыкуль-4, Сулли-20007 и Леонидовка-495 эти породы не прослеживаются (Ишерская, Романов, 1993). Мощность подсвиты составляет 0–460 м, что обусловлено выводом отложений на послераннерифейский денудационный срез и размывом их на разную глубину.

В Серноводско-Абдулинском авлакогене во всех скважинах, вскрывших надеждинскую свиту, она представлена двумя подсвитами, а в Камско-Бельском авлакогене присутствует преимущественно только ее нижняя (песчаниковая) часть, так как верхняя, по-видимому, полностью уничтожена размывом (за исключением окрестностей скважин Иткинеево-18, Игровка-23 и Тепляки-47) (Ишерская, Романов, 1993). Общая вскрытая мощность надеждинской свиты меняется в пределах Западной Башкирии от нескольких десятков до 780 м (Маслов, Ишерская, 1998). Нижнерифейский возраст пород надеждинской свиты подтверждается определениями по аутигенному глаукониту (1366±6 млн лет) (K–Ar-метод, скв. Сулли-20007, данные Л.В. Анфимова). Возраст даек габбро-диабазов, прорывающих отложения надеждинской свиты, варьируется в пределах 1310–1377 млн лет (Стратотип..., 1983). В центральных районах Камско-Бельского авлакогена (скв. Кабаково-62 и др.) ранее к нижнему рифею условно были отнесены также отложения *кабаковской свиты* (толщи) (Андреев и др., 1981). Согласно же изложенным в (Ишерская, Романов, 1993) представлениям, слагающие указанную свиту отложения принадлежат верхней части надеждинской свиты.

Общая мощность кырпинской серии составляет 1478–5000 м. Прикамская свита кырпинской серии традиционно сопоставляется с айской свитой типового разреза рифея; калтасинская свита – с саткинской (Стратотип..., 1983; Ишерская, Романов, 1993). Отложения надеждинской свиты соответствуют либо бакальской, либо машакской свитам (Романов, Ишерская, 1994а). Это возможно, если считать, что калтасинская свита синхронна образованиям всего послеайского интервала бурзянской серии.

1.2. СРЕДНИЙ РИФЕЙ

Отложения среднего рифея достаточно широко распространены на территории Волго-Уральской области и вскрыты в ее северных, западных, восточных и отчасти южных районах. Базальные образования среднего рифея трансгрессивно залегают на разных уровнях надеждинской и калтасинской свит нижнего рифея и на породах кристаллического фундамента (Романов, Ишерская, 1994а). Так, к югу и северу от скв. Аслыкуль-4 они ложатся на маломощную толщу, отвечающую сохранившемуся от размыва фрагменту верхней части надеждинской свиты. Несколько севернее в отдельных местах предполагается налегание среднего рифея непосредственно на нижнюю подсвиту надеждинской свиты (Романов, Ишерская, 1994а). Перекрываются среднерифейские толщи базальными образованиями верхнего рифея (в ряде случаев – венда). В окрестностях Кабаково и Сергеевки серафимовская серия перекрывается отложениями приютовской свиты верхнего рифея. Природа этого контакта не вполне ясна.

Средний рифей на рассматриваемой нами территории выделяется в объеме серафимовской свиты (серии) К.Р. Тимергазина (1959). Первоначально серафимовская свита расчленялась К.Р. Тимергазиным на толщи нижнюю (песчаниковую) и верхнюю (карбонатно-терригенную), впоследствии названные тукаевской и ольховской (Морозов и др., 1972). Позже серафимовская свита была переведена в ранг серии, а входившие в ее состав толщи стали рассматриваться как самостоятельные свиты. На основе литологической информации в серафимовскую серию включена третья (самая верхняя) усинская свита (Ожиганова, 1975), имеющая, как установлено к настоящему времени, значительное развитие на территории платформенной Башкирии. Усинская свита первоначально выделена С.Г. Морозовым с соавторами (1972) в качестве нижней (усинской) толщи кушкульской свиты верхнего рифея в разрезе скв. Кушкуль-100. По мнению С.Г. Морозова и его коллег, здесь она составляла нижнюю толщу единого и непрерывного разреза песчаных образований, отличаясь, однако, от вышележащих образований минеральным и петрографическим составом. Это и стало основанием для рассмотрения усинской толщи как части среднерифейской осадочной последовательности (обзор и анализ см. в (Ишерская, Романов, 1993))[4].

Тукаевская свита слагается розовыми, красно-бурыми, светло-серыми, оранжевыми, розовыми, коричневыми, фиолетовыми (реже – светлыми зеленовато-серыми) песчаниками с прослоями алевролитов сходного состава, а также красно-бурых и ярко-зеленых глинистых сланцев. Песчаники преимущественно мелко- и среднезернистые, отдельными прослоями разнозернистые, полевошпат-кварцевого (реже – кварцевого и аркозового) состава. По всему разрезу

---

[4]С учетом сказанного выше серафимовская серия должна включать две свиты – тукаевскую и ольховскую. Однако, по мнению В.А. Романова и М.В. Ишерской (1997), за серафимовскую серию в стратотипической местности принимались сходные с ней по составу толщи более низкого стратиграфического уровня. Наиболее представительный разрез среднего рифея вскрыт скв. Кипчак-1 у пос. Раевский, поэтому было предложено выделять эти отложения как раевскую серию и именовать свиты, соответственно, новокипчакской (нижнюю, преимущественно песчаниковую) и демской (верхнюю, карбонатно-терригенную).

свиты в песчаниках отмечаются гравий и мелкие галечки кварца. На отдельных участках песчаники содержат значительное количество аутигенного глауконита. Мощность тукаевской свиты варьируется в пределах 465–630 м.

Ольховская свита залегает повсеместно на тукаевской и связана с ней постепенным переходом. Граница между свитами четко устанавливается по изменению литологического состава пород. Представлена ольховская свита аргиллитами, мергелями и доломитами с редкими прослоями алевролитов и песчаников достаточно яркой окраски – красно-бурой, розовой или зеленой. Для карбонатных и глинистых пород характерна также пятнистая и полосчатая окраска. Верхняя часть свиты сложена аргиллитами с прослоями мергелей. В основании свиты во всех скважинах (кроме Аслыкуль-4) прослеживается так называемый акбердинский горизонт (Морозов и др., 1972; Андреев и др., 1981; Стратотип…, 1983), представленный темно-серыми и почти черными алевритистыми глинистыми сланцами и аргиллитами, среди которых есть и редкие, маломощные прослои песчаников. Мощность акбердинского горизонта варьируется в интервале 60–90 м. Вскрытая мощность всей ольховской свиты меняется от 340 (скв. Аслыкуль-4) до 840 м (скв. Кабаково-62).

Изотопный возраст глауконита из песчаников нижней части тукаевской свиты (скв. Серафимовка-119) составляет 1290 и 1336 млн лет (K–Ar-метод) (Гаррис, 1964; Гаррис и др., 1964). Для серицита из пород этого же уровня установлен возраст ~1270 млн лет (Зайдис, 1973). Габбро-диабазы, секущие ольховскую свиту, имеют доверхнерифейский возраст; датировки их составляют, соответственно, 1120, 1140 и 1250±50 млн лет (по результатам изучения скважин Серафимовка-119 и Старо-Петрово-5) (Стратотип..., 1983). По аутигенному глаукониту (K–Ar-метод) из песчаников в скв. Кипчак-1 возраст пород тукаевской свиты определен в 1253±20 и 1274±12 млн лет (Маслов, Ишерская, 1998). Терригенный мусковит из верхней части ольховской свиты имеет возраст 1170 млн лет (скв. Кушкуль-100).

Акбердинский горизонт ольховской свиты коррелируется с зигазино-комаровским уровнем среднего рифея Башкирского мегантиклинория. Тукаевская свита соответствует, как представляется, зигальгинскому уровню (Ишерская, Романов, 1993; Романов, Ишерская, 1994б), а верхняя часть ольховской – сопоставляется с авзянской свитой.

1.3. ВЕРХНИЙ РИФЕЙ

Верхний рифей в пределах рассматриваемой нами территории с размывом и длительным (?) перерывом в осадконакоплении залегает на образованиях серафимовской и кырпинской серий, в отдельных случаях – и на породах кристаллического фундамента. Его верхняя граница повсеместно определяется предвендским размывом. Отложения верхнего рифея полностью уничтожены в северной части Камско-Бельского авлакогена и на прилежащих участках Татарского и Пермско-Башкирского сводов. Сохранились же от размыва они только в южных и юго-восточных районах Камско-Бельского авлакогена, в западной полосе Западно-Уральского перикратонного опускания и в Серноводско-Абдулинском авлакогене (кроме некоторых участков его северного борта).

В соответствии с применяемой нами стратиграфической схемой, верхний рифей выделяется в объеме абдулинской серии, объединяющей отложения четырех свит (снизу вверх): усинской, леонидовской, приютовской и шиханской (Ожиганова, 1975; Маслов, Ишерская, 1998; Романов, Ишерская, 2001).

Усинская свита слагается бледно-розовыми, светло-серыми и красновато-бурыми преимущественно разнозернистыми полевошпат-кварцевыми (реже – кварцевыми и аркозовыми) песчаниками с прослоями несколько темнее окрашенных алевролитов и аргиллитов. Она несогласно, с размывом, залегает на подстилающих ее образованиях (в скважинах Подгорная-20006 и Кипчак-1 в основании свиты присутствуют песчаники с мелкими галечками полевого шпата и кварца). Перекрывается усинская свита согласно породами леонидовской свиты. В скв. Подгорная-20006, в соответствии с результатами исследований Л.Д. Ожигановой и М.В. Ишерской, между этими свитами прослежена 28-метровая переходная пачка, представленная переслаиванием пород, типичных и для усинской, и для леонидовской свит (Маслов, Ишерская, 1998). Наиболее представительные разрезы свиты вскрыты в Камско-Бельском авлакогене скважинами Кипчак-1, Кушкуль-100 и Северокушкуль-1. Отложения усинской свиты известны также на северном борту Серноводско-Абдулинского авлакогена, однако из-за своей небольшой мощности (не более 18–20 м) они прослеживаются лишь в отдельных скважинах (Ишерская, Романов, 1993). Мощность усинской свиты изменяется от примерно 100 (скважины Кабаково-62 и Сергеевка-800) до 400 м и более (скв. Кипчак-1).

Леонидовская свита сложена преимущественно буровато-розовыми, красно-бурыми и светло-серыми с фиолетовыми и коричневыми оттенками разнозернистыми (в основном мелко- и среднезернистыми) мономинеральными кварцевыми песчаниками и, что значительно реже, алевропесчаниками, содержащими подчиненные прослои красно-бурых аргиллитов. Наблюдаемые в породах данного подразделения слоистость и пятнистость зачастую обусловлены неравномерным распределением оксидов железа и разной их зернистостью. Для песчаников леонидовской свиты весьма характерно присутствие многочисленных белых точек и неправильных по форме участков, представленных каолинитом или же каолинитом и диккитом (порово-пленочный тип цемента или каолинизированные полевые шпаты). В Серноводско-Абдулинском авлакогене (вблизи Татарского свода) среди песчаников отмечаются прослои гравийных разностей и хорошо окатанные гальки кварца до 2 см в диаметре. Иногда наблюдаются маломощные прослои конгломератов (скв. Тат-Кандызская-128 и др.).

В северо-восточной части Камско-Бельского (скв. Северокушкуль-1) и на северном борту Серноводско-Абдулинского (скважины Подгорная-20006, Сулли-20007, Серафимовская-119, Троицкая-547, Леонидовка-500 и Леонидовка-229 и др.) авлакогенов отложения леонидовской свиты выходят на поверхность предвендского размыва и частично размыты.

Мощность леонидовской свиты варьируется в пределах 100–1000 м и более. Максимальные ее значения установлены в центральной части Серноводско-Абдулинского авлакогена (скв. Шкапово-740), где только вскрытая часть свиты составила 1354 м. Аномально низкие мощности (приблизительно 60 м) отмечены в скважинах Кабаково-62 и Сергеевка-800.

Приютовская свита[5] залегает на образованиях леонидовской свиты и либо связана с ними постепенным переходом, либо отделена от них перерывом в осадконакоплении. В большинстве районов Западной Башкирии отложения приютовской свиты выходят на предвендский денудационный срез; разрез их представлен лишь сохранившимися от размыва фрагментами. Полностью отложения свиты вскрыты только в скважинах Кушкуль-100, Кабаково-62, Шихан-5 и Ахмерово-6.

Приютовская свита подразделяется с учетом особенностей литологического состава на подсвиты (снизу вверх): базлыкскую, кожайскую и кармалкинскую. Базлыкская подсвита представлена пестроцветными красно-бурыми и блекло-зелеными аргиллитами и обусловленными ими доломитовыми мергелями. Подчиненную роль в ее разрезах играют алевролиты, песчаники и доломиты. Мощность подсвиты варьируется в интервале 150–300 м и более.

Кожайская подсвита отличается от подстилающих и перекрывающих ее образований преимущественно алевролито-песчаным составом. Песчаники характеризуются неравномерным (пятнистым) распределением зеленовато-, розовато-серой и кирпично-красной окраски, полевошпат-кварцевым составом и плохо отсортированы; среди них иногда выявляются прослои аргиллитов, реже – доломитовых мергелей. Мощность подсвиты приблизительно 200 м.

Кармалкинская подсвита сходна по составу с базлыкской, однако ее породы несколько ярче по окраске. Основную роль в составе подсвиты играют аргиллиты и алевролиты, находящиеся в тонком и грубом переслаивании. Мощность подсвиты не превышает 100 м, а общая мощность приютовской свиты составляет 400–600 м или несколько более.

Шиханская свита развита только в самой восточной части Камско-Бельского авлакогена и Западно-Уральском перикратонном погружении. Ее отложения без видимого перерыва залегают на подстилающих породах приютовской свиты. Перекрыты отложения шиханской свиты терригенными образованиями венда, залегающими на них с размывом и перерывом. Свита представлена буровато-серыми, красно-бурыми, зеленовато- и темно-серыми известняками, в том числе глинистыми и (на отдельных уровнях) строматолитовыми, с подчиненными им прослоями доломитов, мергелей, аргиллитов и, что редко, алевролитов. В наиболее полном разрезе (скв. Шихан-5) свита расчленяется, по данным Л.Д. Ожигановой, на нижнюю, среднюю и верхнюю толщи. В основании ее развиты серые и темно-серые известняки с неотчетливой строматолитовой структурой. Значительную часть объема свиты образуют здесь красно- и пестроцветные известняки с прослоями мергелей, тогда как в верхней ее части преобладают сероцветные тонкослоистые (полосчатые) известняки. Вскрытая мощность шиханской свиты составляет 170–363 м. Шиханская свита завершает разрез абдулинской серии. Общая мощность отложений этой серии варьируется на востоке Русской платформы в пределах 500–2500 м и более.

---

[5]Согласно приведенным в (Козлов и др., 2004; Сергеева, 2008) сведениям, в стратотипическом разрезе приютовской свиты (скв. Шкапово-740) породы кожайской и кармалкинской свит содержат в тяжелой фракции существенную долю граната – минерала, типичного для отложений венда, но не рифея Камско-Бельского авлакогена. На основании этого объем собственно верхнерифейской приютовской свиты в работах названных авторов существенно сокращен.

Верхнерифейский возраст абдулинской серии обосновывается геохронологическими и палеонтологическими (частично) данными. Большое количество определений изотопного возраста по глауконину, варьирующихся в пределах 750–921 млн лет, получено для разных интервалов верхней части приютовской свиты (Стратотип..., 1983). Pb–Pb-возраст карбонатных пород шиханской свиты составляет, согласно информации в (Иванова и др., 2002б), приблизительно 900 млн лет (эти сведения опубликованы как предварительные). Комплекс микрофитолитов, обнаруженный в шиханской свите стратотипического разреза, по данным А.З. Сюндюкова и Э.А. Ревенко (1969), обладает сходством с микрофитолитами катавской свиты верхнего рифея Южного Урала[6]. В породах приютовской свиты в разрезе скв. Кабаково-62 присутствуют микрофоссилии позднерифейского облика (Янкаускас, 1982; Стратотип..., 1982).

1.4. ВЕНД

В большинстве районов на востоке Восточно-Европейской платформы венд представлен только верхним отделом. В Шкаповско-Шиханской впадине верхневендские отложения расчленены на каировскую и шкаповскую серии (Стратотип…, 1983; Вендская…, 1985; Аксенов, 1998; Стратиграфическая…, 2000). Максимальная их мощность достигает 1.6–1.8 км. По сравнению с подстилающими образованиями рифея отложения верхнего венда характеризуются существенно меньшей дислоцированностью, имеют плащеобразное залегание. Согласно результатам геофизического изучения (Лозин, Хасанов, 1991а, 1991б; Глубинное…, 2001; Berzin et al., 1996; Echtler et al., 1996), верхневендские образования Шкаповско-Шиханской впадины сменяются восточнее по системе складчато-надвиговых дислокаций верхневендскими отложениями ашинской серии Башкирского мегантиклинория.

Каировская серия объединяет байкибашевскую и старопетровскую свиты, шкаповская – салиховскую и карлинскую.

Байкибашевская свита представлена зеленовато-серыми и серыми песчаниками с точечными вкраплениями черных и розовых минералов, придающими породам характерный облик. В песчаниках в переменном количестве присутствует примесь гравийно-галечного материала, встречаются также прослои более темных алевролитов и аргиллитов. В нижней части свиты доминируют разно- и крупнозернистые плохо отсортированные неслоистые песчаники с прослоями гравийного материала и редкими гальками (до 3 см в поперечнике) красно-розовых калиевых полевых шпатов, жильного кварца и кристаллических пород, встречаются прослои гравелитов. Здесь же наблюдаются средне- и крупнозернистые песчаники с многочисленными относительно хорошо окатанными пластинками аргиллитов. В верхней части свиты преобладают алевропесчаники с тонкими пропластками алевритистых аргиллитов, подчеркивающими волнистую, косоволнистую, мелкую косую и штриховатую слоистость. Мощность свиты составляет 10–85 м. Максимальные мощности отложений байкибашевской свиты тяготеют к юго-восточной части Шкаповско-Шиханской впадины.

---

[6]См. сноску 4.

Старопетровская свита слагается зеленовато-серыми (реже – буровато-коричневыми) алевролито-аргиллитовыми породами (некоторые из них относятся к витрокластическим туфам, по (Лагутенкова, 1963; Стратотип…, 1983)), содержащими переменное количество песчаного материала. В отдельных скважинах его суммарное количество составляет почти половину разреза свиты. Для восточной части впадины характерно присутствие в разрезах старопетровского уровня алевролитов с карбонатным цементом и маломощных прослоев алевритистых известняков. Мощность свиты варьируется в пределах 85–320 м, увеличиваясь с запада на восток и с севера на юг.

Салиховская свита включает в себя буровато- и красновато-коричневые, а также зеленовато-серые (в основном в нижней части разреза) песчаники и алевролиты с подчиненными прослоями зеленовато-серых и темно-коричневых аргиллитов. В отдельных разрезах свиты последние преобладают над песчаниками и алевролитами. Мощность свиты изменяется в пределах 100–450 м. Область максимальных значений мощности соответствует центральной части Шкаповско-Шиханской впадины.

Карлинская свита сложена преимущественно зеленовато-серыми (реже темно-коричневыми) аргиллитами, содержащими микропрослои, прослои и пакеты светлее окрашенных алевролитов и песчаников. Мощность свиты варьируется в интервале 0–600 м (малые мощности или отсутствие отложений обусловлены предпалеозойским размывом). Максимальные мощности свиты приурочены к южной и юго-восточной частям впадины (Стратотип…, 1983; Ишерская, Романов, 1993).

Байкибашевская свита Шкаповско-Шиханской впадины традиционно сопоставляется с урюкской свитой ашинской серии Башкирского мегантиклинория, старопетровская свита – с басинской. Салиховской свите отвечает куккараукская, а карлинской – зиганская (Стратотип…, 1983; Стратиграфическая…, 2000). Изотопный возраст глауконита (K–Ar-метод) из алевропесчаников старопетровской свиты составляет ~595 млн лет (Казаков и др., 1967; Стратотип..., 1983).

Глава 2

УСЛОВИЯ ФОРМИРОВАНИЯ ВЕРХНЕДОКЕМБРИЙСКИХ ОТЛОЖЕНИЙ (по результатам ранее проведенных исследований)

Различия в определении стратиграфического положения тех или иных толщ в довендском разрезе Камско-Бельского авлакогена и типичные для публикаций 1950–1970-х гг. расхождения исследователей во взглядах на корреляцию их между собой и с эталоном рифея не позволяют в настоящее время корректно использовать существенную часть опубликованных литолого-фациальных, палеотектонических и палеогеографических реконструкций, поэтому ниже кратко анализируются лишь некоторые из них. Работы, вышедшие в свет до 1970-х гг., подробно охарактеризованы в (Маслов, Ишерская, 1998). В данной главе сведения, приведенные в этой работе, несколько расширены, уточнены и дополнены.

Рассматривая особенности химического состава верхнепротерозойских осадочных ассоциаций Волго-Уральской области, С.Г. Морозов с соавторами (1980) отмечали, что с учетом комплекса данных ($Fe^{+3} >> Fe^{+2}$, $K_2O >> Na_2O$, Al_2O_3/Na_2O ~22–32) эти образования имеют типично платформенный генезис. Накопление их происходило в основном в окислительных обстановках прибрежной части мелководно-морских бассейнов. Особое место среди осадочных последовательностей рифея занимают, по мнению этих авторов, породы арланской свиты. Свойственные им литохимические характеристики ($Fe^{+3} << Fe^{+2}$, $K_2O << Na_2O$, $A1_2O_3/Na_2O$ ~5–11) позволили названным исследователям предположить, что формировались отложения арланского времени на умеренно больших глубинах, где преобладали восстановительные условия. Было также высказано мнение, что в арланском веке бассейн востока Восточно-Европейской платформы имел связь с Уральской геосинклиналью.

Согласно результатам исследований Е.М. Аксенова и Л.Ф. Солонцова (Аксенов и др., 1984; Аксенов, Солонцов, 1986), на начальных стадиях развития Камско-Бельского авлакогена в пологих впадинах формировались тонкозернистые аллювиальные и озерные отложения нижней части прикамской свиты. Во второй половине прикамского времени темпы прогибания и дифференцированные подвижки блоков резко усилились, в области сноса образовался расчлененный рельеф, что способствовало накоплению преимущественно грубообломочных терригенных образований. Третья стадия (калтасинское время) характеризовалась трансгрессией мелководно-морского бассейна с нарастанием к концу раннего рифея регрессивной тенденции. В дальнейшем отложения формировались преимущественно в мелководно-морских обстановках.

Выполненный А.Т. Низамутдиновым с соавторами (1990) анализ коэффициентов накопления элементов группы железа, характера распределения малых элементов и соотношений Sr/Ba, B/Ga и Ba/Sr в рифейских отложениях север-

ного борта Серноводско-Абдулинского авлакогена (Измайловская площадь) позволил предположить чередование на водосборах процессов химического и физического выветривания в условиях пассивного тектонического режима. К концу рифея процессы химического выветривания стали преобладать.

Т.В. Иванова с соавторами (1993) предполагают, что в начале рифея Сарматский щит испытал дробление и на юго-восточной периферии Русской платформы возникла обширная Камско-Бельская впадина грабенового типа. Ее бортами служили Красноуфимский выступ Башкирского свода, Альметьевский выступ Татарского свода и Оренбургский свод. В раннем рифее в юго-восточной части этой впадины сформировался комплекс осадочных образований (агидельская, прикамская, калтасинская свиты) мощностью до 12 км. Наиболее глубоководные отложения накапливались в калтасинское время. В конце раннего рифея в связи с дифференцированным воздыманием на значительной части территории Камско-Бельского авлакогена породы нижнего рифея оказались в той или иной мере размыты. В среднем рифее на востоке Русской плиты и западном склоне Южного Урала существовал единый бассейн седиментации. В позднем рифее на рассматриваемой территории обособились две зоны интенсивного прогибания – юго-западная (Серноводско-Абдулинский авлакоген) и юго-восточная.

Т.В. Белоконь с соавторами (1994, 1995) рассматривают Камско-Бельский и Серноводско-Абдулинский авлакогены как единую систему со сложной историей эволюции. В пределах указанных структур верхнерифейские образования менее распространены, чем подстилающие комплексы, что обусловлено как предвендским и преддевонским размывами, так и особенностями синседиментационной тектоники.

По представлениям Е.В. Лозина (1994), на юго-восточном склоне Восточно-Европейской платформы в рифее сформировался ряд микрорифтов, имевших преимущественно субмеридиональную ориентировку. В раннем рифее они заполнились глубоководными осадками значительной (до 11 км) мощности. В среднем рифее микрорифтовые зоны оказались преобразованы в региональный Хомутовско-Уфимско-Тепляковский прогиб, который унаследованно развивался и в позднем рифее, и в венде. Вместе с тем предполагается, что уже в позднем рифее образование этого прогиба в значительной мере контролировалось процессами в «зарождавшейся Уральской геосинклинали» (Лозин, 1994, с. 30). Темпы осадконакопления в пределах Камско-Бельского авлакогена, максимальные в раннем рифее, постепенно снизились к концу рифея. Вследствие расширения Татарского и Башкирского сводов к концу рифея уменьшилась и общая площадь осадочного бассейна.

По данным Н.Н. Ларионова (Верхний..., 1995), значения модуля (Fe+Mn)/Ti в терригенных отложениях рифея востока Татарстана варьируются от ~5 до 21, что отвечает значениям, характерным для осадочных пород, лишенных примеси пирокластического и эксгаляционного материала. С учетом значения модуля Fe/Mn предполагается преобладание в течение почти всего рифея опресненных условий седиментации. Исключением служил лишь палеобассейн ольховского времени, в котором накапливались полевошпат-кварцевые песчаники со значениями Fe/Mn, равными ~9. Формировались эти породы, по мнению Н.Н. Ларионова, в бассейне с нормальной или несколько повышенной соленостью.

Как считают В.А. Романов и М.В. Ишерская (2001), развитие Камско-Бельского авлакогена в основном завершилось к концу среднего рифея; началом же позднего рифея датируется становление Серноводско-Абдулинского авлакогена, выполненного преимущественно отложениями абдулинской серии.

Р.Х. Масагутов (2002) рассматривает процесс формирования Камско-Бельского авлакогена как многостадийный – повторный рифтогенез в значительной мере усложнил структурный план территории, заложенный в начале раннего рифея, и привел к появлению ряда новых грабеновых прогибов. Предполагается, что уже в раннем рифее Камско-Бельский авлакоген граничил на востоке с океаническим бассейном, в котором существовала развитая островодужная система. В среднем рифее Камско-Бельский авлакоген отличался крупноступенчатым строением: западный его борт представлял собой шельфовую зону, восточные районы которой осложнялись серией прогибов, грабенов и ложбин. В позднем рифее области прогибания в авлакогене заметно сократились. По данным Р.Х. Масагутова (2002), терригенные докалтасинские отложения накапливались в условиях теплого влажного климата в слабовосстановительных и окислительных обстановках. В калтасинскую эпоху в бассейне преобладали устойчиво восстановительные обстановки. Надеждинское время ознаменовалось привнесением в область седиментации продуктов подводного вулканизма. Для тукаевской и ольховской эпох был характерен жаркий влажный климат, способствовавший возникновению на палеоводосборах кор выветривания. Накопление отложений усинской, леонидовской и приютовской свит происходило в окислительных и слабовосстановительных обстановках, тогда как в шиханском веке в бассейне преобладал восстановительный режим. Позже Р.Х. Масагутов с соавторами (2006) формирование рифейских отложений Камско-Бельского авлакогена также рассматривают на фоне многостадийного во времени и «скользящего» в пространстве рифтогенеза. Терригенные отложения арланской подсвиты калтасинской свиты, как и в (Иванова и др., 2002б), отнесены этими авторами к флишу. Надеждинская свита образована на «внутриконтинентальной стадии рифтогенеза» и распространена ограниченно. В разрезах верхней (чермасанской) подсвиты надеждинской свиты среди глинистых доломитов и доломитовых алевролитов установлены прослои метавулканитов. Среднерифейский осадочный цикл, по представлениям Р.Х. Масагутова и его коллег, состоит из двух малых циклов: первый из них отвечает тукаевской и ольховской свитам, второй – усинской свите. Отложения последней имеют локальное распространение и выполняют предположительно предпозднерифейские грабеновые прогибы. Песчаники леонидовской свиты сформированы в обстановке первой позднерифейской стадии рифтогенеза и характеризуются континентальным генезисом. Свойственный им каолинитовый цемент рассматривается (Масагутов и др., 2006) как аллотигенный. Предполагается, что между усинской и леонидовской свитами повсеместно проявлен межформационный перерыв. Второй позднерифейской стадии рифтогенеза отвечают отложения приютовской и шиханской свит. Представления о преобладании в бассейне во время формирования отложений орьебашской подсерии кырпинской серии (калтасинская, надеждинская и кабаковская свиты) восстановительных обстановок отражены и в (Козлов и др., 2002).

Рассматривая особенности накопления нижнерифейских отложений, В.А. Романов (2004) отмечает, что начало развития Камско-Бельского авлакогена отвечало сценарию «рассеянного рифтинга», формировались отложения раннего рифея в целом в условиях жаркого климата (здесь В.А. Романов ссылается на работу (Шварев и др., 1991)). Разрез нижнего рифея может быть расчленен на три тектоно-седиментационных цикла, каждый из которых имеет достаточно хорошо выраженное трансгрессивное строение. Для начала актанышского века характерно накопление субконтинентальных и сверхмелководных осадков, в период его завершения на рассматриваемой территории преобладали прибрежные и мелководно-морские отложения. В можаровском веке бассейн расширяется на запад, накапливаются преимущественно красноцветные субаэральные и прибрежно-континентальные образования. Окончание указанного временного интервала определяют в основном прибрежно- и мелководно-морские обстановки. Общий характер осадконакопления можаровского века трактуется В.А. Романовым как компенсированный. Глубина калтасинского бассейна, в целом мелководно-морского, оценивается автором примерно в 200 м. Предполагается, что размеры бассейна в начале надеждинского времени несколько сократились. По представлениям В.А. Романова, в раннем рифее питающая провинция была эродирована не менее чем на 1.5 км, и это позволяет допустить, «что в питающей провинции в раннем рифее неоднократно возникал и нивелировался среднегорный рельеф» (Романов, 2004, с. 70).

Анализ распространения и строения разрезов приютовской свиты позволил Н.Д. Сергеевой (2008) прийти к заключению, что бассейн осадконакопления в приютовское время имел существенно меньшую площадь, чем бассейн леонидовского времени. Палеогеография приютовского бассейна определялась Кушкульским и Кумертауским заливами, Кипчакским поднятием и Аслыкульской лагунной впадиной. Наличие в породах ряда разрезов приютовской свиты существенной доли полевых шпатов (скв. Шкаповская-740 и др.) позволяет предполагать «достаточно быстрый и недалекий перенос обломочного материала, источником которого мог служить Оренбургский свод» (Сергеева, 2008, с. 128). Считается, что фациальные различия разрезов приютовского уровня определялись преимущественно характером дна бассейна, тогда как петрофонд области сноса какой-либо существенной роли на распределение разных типов осадков не оказывал.

О.Б. Дьяконова (2009; и др.) на основе изучения закономерностей распределения основных породообразующих оксидов в терригенных породах рифея Камско-Бельского авлакогена установила возможность выделения их платформенной (эпиконтинентальной) и геосинклинальной (океанической) генетических ассоциаций. Первая ассоциация объединяет породы всех свит рифея, образованные в результате эрозии кристаллического цоколя Восточно-Европейской платформы; ко второй принадлежат терригенные образования арланской подсвиты калтасинской свиты, которые, по мнению О.Б. Дьяконовой, сформированы из материала, поступавшего из восточной «геосинклинальной области». Основной критерий, применяемый для разделения этих ассоциаций, – значения отношений Al_2O_3/Na_2O и K_2O/Na_2O (породы платформенной ассоциации имеют значения указанных параметров, соответственно, >20 и >10, тогда как в породах океанической ассоциации оба показателя составляют <10).

Характерные для акбердинской подсвиты ольховской свиты значения $FeO/Fe_2O_3>1$ считаются О.Б. Дьяконовой индикатором «глубоководных условий образования» (Дьяконова, 2009).

Для южной части Камско-Бельского авлакогена О.Б. Дьяконовой (2009) выделены пять «литологических фаций»: континентальная, прибрежно-морская, мелководно-морская и два типа глубоководных образований. Первая фация распространена в разрезах базальных частей седиментационных циклов (для бурзяния – тюрюшеская и ротковская свиты, а также нижняя подсвита кабаковской свиты; для юрматиния – тукаевская и усинская свиты, для каратавия – леонидовская свита и ряд пачек в составе приютовской свиты). Входящие в состав данной фации песчаники обладают значениями алюмокремниевого модуля (АМ) на уровне 0.01–0.02. У песчаников прибрежно-морской фации, встречающихся в составе всех терригенных подразделений рифея, значения АМ выше – до 0.05. Мелководно-морская фация (сарапульская, норкинская, минаевская, ольховская, усинская и ряд других свит) объединяет песчаники, алевролиты, аргиллиты, доломитовые мергели и доломиты со значительной терригенной примесью. В песчаниках данной фации АМ равен 0.07–0.09. Песчаники первого типа глубоководной фации характеризуются значениями АМ 0.10–0.15, тогда как для входящих в его состав аргиллитов АМ существенно ниже (0.22–0.30). Ко второму типу глубоководной фации, по мнению О.Б. Дьяконовой (2009), можно отнести терригенные породы арланской подсвиты. Для песчаников данного уровня АМ равен 0.10–0.12, для аргиллитов – 0.22–0.25, что рассматривается О.Б. Дьяконовой как указание на «глубоководные условия образования». Источником кластики для арланской подсвиты выступали основные вулканиты «восточной геосинклинальной области» (Дьяконова, 2009). Климат раннего рифея и второй половины позднего рифея, по мнению этого исследователя, умеренный, тогда как для всего среднего и первой половины позднего рифея он был гумидным. Такие выводы сделаны на основе анализа присущих терригенным породам рифея значений гидролизатного модуля, химического индекса изменения (CIA) и химического индекса выветривания (CIW).

По представлениям В.Н. Пучкова (2010), формирование рифейских отложений Волго-Уральской области обусловлено процессами рифтогенеза в самом начале бурзяния (к этому же времени отнесено названным автором и время заложения Камско-Бельского и Серноводско-Абдулинского авлакогенов), последующая же история – это в основном постумные опускания, приведшие к появлению более широких осадочных бассейнов. На территории современного Урала и Тимана, кроме того, зафиксированы рифтовые процессы в течение раннего, начале среднего и конце позднего рифея, а также и в завершающем рифее. Однако они, по мнению В.Н. Пучкова, в основном не затронули внутренюю структуру осадочного выполнения авлакогенов.

Разные аспекты накопления отложений венда в пределах Волго-Уральской области рассмотрены в работах М.М. Алиева, Е.М. Аксенова, Ю.В. Андреева, М.М. Балашовой, Т.В. Белоконь, Н.С. Гатиятуллина, З.П. Ивановой, Т.В. Ивановой, М.В. Ишерской, А.А. Клевцовой, Н.С. Лагутенковой, Е.В. Лозина, Р.Х. Масагутова, С.Г. Морозова, Л.Д. Ожигановой, И.Е. Постниковой, И.К. Чепиковой и др. Большинство авторов считают, что формирование нижних горизонтов верхнего венда (байкибашевская свита) на востоке Рус-

ской платформы происходило во время трансгрессии моря со стороны Урала. К концу каировского времени наблюдалась некоторая регрессия бассейна, после которой трансгрессия возобновилась и приобрела еще больший размах.

Климат позднего венда характеризуется как достаточно умеренный (в некоторых случаях – теплый и влажный) (Постникова, 1977), хотя Т.В. Иванова и О.К. Едренкина (1971), напротив, основываясь на особенностях распределения Mn, V, Cr, Ni и Cu, предполагают, что он был относительно холодным. Такого же мнения придерживается и Р.Х. Масагутов (2002). На смену преимущественно окислительным обстановкам и теплому климату рифея–раннего венда в позднем венде, как предполагается в (Алиев и др., 1977), пришли восстановительные условия и сравнительно холодный климат.

Упорядоченный и пестрый типы распределения малых элементов в отложениях верхнего венда предполагают накопление исходных осадков, соответственно, в морских и мелководно-морских условиях (Ишерская, 1978). На это указывают и результаты изучения текстурных особенностей пород (Лагутенкова, Чепикова, 1982), а также повсеместное (хотя и в относительно небольшом количестве) присутствие глауконита (Нефтегазоносные…, 1969). С учетом содержания Ba и Cl в глинистых породах принято считать, что накопление отложений позднего венда в Волго-Уральской области происходило преимущественно в нормально-морских и (иногда) солоноватоводных обстановках (Лагутенкова, Чепикова, 1982).

Геохимический режим придонных вод в бассейне в байкибашевское время менялся, по мнению большинства авторов, от окислительного до восстановительного. В старопетровское время отмечались как восстановительные (Лагутенкова, Чепикова, 1982), так и нейтральные условия (Иванова, Клевцова, 1960; Нефтегазоносные…, 1969). В салиховское время в слабоокислительной обстановке накапливались слабо дифференцированные песчаные и песчано-алевритовые осадки. Во второй половине салиховского века в бассейне существовала преимущественно окислительная среда (Иванова, Клевцова, 1960; Масагутов, 2002). Согласно взглядам Р.Х. Масагутова (2002), геохимическая обстановка в карлинском бассейне изменялась от нейтральной и слабовосстановительной (в прибрежно-морской части) до устойчиво восстановительной (в наиболее глубоководных районах).

Предполагается, что основным источником терригенного материала при формировании отложений каировской серии служил Волго-Камский массив, сложенный гранатовыми и биотит-плагиоклазовыми гнейсами, грано-диоритами, кварцитами, слюдисто-кварцевыми сланцами и габбро-диабазами. Определенную роль играли также локальные внутрибассейновые поднятия, поставлявшие рециклированный осадочный материал (Нефтегазоносные…, 1969; Алиев и др., 1977). В шкаповское время источник питания существовал и на востоке, где размывались преимущественно метаморфические и осадочные породы разных горизонтов рифея, нижнего и низов верхнего венда. По мнению З.П. Ивановой с соавторами (Нефтегазоносные…, 1969), анализ минерального состава пород венда показывает, что на Волго-Камском массиве в каировское время размывались в основном породы архея, в меньшей степени – нижнего протерозоя. Наличие полимиктовых, с обломками эффузивных пород песчаников в разрезах каировской и шкаповской серий позволяет предполагать, что в размыв вовлекались и вулканиты раннего венда.

Т.В. Иванова с соавторами (2002а) выделили следующие фациальные типы отложений верхнего венда Шкаповско-Шиханской впадины: прибрежно-континентальный, прибрежно-морской, мелководно-морской. Первый представлен грубо- и разнозернистыми массивными или неяснокосослоистыми, в той или иной мере ожелезненными песчаниками, характерными для ряда разрезов байкибашевской свиты (в основном на юго-восточном склоне Южно-Татарского свода). Второй объединяет светлоокрашенные полевошпат-кварцевые мелко-, средне- и грубозернистые песчаники, а также их гравийные разности, обладающие полого-, косо- и линзовидноволнистой слоистостью, чередующиеся, как правило, с алевролитами и аргиллитами. Отложения данного типа встречаются во всех четырех свитах верхнего венда. Наиболее широко в разрезах шкаповской и каировской серий распространены отложения мелководно-морского типа. Это прежде всего мелкозернистые песчаники и алевропесчаники с пологоволнистой или субгоризонтальной слоистостью. Максимально распространен указанный тип среди отложений старопетровской и карлинской свит.

В середине и конце первого десятилетия нынешнего века нами совместно с М.В. Ишерской опубликован ряд работ (Маслов, Ишерская, 2004, 2005, 2006, 2008а, 2008б; Маслов и др., 2006, 2008б, 2008в, 2010б; и др.), в которых проанализированы основные литохимические особенности аргиллитов и глинистых сланцев (в меньшей степени – песчаников рифея и венда) Камско-Бельского авлакогена и Шкаповско-Шиханской впадины (результаты проведенных исследований в значительной мере учтены в следующих главах).

Глава 3

МИНЕРАЛОГО-ПЕТРОГРАФИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ ПЕСЧАНИКОВ И ТОНКОЗЕРНИСТЫХ ОБЛОМОЧНЫХ ПОРОД

Как отмечено В.Н. Шванов, «изучение песчаных пород является важной составной частью региональных геологических исследований» (Шванов, 1987, с. 3). Песчаники обладают как признаками, позволяющими реконструировать состав материнских пород областей размыва, так и признаками, сформированными непосредственно во время их накопления в конечных водоемах стока. Существенную роль информация о минералого-петрографическом и химическом составах псаммитов и тонкозернистых обломочных пород играет и при геодинамических реконструкциях.

Для изучения отбирались образцы песчаников и тонкозернистых обломочных пород (ТОП) из коллекции керна глубоких скважин М.В. Ишерской (Уфа). Выполнено краткое минералого-петрографическое описание песчаников, подсчитаны основные компоненты каркаса в шлифах. Все образцы ТОП также анализировались с помощью микроскопа, после чего для тех из них, что не имели существенной примеси алевритового и песчаного материала, проведено определение содержания петрогенных оксидов и элементов-примесей. Распределение образцов по свитам и скважинам с указанием интервалов отбора приведено в табл. 2, 3. В проанализированных выборках представлены преимущественно отложения рифея и венда центральной и западной частей Камско-Бельского авлакогена и Шкаповско-Шиханской впадины (скважины Кабаково-62, Северокушкуль-1, Кипчак-1, Шкапово-740, Мензелино–Актаныш-20005 и Мензелино–Актынаш-203, Сулли-20007, Арлан-7000, Ахмерово-6, Морозовская-1, Кушкуль-100, Шихан-5, Аслыкуль-4).

Определение содержания петрогенных оксидов в тонкозернистых обломочных породах (глинистые сланцы, алевритистые аргиллиты, мелкозернистые глинистые алевролиты; всего 76 образцов) и песчаниках (123 образца) основных литостратиграфических подразделений рифея и венда Волго-Уральской области выполнено в лаборатории ФХМИ ИГГ УрО РАН (аналитики Н.П. Горбунова, В.П. Власов, Л.А. Татаринова, Г.М. Ятлук, Г.С. Неупокоева) на рентгеновском спектрометре СРМ-18. Определение содержания элементов-примесей в тонкозернистых обломочных породах рифея, а также песчаниках рифея и венда выполнено методом ICP–MS на масс-спектрометре ELAN9000 в лаборатории ФХМА ИГГ УрО РАН (аналитики Е.С. Шагалов, И.И. Неустроева). Методика проведения этих работ охарактеризована в (Маслов и др., 2011а). Тем же методом под руководством Ю.Л. Ронкина в ИГГ УрО РАН устанавливалось содержание элементов-примесей в тонкозернистых обломочных породах венда, изучалась Sm–Nd-систематика глинистых сланцев и алевритистых аргиллитов рифея (аналитики О.П. Лепихина,

Таблица 2

Распределение образцов ТОП по свитам и скважинам

Образец	Скважина	Интервал отбора, м
Прикамская свита		
ПБ-51	Сулли-20007	3070–3075
ПБ-17		3138–3145
ПБ-22		3138–3145
ПБ-16		3170–3173
ПБ-47		3176–3180
ПБ-18		3181–3190
ПБ-37	Мензелино–Актаныш-20005	3099–3101
ПБ-50		3197–3199
ПБ-43		3197–3199
ПБ-15		3199–3202
ПБ-21	Мензелино–Актаныш-203	3249–3257
ПБ-23		3305.9–3313
ПБ-27		3305.9–3313
ПБ-24		2989–2991
ПБ-25		3048–3056.5
ПБ-26		3257–3264.7
Калтасинская свита		
ПБ-35	Арлан-7000	2448.8–2453.6
ПБ-38		2551–2554
ПБ-36		2551–2554
ПБ-34		2554–2559
Надеждинская свита		
ПБ-49	Сулли-20007	2818–2820
ПБ-53		2818–2820
ПБ-42	Кабаково-62	5453–5454
ПБ-1		5469–5471

Образец	Скважина	Интервал отбора, м
Усинская свита		
ПБ-52	Сулли-20007	2782–2787
ПБ-20		2785–2792
ПБ-41		2785–2792
ПБ-19		2785–2792
Приютовская свита		
ПБ-32	Шкапово-740	3511.6–3512.6
ПБ-9		3564–3565
ПБ-10		3575–3579
ПБ-7		3582.8–3585.2
Байкибашевская свита		
ИМ-32	Северокушкуль-1	2290.7–2299.7
Старопетровская свита		
ИМ-28	Северокушкуль-1	2168.7–2176
ИМ-29		2176.6–2185.6
ИШ-14		2185.6–2193
ИМ-31		2272.6–2281.1
ИШ-16		2281.1–2285
ИШ-17		2285–2293.5
Салиховская свита		
ИШ-7	Северокушкуль-1	1977.4–1985
ИМ-27		2071.8–2080.1
ИМ-1	Ахмерово-6	2285–2289
ИМ-2		2289–2294
ИМ-3		2304–2306
ИМ-4		2329–2332
ИМ-5		2333–2337

Окончание табл. 2

Образец	Скважина	Интервал отбора, м
Тукаевская свита		
ПБ-14	Кабаково-62	4980–4981
ПБ-3		5237–5239
ПБ-40		5237–5239
ПБ-39		5353–5354
Ольховская свита		
ПБ-33	Кабаково-62	4483–4485
ПБ-2		4656–4657
ПБ-5		4656–4657
ПБ-4		4762–4765
ПБ-13		4762–4765
ПБ-44	Кипчак-1	4318–4320
ПБ-48		4464–4467
ПБ-46		4504–4507
ПБ-45		4553–4556
ПБ-31	Северокушкуль-1	2858–2864
ПБ-6		2980–2986
ПБ-28		3371–3374
ПБ-30		3145–3148
ПБ-12		3307–3315
ПБ-11		3307–3315
ПБ-8		3315–3319.5
ПБ-29		3315–3319.5

Образец	Скважина	Интервал отбора, м
Карлинская свита		
ИМ-12	Кипчак-1	2390–2393
ИМ-13		2463–2466
ИМ-14		2506–2509
ИМ-15		2531–2535
ИМ-16		2537–2541
ИШ-4		2557–2559
ИМ-17		2750–2755
ИМ-18		2790–2792
ИМ-19		2833–2837

О.Ю. Попова). Методика проведения указанных работ описана в (Маслов и др., 2008в; Геохимия…, 2008).

Для анализа вертикальных вариаций значений индикаторных отношений породообразующих оксидов и элементов-примесей в тонкозернистых обломочных породах рифея и венда Камско-Бельского авлакогена и Шкаповско-Шиханской впадины применялись специально составленные сводные разрезы (табл. 4, 5).

Таблица 3

Распределение образцов песчаников по свитам и скважинам

Образец	Скважина	Интервал отбора, м
Прикамская свита		
КБА-103	Сулли-20007	3362–3372
КБА-104		3332–3337
КБА-105		3208–3212
КБА-109		3253–3254
КБА-106	Арлан-7000	4031.5–4040.5
КБА-107		3901.6–3913.4
КБА-110		4225.1–4228.2
КБА-111		4100.4–4104.5
КБА-108	Морозовская-1	2537–2541
Надеждинская свита		
КБА-82	Кипчак-1	5421–5423
КБА-83	Аслыкуль-4	4032–4131
КБА-84		4095–4098
КБА-85		4263–4267
Тукаевская свита		
КБА-86	Аслыкуль-4	3491.6
КБА-98		3390
КБА-99		3493
КБА-101		3445.5
КБА-87	Ахмерово-6	4029–4034
КБА-92		3864–3866
КБА-95		3824–3828
КБА-96		4059–4062
КБА-88	Кипчак-1	4848–4850
КБА-94		5130–5132
КБА-102		5028–5030
КБА-89	Кабаково-62	5290–5291
КБА-93		5037–5037.5
КБА-97		4835–4837
КБА-91		5252–5254
КБА-90	Кушкуль-100	4700–4701
КБА-100	Северокушкуль-1	3371–3374.5

Образец	Скважина	Интервал отбора, м
Ольховская свита		
КБА-122	Аслыкуль-4	2943–2944
КБА-123	Северокушкуль-1	2810–2815
Усинская свита		
КБА-70	Морозовская-1	2320–2325
КБА-71		2320–2325
КБА-72	Кушкуль-100	3314.4–3321.4
КБА-74		3338.3–3342.4
КБА-76		3355.1–3359.3
КБА-73	Кипчак-1	4215–4218
КБА-78		3944–3947
КБА-80		2875–3872
КБА-81		4144–4147
КБА-75	Северокушкуль-1	2613–2621.2
КБА-77		2562.7–2571
КБА-79	Ахмерово-6	3563–3665
Леонидовская свита		
КБА-55	Ахмерово-6	3778–3780.3
КБА-57		3990–3993
КБА-66		4113–4018
КБА-56	Шкапово-740	4139.48–4140.98
КБА-58		3720.96–3721.16
КБА-59	Морозовская-1	2250–2256
КБА-63		2170–2175
КБА-60	Кушкуль-100	3254.6–3257.3
КБА-64		3277.4–3281.4
КБА-61	Кипчак-1	3527–3529
КБА-65		3351–3354
КБА-62	Северокушкуль-1	1977.4–1985
КБА-67		2408–2416.5
КБА-68		1977.4–1985
КБА-69		2399.5–2408

Окончание табл. 3

Образец	Скважина	Интервал отбора, м
Приютовская свита		
КБА-112	Шкапово-740	3090.38–3094.25
КБА-113		3143–3148
КБА-120		3362.48–3366.38
КБА-115		3362.48–3366.38
КБА-118		3143.2–3148
КБА-114	Ахмерово-6	3717–3719
КБА-116		3560–3561
КБА-117		3575–3576
КБА-119	Шихан-5	3660–3663.2
КБА-121	Кабаково-62	3691–3692
Байкибашевская свита		
КБА-44	Кипчак-1	3187–3192
КБА-45	Северокушкуль-1	2285–2293.5
КБА-53		2302–2310.3
КБА-54		2302–2310.3
КБА-46	Ахмерово-6	3030–3037
КБА-48		3030–3037
КБА-49		3124–3030
КБА-50		3030–3037
КБА-47	Шихан-5	3005.7–3009.4
КБА-51		3017.1–3019.5
КБА-52		2987.2–2990.5
Старопетровская свита		
КБА-12	Кипчак-1	3113–3018
КБА-16		3018–3022
КБА-17		3074–3078
КБА-18		3013–3018
КБА-13	Шихан-5	2876.5–2877.9
КБА-14	Аслыкуль-4	2620–2625
КБА-15	Морозовская-1	2155–2160
КБА-19	Шкапово-740	2892.74–2897.54
КБА-20		2870.07–2874.09
КБА-21	Северокушкуль-1	2290.7–2299.7

Образец	Скважина	Интервал отбора, м
Салиховская свита		
КБА-22	Кушкуль-100	1933.5–1938.2
КБА-34		2022.5–2027.5
КБА-26	Северокушкуль-1	2071.8–2080.1
КБА-29		1977.4–1985
КБА-23	Ахмерово-6	2321–2323
КБА-24	Кабаково-62	2962.6–2966.1
КБА-35		2962.6–2966.1
КБА-30		3049.8–3053.8
КБА-38		2947.3–2949.3
КБА-33	Шихан-5	2524.1–2526.7
КБА-25		2577–2579
КБА-27	Шкапово-740	2799–2802
КБА-31		2788.5–2794
КБА-39		2692.7–2694.8
КБА-43		2799–2802
КБА-28	Аслыкуль-4	2471–2476
КБА-42		2520–2525
КБА-32	Кипчак-1	2980–2984
КБА-36		2895–2900
КБА-37		2950–2954
КБА-40		2864–2869
КБА-41		2864–2869
Карлинская свита		
КБА-1	Аслыкуль-4	2171–2176.1
КБА-9		2325–2332
КБА-2	Кипчак-1	2750–2755
КБА-6		2689–2693
КБА-8		2651–2654
КБА-11		2587–2591
КБА-3	Шкапово-740	2499.2–2504.47
КБА-4		2400.33–2404.33
КБА-5	Кабаково-62	2461.7–2467.2
КБА-7		2711–2716
КБА-10	Северокушкуль-1	1900–1908

Таблица 4

Распределение образцов глинистых сланцев и аргиллитов в сводном разрезе рифея Камско-Бельского авлакогена

Свита (условная мощность, м)	Образец	Расстояние от подошвы сводного разреза, м	Свита (условная мощность, м)	Образец	Расстояние от подошвы сводного разреза, м
Прикамская (1740)	ПБ-27	509	Тукаевская (630)	ПБ-39	5602
	ПБ-23	512		ПБ-40	5717
	ПБ-26	556		ПБ-3	5719
	ПБ-21	697		ПБ-14	5976
	ПБ-25	767	Ольховская (640)	ПБ-29	6164
	ПБ-24	825		ПБ-11	6173
	ПБ-18	1597		ПБ-30	6336
	ПБ-47	1604		ПБ-6	6499
	ПБ-16	1610		ПБ-31	6622
	ПБ-22	1641	Усинская (90)	ПБ-19	6847
	ПБ-17	1644		ПБ-41	6850
	ПБ-51	1710		ПБ-20	6852
Калтасинская (1585)	ПБ-34	2686		ПБ-52	6854
	ПБ-36	2689	Приютовская (680)	ПБ-7	7335
	ПБ-38	2692		ПБ-10	7406
	ПБ-35	2793		ПБ-9	7416
Надеждинская (2200)	ПБ-1	5455		ПБ-32	7471
	ПБ-42	5471			

Таблица 5

Распределение образцов ТОП по сводному разрезу верхнего венда Шкаповско-Шиханской впадины

Свита (условная мощность, м)	Образец	Расстояние от подошвы сводного разреза, м	Свита (условная мощность, м)	Образец	Расстояние от подошвы сводного разреза, м
Байкибашевская (~35)	ИМ-32	30	Карлинская (575 м)	ИМ-19	930
Старопетровская (~200)	ИШ-17	40		ИМ-18	980
	ИШ-16	55		ИМ-17	1030
	ИМ-31	70		ИШ-4	1190
	ИШ-14	150		ИМ-16	1210
	ИМ-29	160		ИМ-15	1220
	ИМ-28	170		ИМ-14	1250
Салиховская (~690)	ИМ-27	270		ИМ-13	1290
	ИШ-7	320		ИМ-12	1380
	ИМ-5	870			
	ИМ-4	875			
	ИМ-3	900			
	ИМ-2	910			
	ИМ-1	920			

3.1. ПЕСЧАНИКИ

Минералого-петрографические особенности песчаников верхнего докембрия Волго-Уральской области проанализированы в (Тимергазин, 1959; Ожиганова, 1960, 1983; Нефтегазоносные…, 1969; Алиев и др., 1977; Лагутенкова, Чепикова, 1982; Верхний…, 1995). Играющие существенную роль в строении разрезов всех осадочных серий рифея песчаники представлены, по результатам анализа названных источников, преимущественно аркозами, полевошпат-кварцевыми, кварц-полевошпатовыми, а также собственно кварцевыми разностями. В разрезах венда ведущая роль принадлежит полимиктовым и кварц-полевошпатовым песчаникам. В тяжелой фракции терригенных пород рифея западной зоны Камско-Бельского авлакогена выделяется более 30 акцессорных минералов, среди которых преобладают «сквозные» (циркон, апатит, турмалин) (Верхний…, 1995). В песчаниках венда в составе тяжелой фракции чаще всего отмечаются циркон, лейкоксен, темные рудные минералы, слюды, минералы группы эпидота–цоизита; существенное значение на некоторых уровнях разреза имеет гранат (Лагутенкова, Чепикова, 1982).

Представленная ниже характеристика песчаников основана на обобщении как содержащейся в специальной литературе информации, так и авторских наблюдений, в том числе и результатов подсчета количества разных зерен в шлифах по методикам В.Д. Шутова (1967, 1972) и В.Н. Шванова (1987) (табл. 6).

Песчаники *прикамского уровня* нижнего рифея содержат, по нашим сведениям, 70–85% кварца, 13–24 – полевых шпатов (преимущественно микроклин и ортоклаз), 1–7% – обломков пород (в основном это микрокварциты разных структурных типов и (редко) сростки кварца и полевых шпатов) (рис. 4). Н.С. Лагутенкова и И.К. Чепикова (1982) относят их преимущественно к полевошпат-кварцевым разностям. Р.Х. Масагутов (2002) указывает более широкий спектр составов песчаников – полевошпат-кварцевые, кварцевые и аркозовые. Цемент в песчаниках регенерационный кварцевый и полевошпат-кварцевый, а также гидрослюдистый и железисто-гидрослюдистый (порово-базальный, пленочный, поровый). Присутствующий в песчаниках комплекс акцессорных минералов определяется почти всеми исследователями как «весьма бедный» (Алиев и др., 1977, с. 19; Лагутенкова, Чепикова, 1982, с. 25). Это преимущественно черные рудные (до 44%), циркон (до 32%) и турмалин (до 16%); в резко подчиненном количестве наблюдаются апатит, мусковит, силлиманит, корунд, роговая обманка, сфен и гранат. В целом минеральные ассоциации песчаников прикамской свиты указывают на наличие в областях размыва пород кислого состава и метаморфических образований (Верхний…, 1995).

На классификационной диаграмме «кварц–полевые шпаты–обломки пород» (диаграмма Q–F–R) В.Д. Шутова точки песчаников прикамской свиты сосредоточены в поле полевошпат-кварцевых разностей (рис. 5, *а*). В классификации В.Н. Шванова (1987), также основанной на соотношениях зерен кварца, полевых шпатов и обломков пород, они принадлежат преимущественно олигомиктовым псаммитам (рис. 6, *а*); только один образец может быть отнесен к категории мезомиктовых разностей. Если же обратиться к зарубежным классификациям псаммитов, то по схемам и Ф.Дж. Петтиджона с соавторами (1976), и Р. Фолка (Folk, 1974) песчаники прикамской свиты соответствуют категории субаркозов (рис. 7, *а*; 8, *а*).

Таблица 6

Соотношение в образцах разных компонентов каркаса песчаников верхнего докембрия Волго-Уральской области, %

Образец	Q	F	R	Qm	Qp	Chert	K	P	Ls	Lm	Lv
Прикамская свита											
КБА-103	78	21	1	72	6	0	17	4	0	1	0
КБА-104	83	13	4	80	3	0	13	0	0	4	0
КБА-106	81	14	5	75	6	0	13	1	0	4	1
КБА-107	80	17	3	78	2	0	16	1	0	3	1
КБА-108	80	14	7	77	3	0	13	1	0	6	1
КБА-109	85	13	2	82	3	0	12	1	0	2	0
КБА-110	77	18	5	73	4	0	18	0	1	4	0
КБА-111	70	24	6	68	2	0	24	0	0	4	2
Надеждинская свита											
КБА-82	74	23	3	73	1	1	22	1	0	2	0
КБА-83	85	12	3	84	1	0	10	2	0	2	1
КБА-84	86	13	2	82	4	0	13	0	0	1	1
КБА-85	85	12	3	80	5	1	12	0	0	2	1
Тукаевская свита											
КБА-86	90	0	10	90	1	1	0	0	0	9	0
КБА-86а	91	0	9	89	2	0	0	0	0	9	0
КБА-87	95	0	5	95	0	1	0	0	0	4	0
КБА-89	87	7	6	86	1	0	7	0	0	6	0
КБА-89а	91	3	7	91	0	0	3	0	0	6	0
КБА-90	80	16	3	80	1	1	16	0	0	3	0
КБА-91	84	12	4	82	2	1	12	1	0	3	0
КБА-92	97	0	3	96	0	0	0	0	0	3	0
КБА-93	84	11	5	84	0	0	11	0	0	4	0
КБА-94	90	4	6	90	0	0	4	0	0	6	0
КБА-95	95	0	5	94	1	1	0	0	0	5	0
КБА-97	88	4	8	88	1	2	4	0	0	6	0
КБА-98	89	6	6	88	1	1	6	0	0	5	0
КБА-99	87	6	7	86	1	0	6	0	0	7	0
КБА-100	87	10	4	86	0	1	7	2	0	3	0
КБА-101	85	4	10	84	1	1	4	0	0	9	0
КБА-102	84	10	6	82	1	1	9	0	0	6	0
Ольховская свита											
КБА-123	84	0	16	79	5	6	0	0	0	9	1

Продолжение табл. 6

Образец	Q	F	R	Qm	Qp	Chert	K	P	Ls	Lm	Lv
Усинская свита											
КБА-71	78	13	8	76	2	2	13	1	0	6	0
КБА-72	88	2	10	85	3	2	2	0	0	7	1
КБА-73	70	22	8	69	1	1	22	0	0	5	3
КБА-76	81	9	10	80	1	1	9	0	0	8	1
КБА-77	78	16	6	78	0	1	15	1	0	4	1
КБА-78	73	17	10	72	2	1	17	0	0	8	1
КБА-79	96	0	4	96	1	0	0	0	1	3	0
КБА-81	79	9	12	77	2	1	9	0	0	10	1
Леонидовская свита											
КБА-55	97	0	3	94	3	0	0	0	0	3	0
КБА-55а	98	0	2	94	4	0	0	0	0	2	0
КБА-56	96	0	4	94	2	3	0	0	0	2	0
КБА-57	93	0	7	90	3	0	0	0	0	6	0
КБА-57а	95	0	5	95	0	0	0	0	0	5	0
КБА-58	97	0	3	96	2	0	0	0	0	3	0
КБА-59	90	0	10	89	1	1	0	0	0	7	1
КБА-60	94	0	6	94	0	0	0	0	0	5	0
КБА-61	90	1	10	87	3	0	1	0	0	9	0
КБА-63	87	0	13	81	6	3	0	0	0	10	0
КБА-64	75	18	7	72	3	1	18	0	0	5	2
КБА-64а	76	15	9	74	2	1	14	1	0	8	1
КБА-65	92	0	8	89	3	1	0	0	0	6	1
КБА-65а	89	0	11	85	4	1	0	0	0	10	0
КБА-66	94	1	6	92	1	0	1	0	0	5	1
КБА-67	68	24	8	67	2	1	23	1	0	6	1
КБА-69	88	0	12	85	3	1	0	0	0	10	2
Приютовская свита											
КБА-112	93	3	4	82	11	0	3	0	0	4	0
КБА-113	86	10	4	84	2	1	9	1	0	2	2
КБА-114	85	14	1	84	1	0	14	1	0	1	0
КБА-115	85	13	2	85	0	0	11	2	0	2	0
КБА-116	95	1	4	94	1	0	1	0	0	3	1
КБА-117	93	2	6	92	1	3	1	1	0	3	0
КБА-118	81	17	2	80	1	0	15	1	0	2	0
КБА-119	79	20	1	78	1	0	18	2	0	1	0
КБА-120	86	12	2	85	1	0	12	0	0	2	0
КБА-121	85	11	4	82	3	2	8	2	1	1	0

Продолжение табл. 6

Образец	Q	F	R	Qm	Qp	Chert	K	P	Ls	Lm	Lv
Байкибашевская свита											
КБА-44	68	30	2	66	2	0	23	7	0	2	0
КБА-46	66	31	4	65	1	0	25	5	0	4	0
КБА-47	61	32	6	58	4	0	25	7	0	6	0
КБА-48	70	22	9	70	0	0	17	5	0	9	0
КБА-49	61	28	11	60	1	0	22	7	0	10	0
КБА-50	66	28	7	65	0	0	25	3	0	6	0
КБА-51	64	27	9	63	1	0	22	5	0	9	0
КБА-53	91	0	9	89	2	1	0	0	0	8	0
КБА-54	85	0	15	84	1	1	0	0	0	14	0
Старопетровская свита											
КБА-12	68	14	18	67	1	1	11	3	0	16	1
КБА-16	60	21	18	59	1	3	17	4	0	15	1
КБА-17	73	16	11	71	1	4	13	3	0	7	0
КБА-18	68	13	19	68	0	3	9	3	0	16	0
КБА-19	64	27	10	63	1	0	20	7	0	9	0
Салиховская свита											
КБА-22	65	27	8	64	2	3	19	8	0	5	0
КБА-23	63	25	12	62	1	0	19	6	0	12	0
КБА-25	75	21	5	74	0	2	18	3	0	2	0
КБА-25а	70	13	17	69	1	3	11	2	0	14	0
КБА-27	72	26	2	72	0	0	21	4	0	1	0
КБА-28	68	20	12	68	1	2	15	4	0	10	0
КБА-30	50	21	29	48	2	7	17	5	0	19	3
КБА-32	66	29	5	64	2	0	25	4	0	4	0
КБА-32а	73	17	10	72	1	2	13	4	0	7	1
КБА-33	63	13	24	62	1	1	11	2	0	20	2
КБА-33а	65	14	21	63	3	2	11	3	0	19	0
КБА-35	67	20	13	64	3	1	15	5	0	12	1
КБА-36	55	29	16	54	1	3	19	10	0	12	1
КБА-38	65	21	14	64	1	2	16	4	0	11	1
КБА-39	63	21	16	62	1	2	14	7	0	12	2
КБА-40	68	6	25	66	2	1	6	0	0	24	0
КБА-42	71	19	10	69	2	2	13	6	0	8	0
КБА-43	68	22	11	66	1	2	17	5	0	9	0

Окончание табл. 6

Образец	Q	F	R	Qm	Qp	Chert	K	P	Ls	Lm	Lv
Карлинская свита											
КБА-5	74	8	18	72	3	2	6	2	0	15	0
КБА-6	85	8	7	85	0	2	3	5	0	4	0
КБА-7	80	7	13	80	0	1	3	4	0	12	0
КБА-9	85	10	5	85	0	2	7	3	0	4	0
КБА-11	85	11	4	85	0	1	5	6	0	3	0

Примечание. **Q – кварц; F – полевые шпаты; R – обломки пород; Qm – монокристаллический кварц; Qp – поликристаллический кварц; Chert – обломки кремней; K – калиевые полевые шпаты; P – плагиоклазы; Ls – обломки осадочных пород;** Lm – обломки метаморфических пород; Lv – обломки вулканических пород.

В песчаниках *арланской подсвиты калтасинской свиты* среди полевых шпатов преобладают плагиоклазы, а в составе тяжелой фракции главенствует мусковит (при пониженном по сравнению с прикамским уровнем количестве темных рудных минералов). Н.С. Лагутенкова и И.К. Чепикова (1982) песчаники данного уровня относят к кварцевым, кварц-полевошпатовым и полевошпат-кварцевым разностям. Цемент представлен глинисто-каолинитовым, глинисто-кварцевым и глинистым материалом. В структурном отношении его можно определить как преимущественно контактовый и поровый. Нами песчаники данного уровня рифея не изучались.

По данным Р.Х. Масагутова (2002), песчаники *надеждинской свиты* имеют преимущественно полевошпат-кварцевый состав. Количество зерен кварца в них, по нашим сведениям, варьируется в пределах 74–86%, полевые шпаты составляют 12–23, а обломки пород – 2–3% (рис. 9). По классификации В.Д. Шутова, псаммиты этого уровня, как и аналогичные по гранулометрическому составу образования прикамской свиты, принадлежат к категории полевошпат-кварцевых песчаников (см. рис. 5, *б*). В схеме В.Н. Шванова они олигомиктовые (см. рис. 6, *б*), а в классификациях Ф.Дж. Петтиджона и Р. Фолка – субаркозовые псаммиты (см. рис. 7, *б*; 8, *б*).

Согласно результатам исследований Р.Х. Масагутова (2002), в составе *тукаевской свиты* преобладают полевошпат-кварцевые псаммиты. Тяжелая фракция песчаников представлена преимущественно черными рудными минералами. Минеральные ассоциации данного уровня указывают на повышенное содержание на палеоводосборах кислых магматических образований и метаморфических пород. В то же время присутствие магнетита, пироксена и хромшпинелидов позволяет предполагать существование на палеоводосборах основных и ультраосновных пород (Верхний…, 1995). По нашим сведениям, песчаники тукаевской свиты содержат 80–97% кварца, количество микроклина и ортоклаза (в сумме) изменяется в них в пределах 0–16% (рис. 10). На диаграмме **Q–F–R В.Д. Шутова песчаники тукаевской свиты занимают поля** полевошпат-кварцевых и кремнекластитокварцевых псаммитов (см. рис. 5, *в*). В соответствии с классификацией В.Н. Шванова, основная часть изученных нами псаммитов принадлежит к олигомиктовым разностям, некоторые из них могут рассматриваться как кварцевые (см. рис. 6, *в*). В схемах американских

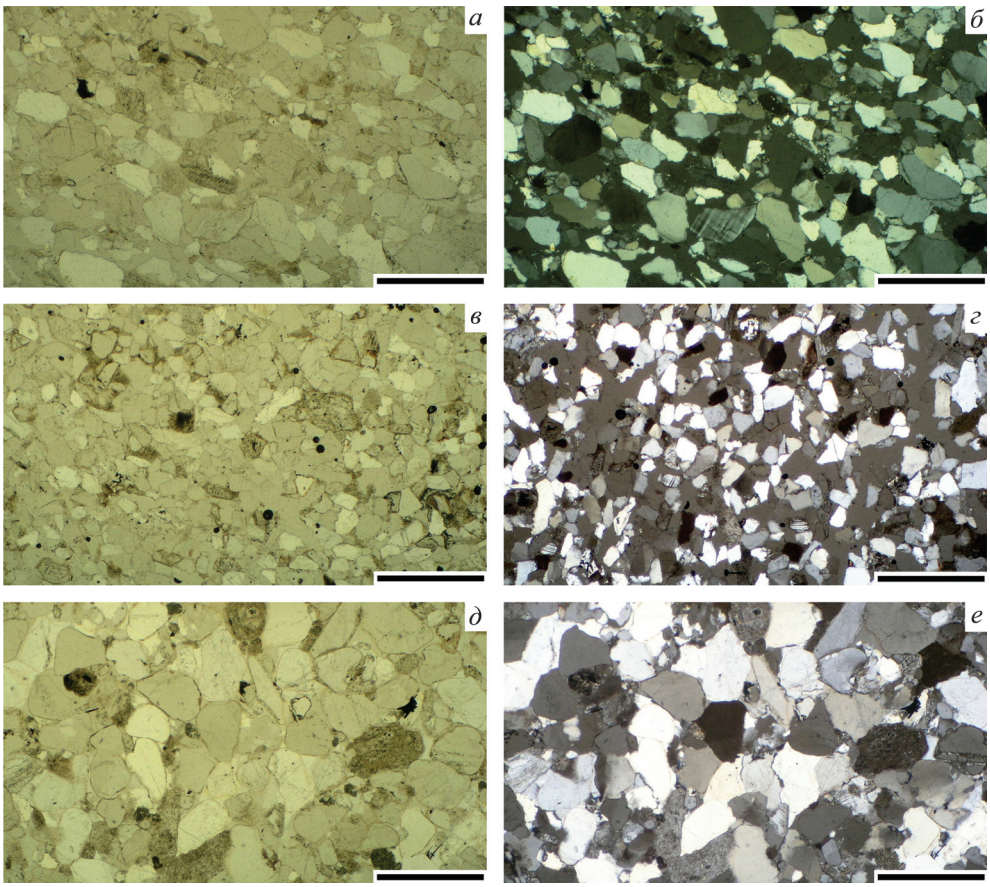


Рис. 4. Микрофото шлифов песчаников прикамской свиты:
а, *б* – обр. КБА-103; *в*, *г* – обр. КБА-104; *д*, *е* – обр. КБА-110. Николи || – *а*, *в*, *д*; николи × – *б*, *г*, *е*. Длина масштабной линейки 1 мм

исследователей песчаники тукаевской свиты представляют собой как субаркозы, так и сублитарениты (см. рис. 7, *в*; 8, *в*).

В псаммитах *ольховской свиты* содержание микроклина и ортоклаза составляет, по данным, приведенным в (Алиев и др., 1977), в среднем 32–45%. Р.Х. Масагутов (2002) относит песчаники этой свиты к микроклин-кварцевым и аркозовым. В составе тяжелой фракции, общее количество которой в породах незначительно, преобладают слюды и темные рудные минералы, подчиненное значение имеют минералы-спутники пород кислого состава (циркон, апатит, турмалин); встречаются дистен и корунд. Однако в нашем единственном образце песчаников данного уровня (КБА-123) при подсчете не встретилось ни одного зерна полевого шпата и, напротив, оказалось ~16% микрокварцитов разных структурных типов и кремней (рис. 11; также см. табл. 6). Поэтому указанный образец может быть классифицирован как типичный сублитаренит (см. рис. 7, *г*; 8, *г*).

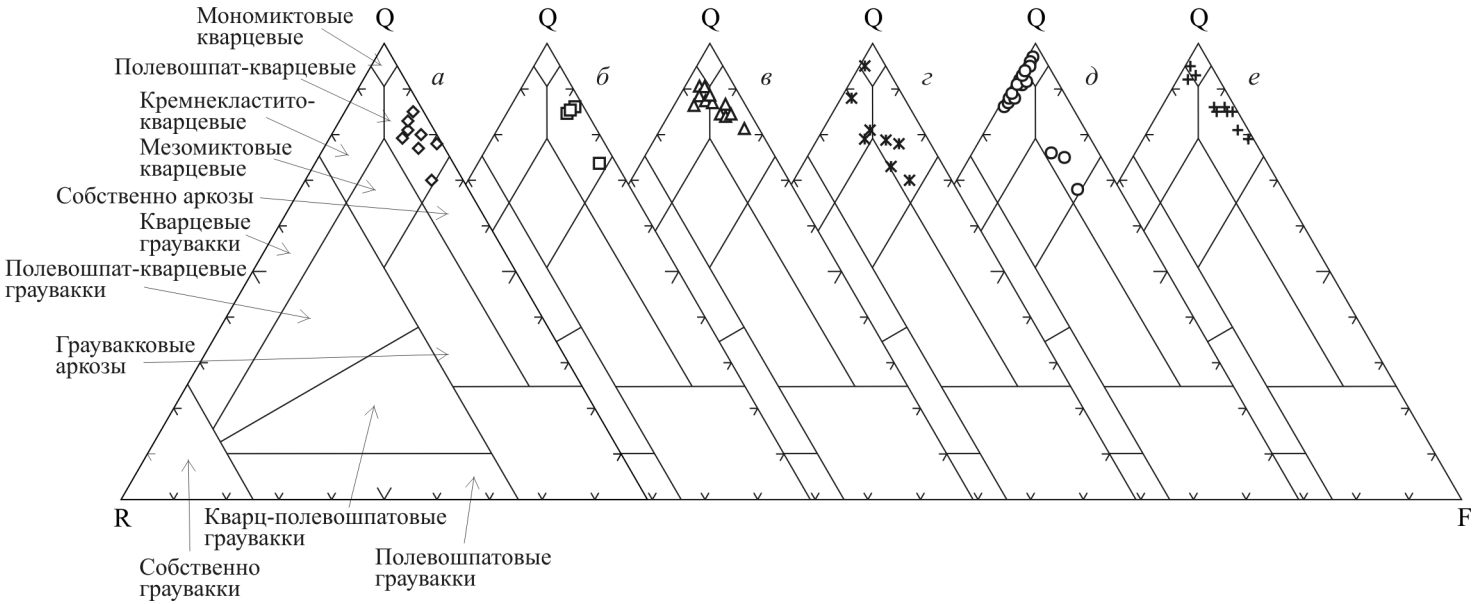


Рис. 5. Положение фигуративных точек составов песчаников разных свит рифея Камско-Бельского авлакогена на диаграмме «кварц–полевые шпаты–обломки пород» В.Д. Шутова:

а – прикамская; *б* – надеждинская; *в* – тукаевская; *г* – усинская; *д* – леонидовская; *е* – приютовская

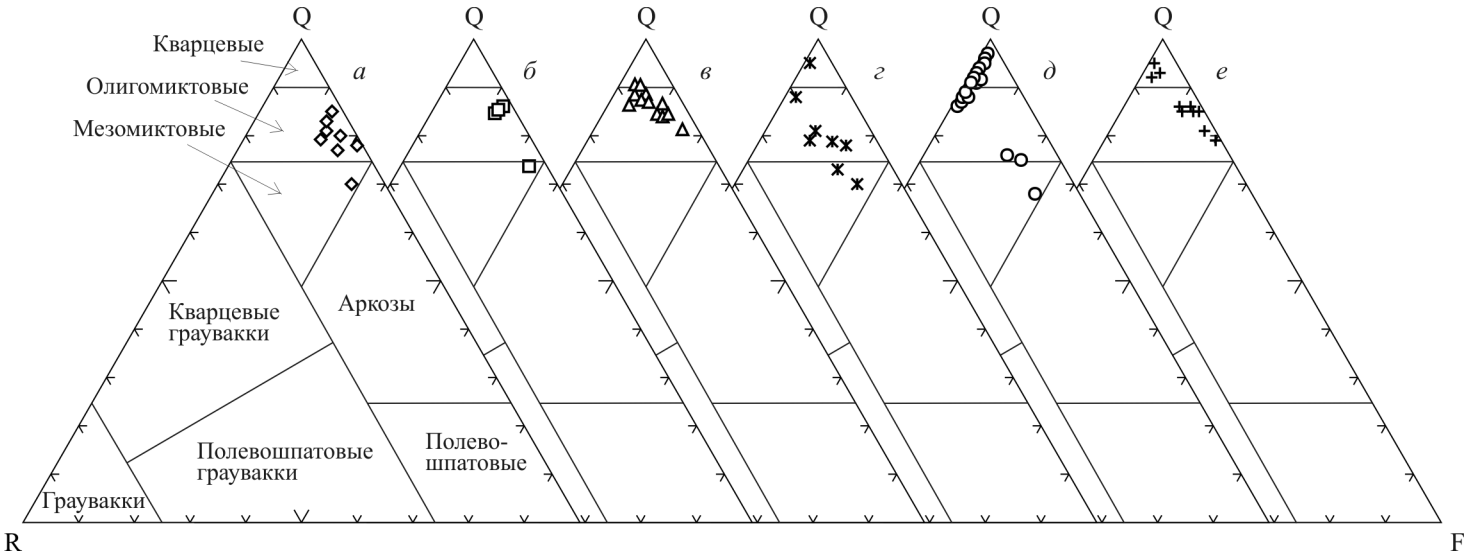


Рис. 6. Положение фигуративных точек составов песчаников разных свит рифея Камско-Бельского авлакогена на диаграмме «кварц–полевые шпаты–обломки пород» В.Н. Шванова:

а – прикамская; *б* – надеждинская; *в* – тукаевская; *г* – усинская; *д* – леонидовская; *е* – приютовская

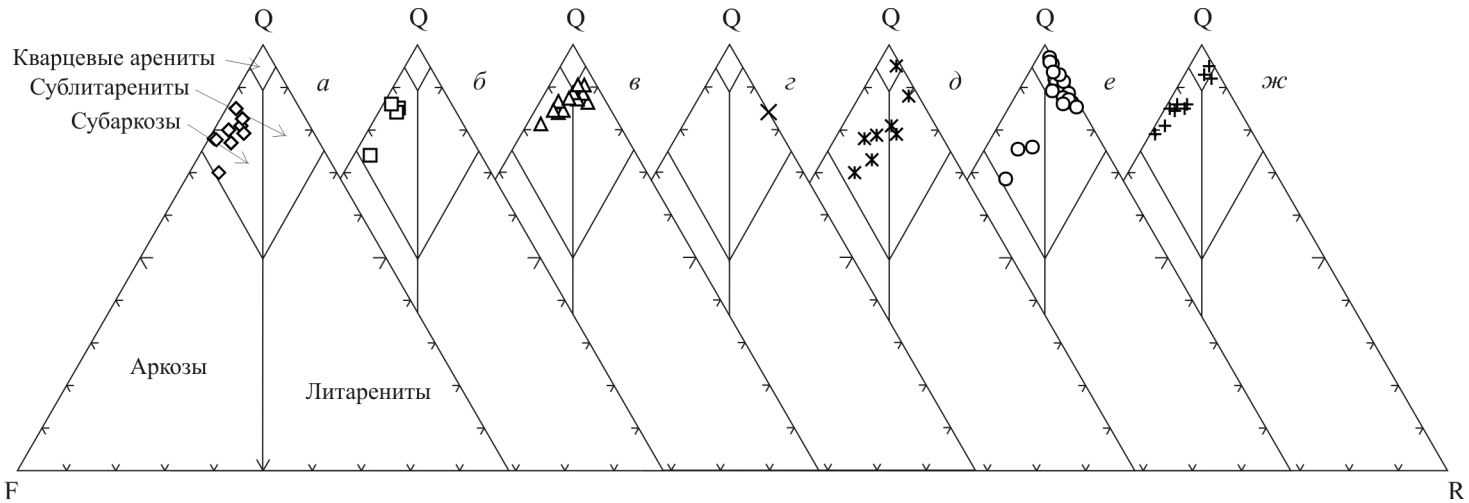


Рис. 7. Положение точек составов песчаников разных свит рифея Камско-Бельского авлакогена на диаграмме «кварц–полевые шпаты–обломки пород» Ф.Дж. Петтиджона:

а – прикамская; *б* – надеждинская; *в* – тукаевская; *г* – ольховская; *д* – усинская; *е* – леонидовская; *ж* – приютовская

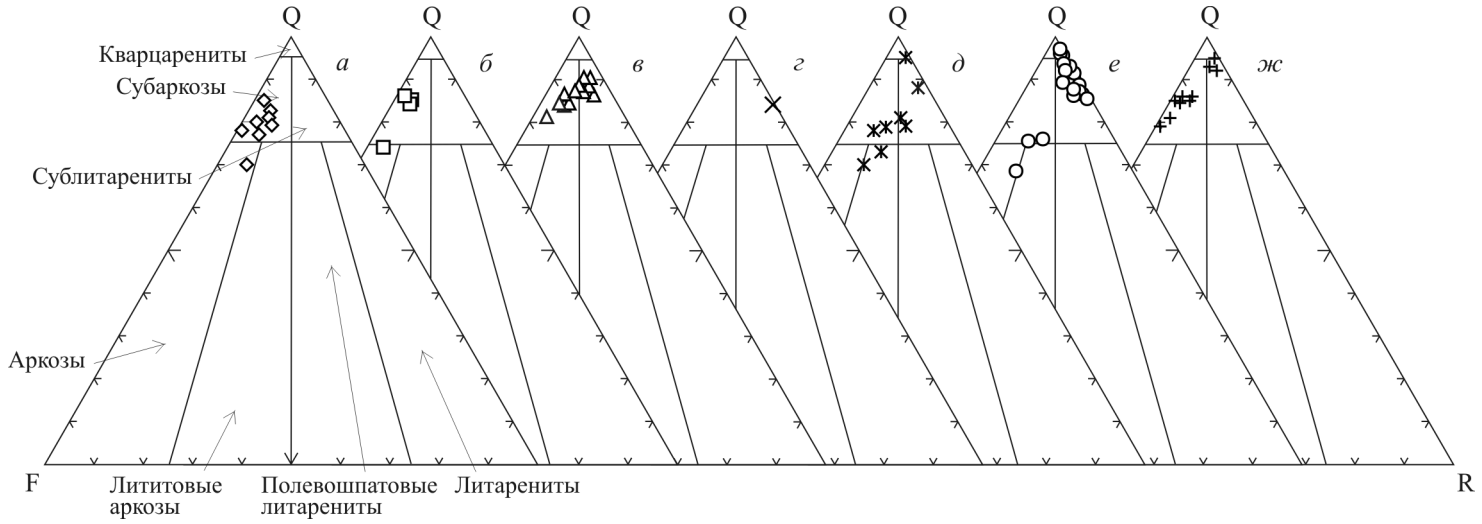


Рис. 8. Положение фигуративных точек составов песчаников разных свит рифея Камско-Бельского авлакогена на диаграмме «кварц–полевые шпаты–обломки пород» Р. Фолка:

а – прикамская; *б* – надеждинская; *в* – тукаевская; *г* – ольховская; *д* – усинская; *е* – леонидовская; *ж* – приютовская

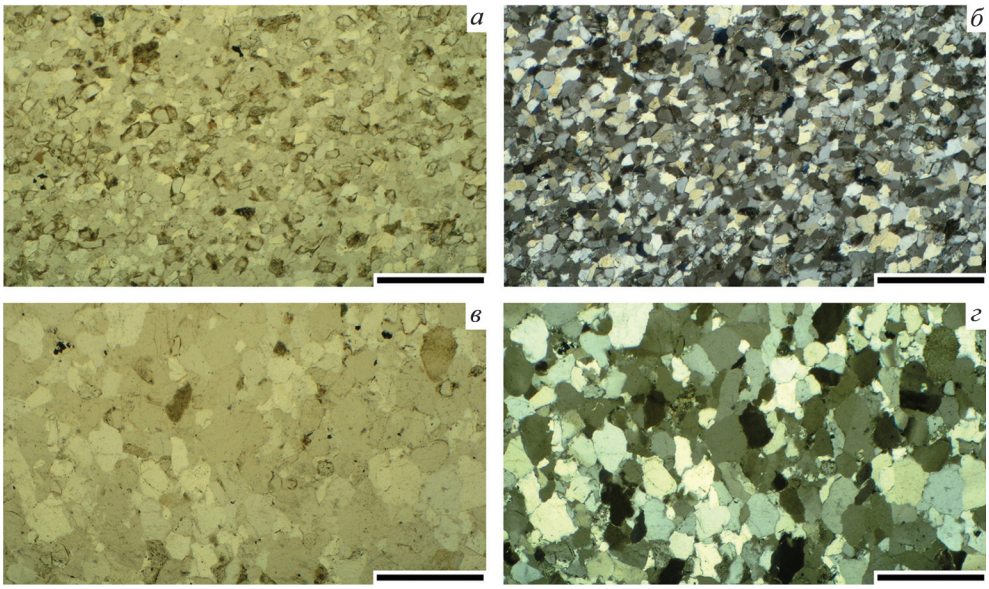


Рис. 9. Микрофото шлифов песчаников надеждинской свиты:
а, *б* – обр. КБА-82; *в*, *г* – обр. КБА-85. Николи || – *а*, *в*; николи × – *б*, *г*. Длина масштабной линейки 1 мм

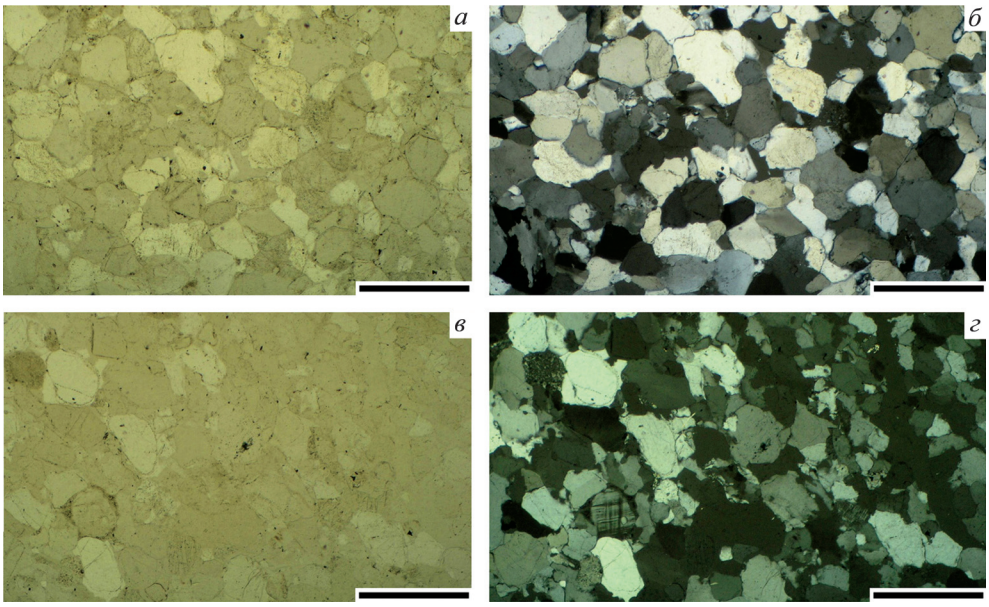


Рис. 10. Микрофото шлифов песчаников тукаевской свиты:
а, *б* – обр. КБА-86; *в*, *г* – обр. КБА-98. Николи || – *а*, *в*; николи × – *б*, *г*. Длина масштабной линейки 1 мм

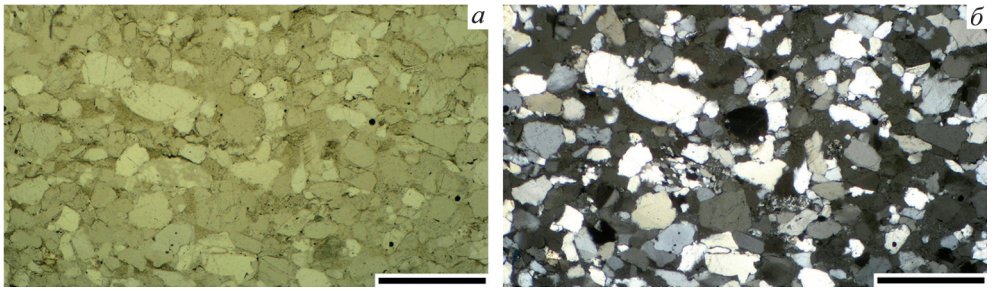


Рис. 11. Микрофото шлифов песчаников ольховской свиты (обр. КБА-123):
Николи || – *а*; николи × – *б*. Длина масштабной линейки 1 мм

Песчаники *усинской свиты* отнесены, согласно (Масагутов, 2002), к полевошпат-кварцевым и, что редко, кварцевым разностям. По нашим данным, количество зерен кварца в песчаниках усинской свиты составляет 70–96%, полевых шпатов – 0–22, обломков пород – 4–12%. На диаграмме В.Д. Шутова разброс фигуративных точек состава псаммитов усинской свиты несколько шире, чем в подстилающих горизонтах (см. рис. 5, *г*). В соответствии с классификацией В.Н. Шванова, песчаники усинской свиты принадлежат как к олигомиктовому семейству, так и к кварцевым и мезомиктовым псаммитам (см. рис. 6, *г*). В схемах американских исследователей рассматриваемые нами породы относятся к субаркозам, сублитаренитам и кварцевым аренитам (см. рис. 7, *д*); часть же изученных песчаников усинской свиты в схеме Р. Фолка попадает в поле лититовых аркозов (см. рис. 8, *д*). Среди акцессорных минералов в песчаниках этого уровня рифея, как и в подстилающих образованиях, преобладают циркон, апатит, турмалин и слюды, подчиненную роль играют рутил, лейкоксен, амфибол, гранат и эпидот (Алиев и др., 1977). Минералы-индикаторы присутствия на палеоводосборах основных и ультраосновных пород (магнетит и пироксен) наблюдаются в породах данного уровня в виде единичных зерен.

Н.С. Лагутенкова и И.К. Чепикова (1982) указывают, что песчаники *леонидовской свиты* относятся к кварцевым и полевошпат-кварцевым, в качестве цемента в них выступает каолинит, а также гидрослюдисто-каолинитовый и гидрослюдисто-железистый материал. В соответствии с результатами наших исследований, в песчаниках леонидовской свиты содержание кварца варьируется от 68–76 до 97–98%, количество полевых шпатов иногда достигает 15–24 (образцы КБА-64, КБА-64а, КБА-67), но в среднем не превышает 1% (рис. 12). Количество обломков пород, среди которых доминируют микрокварциты разных структурных типов, составляет 2–13%. Согласно отечественным классификациям, песчаники леонидовской свиты принадлежат к кварцевым и кремнекластитокварцевым или олигомиктовым разностям (см. рис. 5, *д*; 6, *д*), а на основе схем Ф.Дж. Петтиджона и Р. Фолка – к кварцаренитам и сублитаренитам (см. рис. 7, *е*; 8, *е*). Из акцессориев в песчаниках данного уровня преобладают ильменит и магнетит (до 60%) при подчиненной роли лейкоксена (~8%), циркона (8–15%), турмалина и слюд. Заметная роль принадлежит здесь обломочному гематиту и относительно слабо окатанному магнетиту, что предположительно указывает на близкое положение источников сноса (Верхний…,

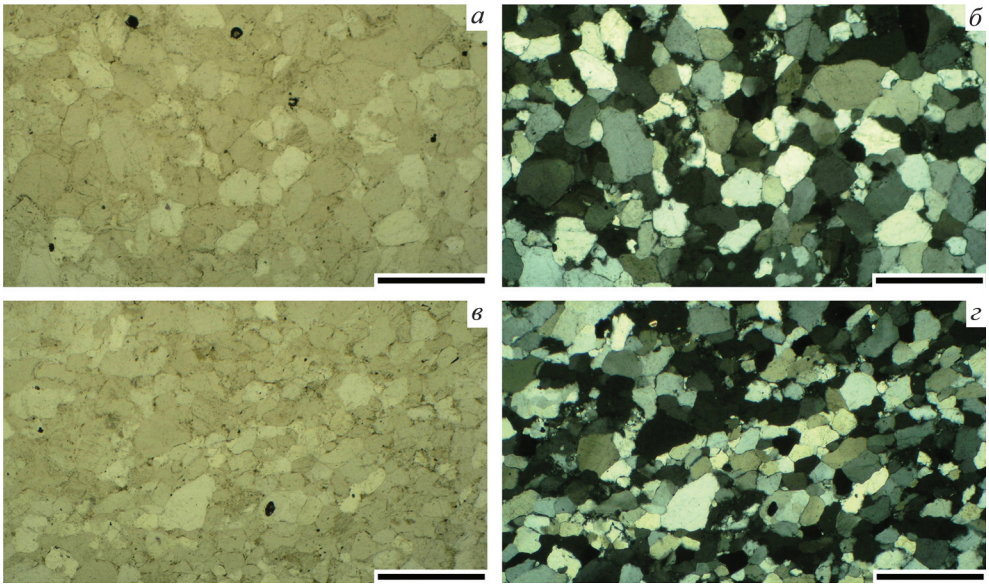


Рис. 12. Микрофото шлифов песчаников леонидовской свиты:
а, *б* – обр. КБА-57; *в*, *г* – обр. КБА-66. Николи || – *а*, *в*; николи × – *б*, *г*. Длина масштабной линейки 1 мм

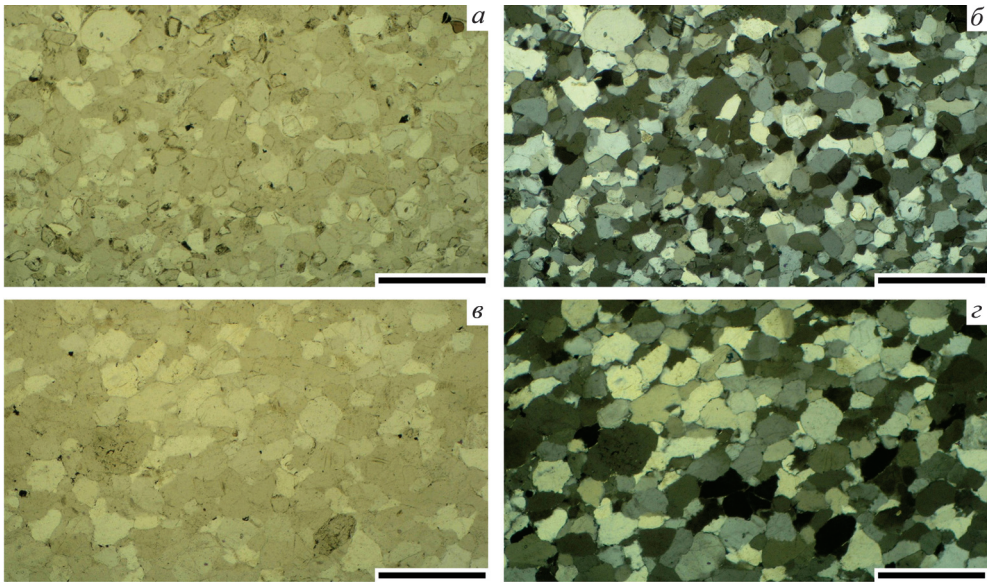


Рис. 13. Микрофото шлифов песчаников приютовской свиты:
а, *б* – обр. КБА-114; *в*, *г* – обр. КБА-115. Николи || – *а*, *в*; николи × – *б*, *г*. Длина масштабной линейки 1 мм

1995). Комплекс акцессорных минералов в породах леонидовской свиты охарактеризован как «весьма бедный» (Алиев и др., 1977, с. 36). По результатам анализа тяжелой фракции терригенных пород рифея западной, ближе всего расположенной к источникам сноса части Камско-Бельского авлакогена исследователями сделан вывод, что «минеральные ассоциации в нижне- и среднерифейских отложениях повторяются», а отложения верхнего рифея «резко отличаются существенно цирконовым составом минеральной ассоциации» (Верхний…, 1995, с. 132–133).

Песчаники *приютовской свиты* верхнего рифея характеризуются содержанием кварца, полевых шпатов и обломков пород, составляющими, как следует из проведенных нами подсчетов в шлифах, соответственно, 79–95, 1–20 и 1–6% (рис. 13; также см. табл. 6). Р.Х. Масагутов (2002) относит их к полевошпат-кварцевым и собственно кварцевым разностям. На диаграмме В.Д. Шутова основная часть принадлежащих им фигуративных точек сосредоточена в поле полевошпат-кварцевых псаммитов, ряд точек локализован также в полях собственно кварцевых песчаников и кремнекластитокварцевых разностей (см. рис. 5, *е*). В соответствии с классификацией В.Н. Шванова, псаммиты приютовской свиты – олигомиктовые и кварцевые (см. рис. 6, *е*). Согласно американским схемам, рассматриваемые песчаники принадлежат к кварцаренитам, субаркозам и сублитаренитам (см. рис. 7, *ж*; 8, *ж*).

Песчаники *байкибашевской свиты* верхнего венда Шкаповско-Шиханской впадины, по данным Н.С. Лагутенковой и И.К. Чепиковой (1982), относятся к полимиктовым, кварц-полевошпатовым и полевошпат-кварцевым разностям; так же характеризуются они и в (Масагутов, 2002). В полимиктовых песчаниках существенную роль среди компонентов каркаса играют обломки пород кристаллического фундамента и осадочных образований рифея. В ассоциирующих с песчаниками прослоях конгломератов присутствуют гальки кварца, микропегматитов, полевых шпатов, кварцитов, габбро-диабазов, алевролитов и песчаников, биотитовых и гранат-биотитовых гнейсов. По нашим данным, содержание кварца в песчаниках изменяется от ~60 до ~90% (рис. 14; также см. табл. 6). Доля полевых шпатов в них существенно выше, чем в подстилающих породах рифея, и составляет в среднем 22–32% (ортоклаз и микроклин – 17–25, плагиоклазы – 5–7%), хотя в ряде случаев встречаются псаммиты, почти не содержащие ни калиевых полевых шпатов, ни плагиоклазов (образцы КБА-53 и КБА-54). Количество обломков пород невелико (2–11%). В соответствии с классификацией В.Д. Шутова, псаммиты байкибашевской свиты принадлежат в основном к собственно аркозам (рис. 15, *а*). На диаграмме «кварц–полевые шпаты–обломки пород» В.Н. Шванова они также локализованы в поле аркозов (рис. 16, *а*). К аркозовому семейству псаммиты основания верхнего венда Шкаповско-Шиханской впадины относятся и в классификации Ф.Дж. Петтиджона (рис. 17, *а*); в схеме Р. Фолка они рассматриваются и как аркозы, и как лититовые их разности (рис. 18, *а*).

Н.С. Лагутенкова и И.К. Чепикова (1982), а также Р.Х. Масагутов (2002) классифицируют песчаники *старопетровского уровня* в качестве полимиктовых и полевошпат-кварцевых. Цемент в песчаниках хлоритовый, гидрослюдисто-хлоритовый и хлоритово-каолинитовый. По нашим данным, в песчаниках этого уровня содержание кварца составляет 60–73%, а количество зерен полевых шпатов и обломков пород, соответственно, 13–27 (калиевые полевые

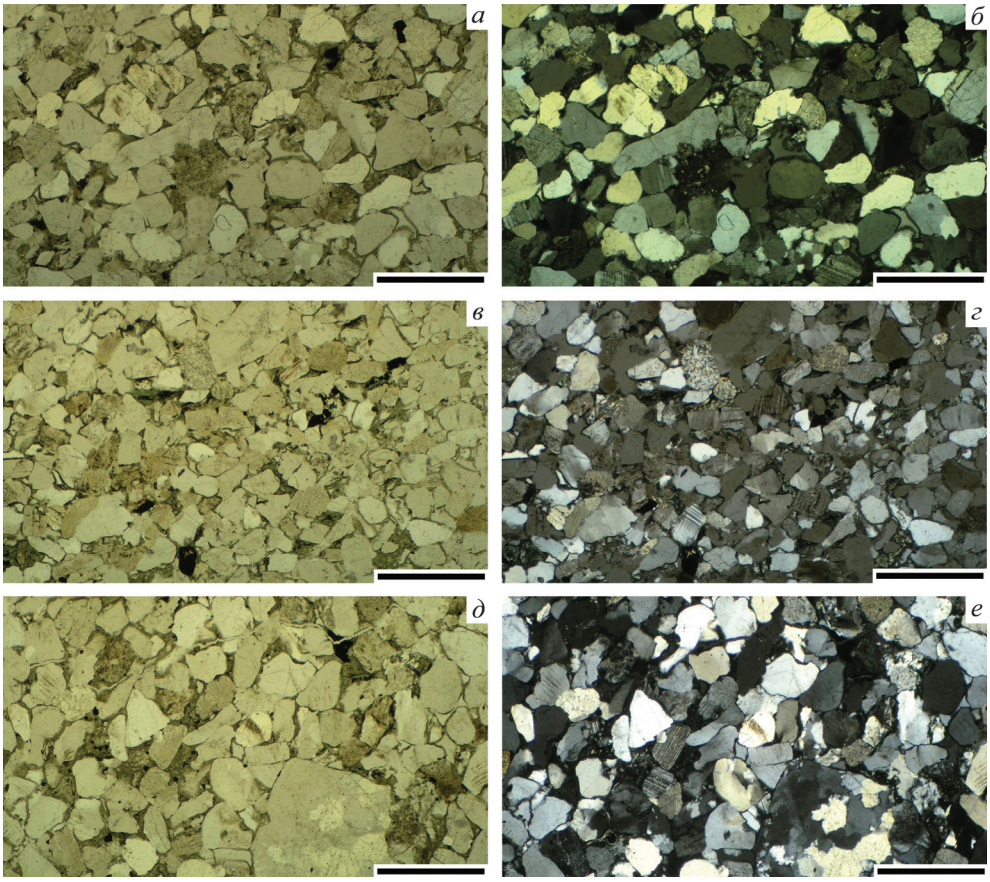


Рис. 14. Микрофото шлифов песчаников байкибашевской свиты:
а, *б* – обр. КБА-46; *в*, *г* – обр. КБА-47, *д*, *е* – обр. КБА-50. Николи || – *а*, *в*, *д*; николи × – *б*, *г*, *е*. Длина масштабной линейки 1 мм

шпаты – 9–20, плагиоклазы – 3–7%) и 10–19% (рис. 19; также см. табл. 6). На диаграммах В.Д. Шутова и В.Н. Шванова песчаники этого уровня принадлежат мезомиктовым разностям (см. рис. 15, *б*; 16, *б*). По классификации Ф.Дж. Петтиджона, старопетровские псаммиты – это как субаркозы, так и сублитареniты (см. рис. 17, *б*), а в схеме Р. Фолка – лититовые аркозы и полевошпатовые аренiты (см. рис. 18, *б*).

Согласно Н.С. Лагутенковой и И.К. Чепиковой (1982), песчаники *салиховской свиты* принадлежат к полимиктовым и полевошпат-кварцевым разностям. Р.Х. Масагутов (2002) указывает на присутствие в разрезах свиты и кварц-полевошпатовых псаммитов. По нашим данным, в песчаниках этой свиты зерна кварца составляют 50–75%, на долю полевых шпатов и обломков пород приходится 6–29 и 5–29% соответственно (рис. 20; также см. табл. 6). Среди полевых шпатов преобладают калиевые разности (6–25% от общего количества зерен), тогда как содержание плагиоклазов варьируется в пределах 0–10%. На диаграмме В.Д. Шутова точки песчаников салиховской свиты сосредоточены

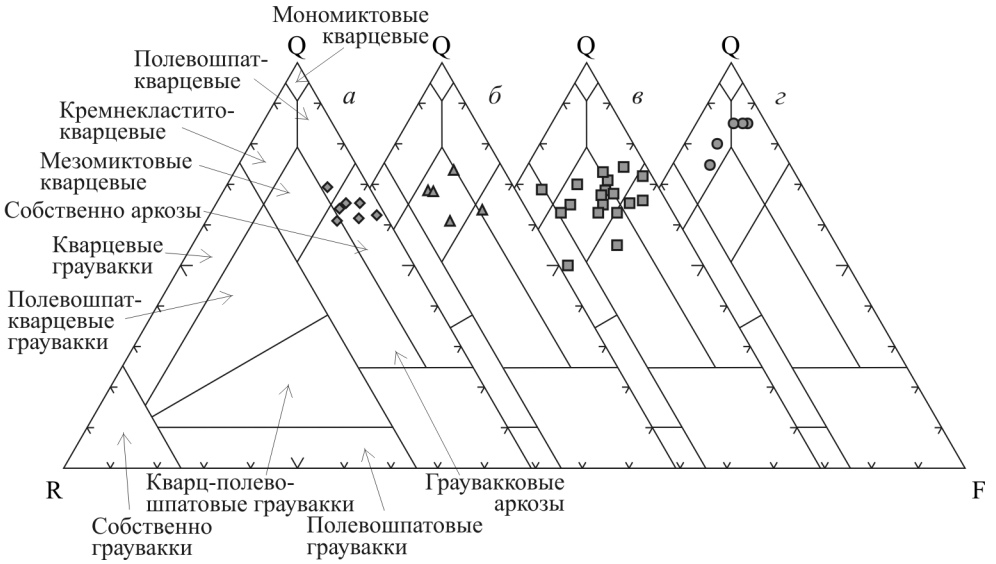


Рис. 15. Положение точек составов песчаников разных свит верхнего венда Шкаповско-Шиханской впадины на диаграмме В.Д. Шутова:
а – байкибашевская; *б* – старопетровская; *в* – салиховская; *г* – карлинская

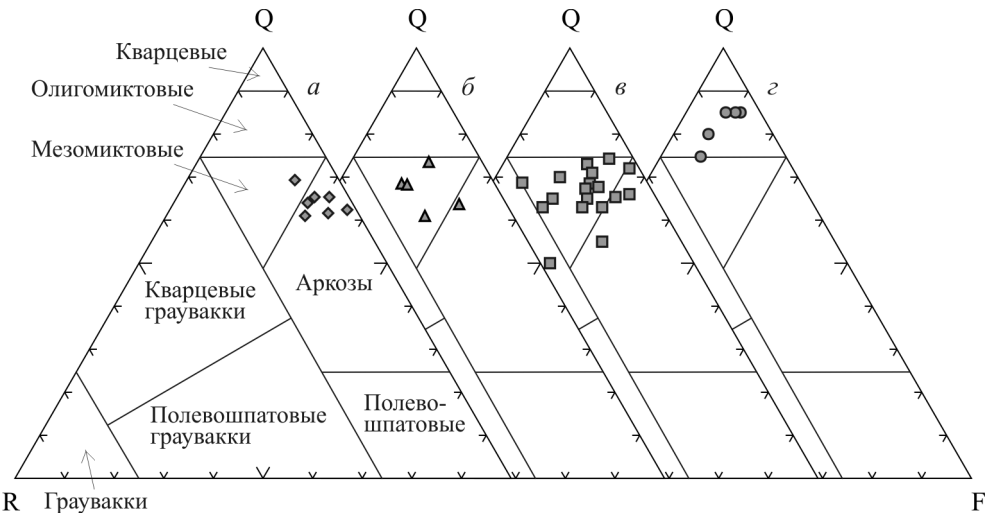


Рис. 16. Положение фигуративных точек песчаников разных свит верхнего венда Шкаповско-Шиханской впадины на диаграмме В.Н. Шванов:
а – байкибашевская; *б* – старопетровская; *в* – салиховская; *г* – карлинская

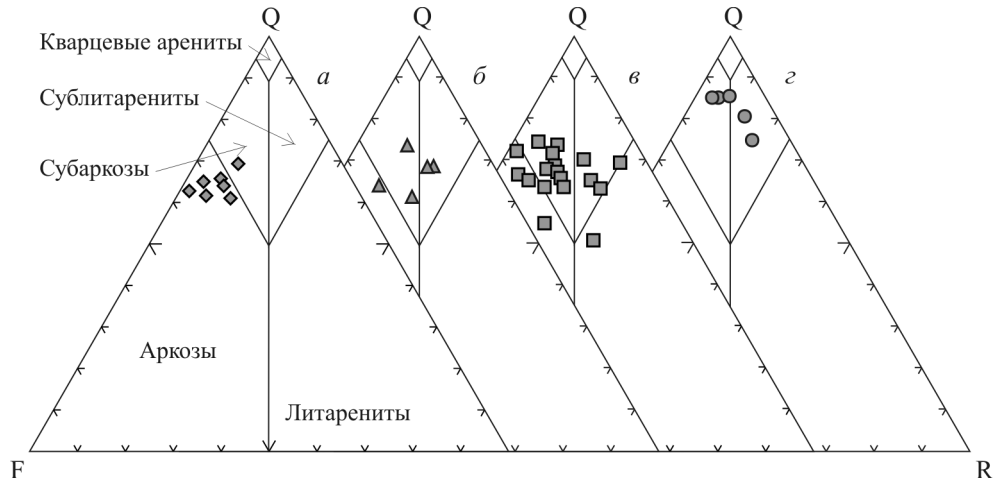


Рис. 17. Положение точек составов песчаников разных свит верхнего венда Шкаповско-Шиханской впадины на диаграмме Ф.Дж. Петтиджона:
а – байкибашевская; *б* – старопетровская; *в* – салиховская; *г* – карлинская

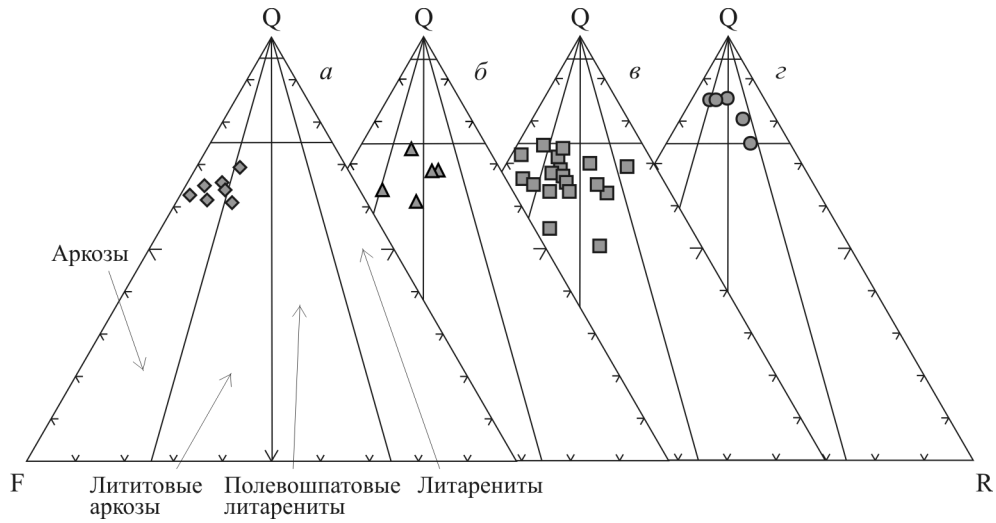


Рис. 18. Положение фигуративных точек составов песчаников разных свит каировской и шкаповской серий Шкаповско-Шиханской впадины на диаграмме Р. Фолка:
а – байкибашевская; *б* – старопетровская; *в* – салиховская; *г* – карлинская

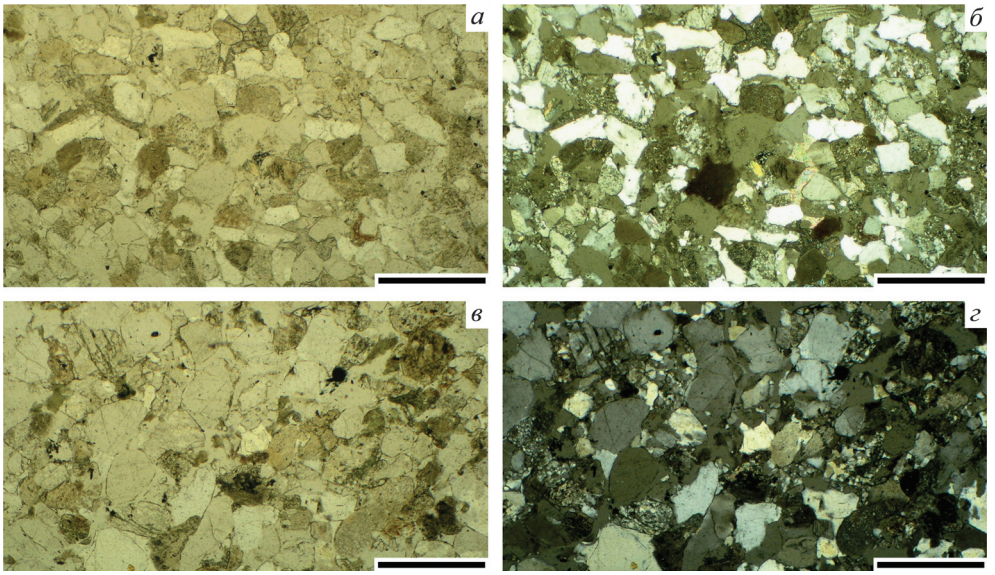


Рис. 19. Микрофото шлифов песчаников старопетровской свиты:
а, *б* – обр. КБА-15; *в*, *г* – обр. КБА-18. Николи || – *а*, *в*; николи × – *б*, *г*. Длина масштабной линейки 1 мм

в полях собственно аркозов, граувакковых аркозов, полевошпат-кварцевых и мезомиктовых разностей (см. рис. 15, *в*). В схеме В.Н. Шванова рассматриваемые нами породы – это преимущественно мезомиктовые песчаники при подчиненной роли аркозов (см. рис. 16, *в*). Если же обратиться к классификациям Ф.Дж. Петтиджона и Р. Фолка, то в первой из них псаммиты салиховского уровня попадают в основном в поля субаркозов и сублитаренитов при подчиненной доле собственно аркозов, а во второй они примерно в равных соотношениях принадлежат к аркозам, лититовым аркозам и полевошпатовым литаренитам (см. рис. 18, *в*).

Содержание зерен кварца в песчаниках *карлинской свиты* составляет 74–85% (рис. 21; также см. табл. 6). В отличие от трех других свит верхнего венда, в песчаниках этого уровня максимальное количество зерен обломков пород больше, чем число фрагментов полевых шпатов (4–18 и 7–11% соответственно), соотношение же калиевых полевых шпатов и плагиоклазов примерно одинаково (3–6 и 2–6%). По классификации В.Д. Шутова, песчаники карлинской свиты принадлежат к полевошпат-кварцевым и кремнекластитокварцевым разностям (см. рис. 15, *г*). На диаграмме В.Н. Шванова точки карлинских песчаников расположены в поле олигомиктовых разностей (см. рис. 16, *г*). На диаграмме Ф.Дж. Петтиджона с соавторами песчаники карлинской свиты, как и песчаники салиховского уровня, принадлежат к сублитаренитам и субаркозам (см. рис. 17, *г*), тогда как на диаграмме Р. Фолка точки составов псаммитов карлинской и салиховской свит тяготеют к разным классификационным полям (см. рис. 18, г).

На основе соотношения разных компонентов каркаса псаммитов с определенной степенью уверенности можно не только классифицировать анализируемые породы, но и реконструировать их состав в областях размыва, а также

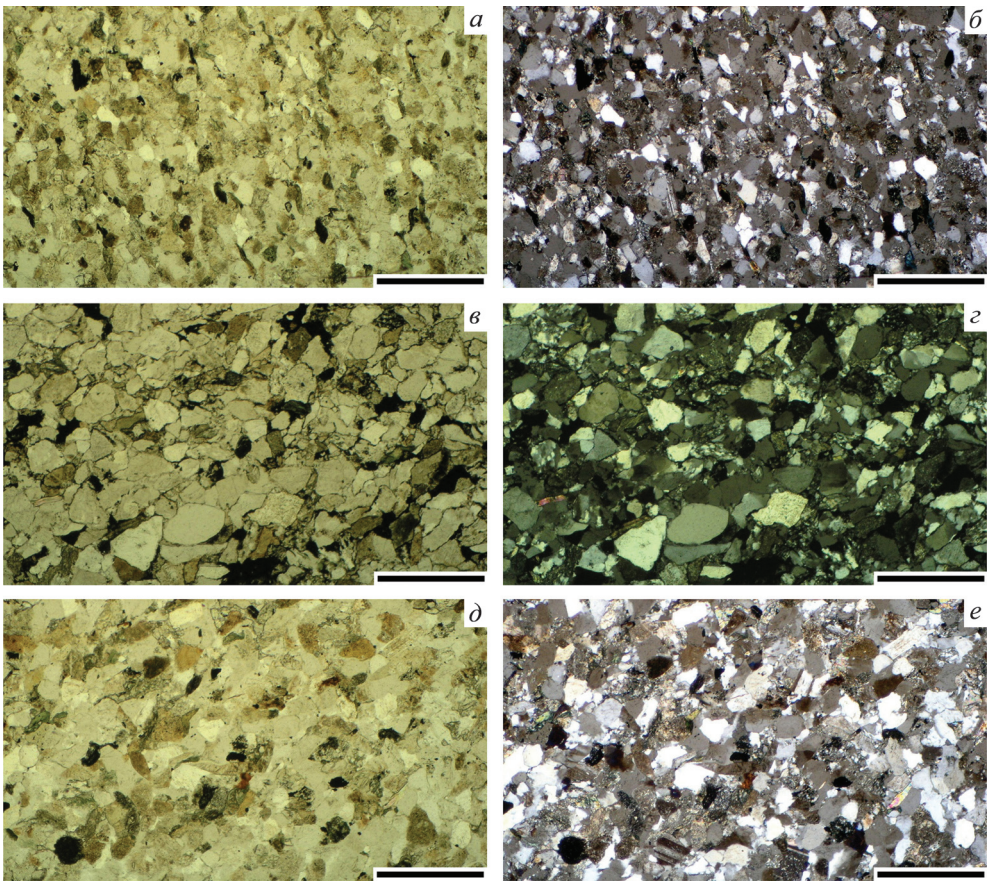


Рис. 20. Микрофото шлифов песчаников салиховской свиты:
а, *б* – обр. КБА-22; *в*, *г* – обр. КБА-33; *д*, *е* – обр. КБА-38. Николи || – *а*, *в*, *д*; николи × – *б*, *г*, *е*. Длина масштабной линейки 1 мм

возможную геодинамическую природу песчаников. В большинстве случаев для этого применяется диаграмма $F–Q_m–L_t$[7], предложенная в (Dickinson et al., 1983); на ней показаны поля песчаников, формировавшихся во внутренних областях кратона и переходных континентальных обстановках, в пределах поднятий фундамента, магматических островных дуг и рециклированных орогенов. Точки составов песчаников рифея Камско-Бельского авлакогена сосредоточены на указанной диаграмме в основном в поле «внутренних областей кратона», некоторая их часть (псаммиты усинской и леонидовской свит) локализована и в поле «рециклированных орогенов» (рис. 22).

Точки составов песчаников трех нижних свит верхнего венда Шкаповско-Шиханской впадины расположены на диаграмме $F–Q_m–L_t$ преимущественно в полях псаммитов переходных континентальных зон (сюда попадают прак-

[7]Здесь Q_m – монокристаллический кварц; L_t – обломки пород всех типов.

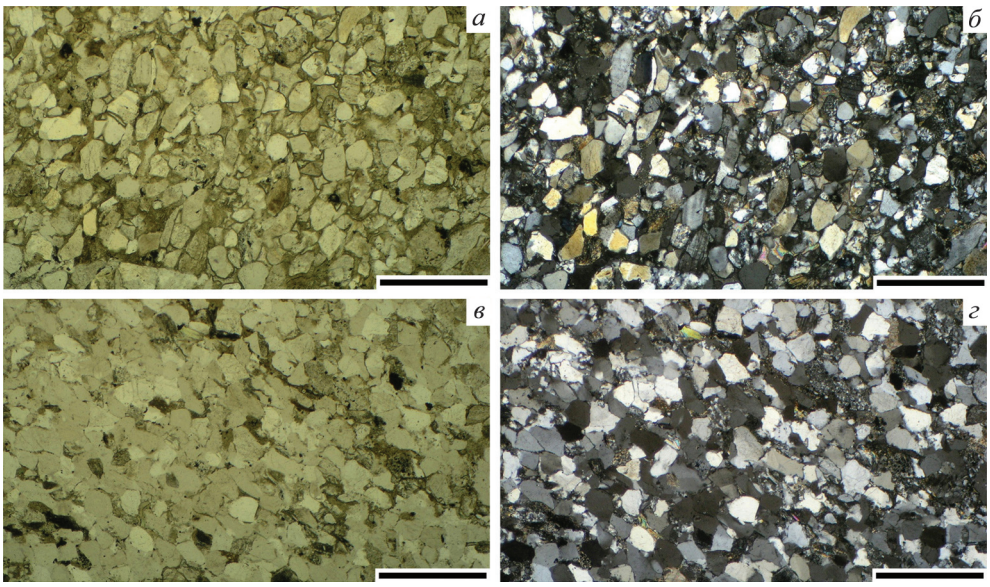


Рис. 21. Микрофото шлифов песчаников карлинской свиты:
а, *б* – обр. КБА-5; *в*, *г* – обр. КБА-7. Николи || – *а*, *в*; николи × – *б*, *г*. Длина масштабной линейки 1 мм

тически все образцы песчаников байкибашевской свиты и часть псаммитов салиховского уровня), рециклированных орогенов и в поле неопределенности, тогда как точки песчаников карлинской свиты локализованы в полях внутренних областей кратона и рециклированных орогенов (рис. 23).

По соотношению в песчаниках зерен кварца, обломков пород и полевых шпатов, как показано в (Weltje, 2004; von Eynatten, Gaupp, 1999), можно в той или иной мере судить о характере рельефа области питания и климате. Мы нанесли на диаграмму ln(Q/L+CE)–ln(Q/F)[8] точки составов псаммитов прикамской, тукаевской, леонидовской и приютовской свит рифея, байкибашевской и салиховской свит верхнего венда (рис. 24), и оказалось, что фигуративные точки песчаников каировской и шкаповской серий тяготеют к области, объединяющей продукты разрушения преимущественно плутонических пород. Псаммиты рифея содержат и существенную долю кластики, сформированной вследствие размыва метаморфических образований. В песчаниках же леонидовского уровня последняя играет доминирующую роль. Учитывая расположение точек песчаников разных свит на данной диаграмме, можно также предположить, что песчаники леонидовской свиты формировались в обстановках низкого рельефа и доминирования на водосборах тропического гумидного климата (WI = 4) (и это не противоречит в принципе особенностям их минералого-петрографического состава), а состав псаммитов салиховской свиты есть отражение умеренного рельефа и климата (WI = 1). Интересно отметить, что в поля со значениями WI, равными 0 (семиаридный климат при любом рельефе

[8]Здесь Q – кварц; F – полевые шпаты; L – обломки терригенных, магматических и метаморфических пород; CE – обломки карбонатных пород.

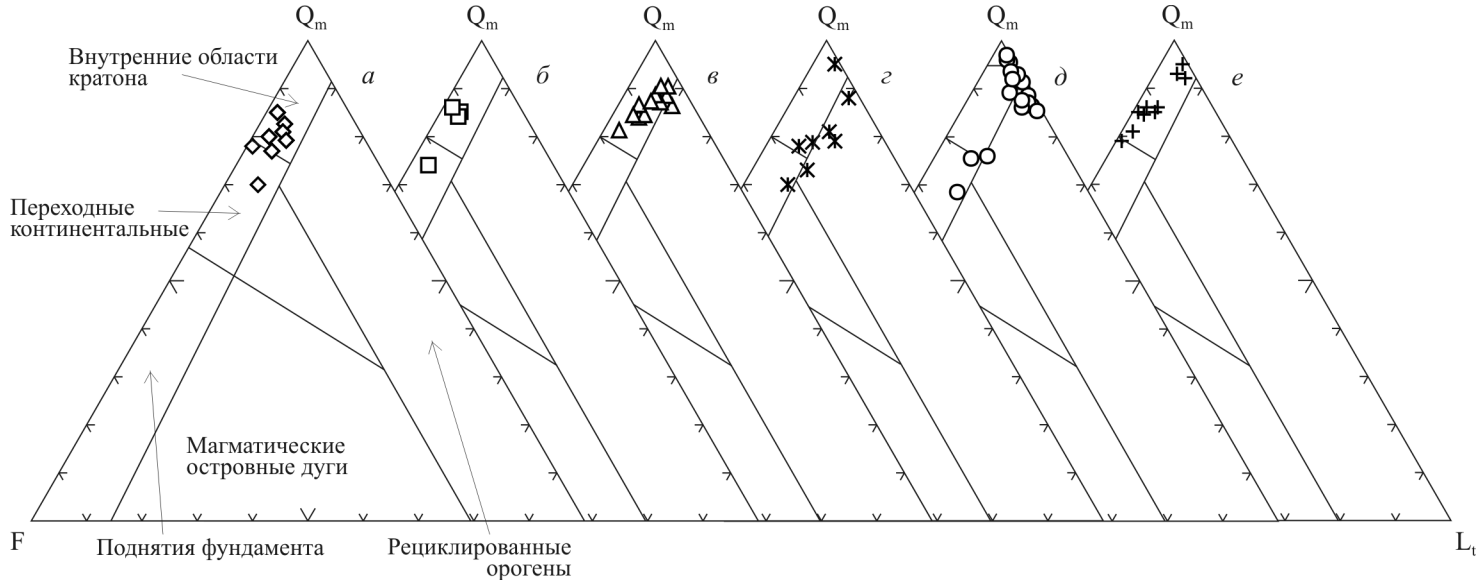


Рис. 22. Положение фигуративных точек составов песчаников разных свит рифея Камско-Бельского авлакогена на диаграмме $F–Q_m–L_t$ (по: Dickinson et al., 1983):

а – прикамская; *б* – надеждинская; *в* – тукаевская; *г* – усинская; *д* – леонидовская; *е* – приютовская

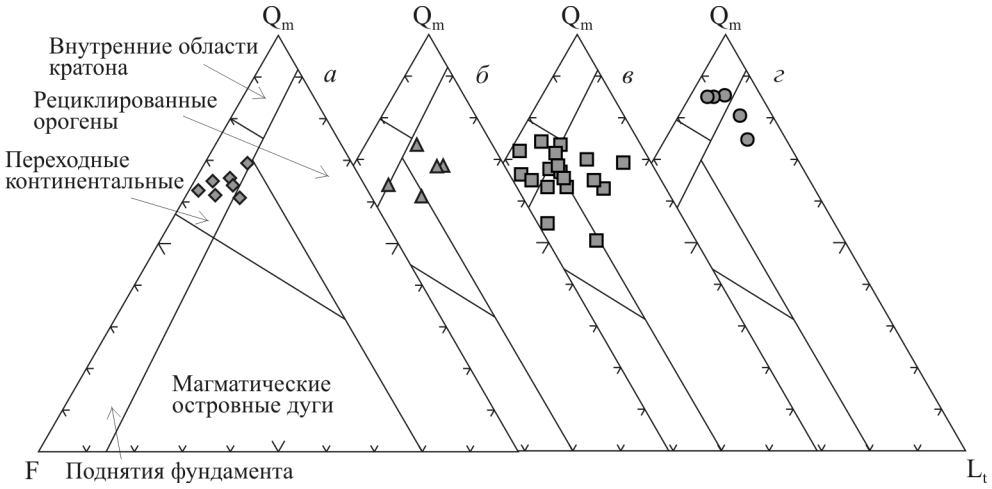


Рис. 23. Положение точек составов песчаников разных свит венда Шкаповско-Шиханской впадины на диаграмме $F–Q_m–L_t$ (по: Dickinson et al., 1983):
а – байкибашевская; *б* – старопетровская; *в* – салиховская; *г* – карлинская

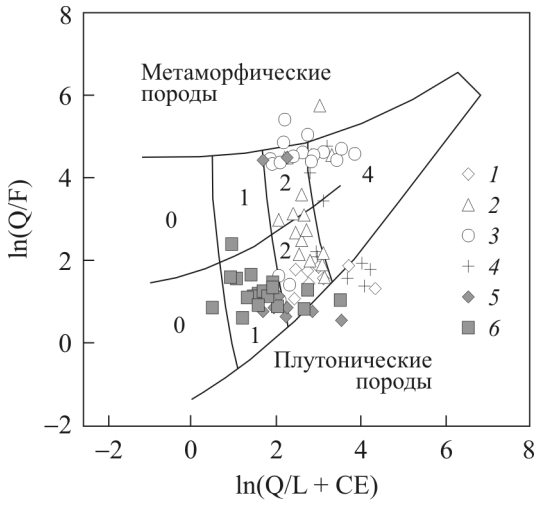


Рис. 24. Положение фигуративных точек составов песчаников разных свит рифея и венда Волго-Уральской области на диаграмме ln(Q/L+CE)–ln(Q/F) (по: Weltje, 1994):
1 – прикамская; *2* – тукаевская; *3* – леонидовская; *4* – приютовская; *5* – байкибашевская; *6* – салиховская. Цифры на диаграмме соответствуют значениям полуколичественного индекса выветривания Дж. Велти (Weltje, 1994) (WI = c × r, где c – климат, r – рельеф): 0 – семиаридный климат при любом рельефе или высокогорный рельеф при любом климате; 1 – умеренный рельеф и умеренный климат; 2 – низкий рельеф и умеренный семигумидный климат, а также умеренный рельеф и тропический гумидный климат; 4 – низкий рельеф и тропический гумидный климат

Полуколичественный индекс выветривания		Рельеф		
		Высокий (горы)	Умеренный (холмы)	Низкий (равнины)
Климат (осадки)	(Семи)аридный средиземноморский	0	0	0
	Умеренный субгумидный	0	1	2
	Тропический гумидный	0	2	4

или высокогорный рельеф при любом климате), не попал практически ни один из изученных нами образцов песчаников.

Различие климатических обстановок формирования песчаников рифея и венда Волго-Уральской области можно предполагать и на основе распределения их точек состава на диаграмме $Q_t/(F+R)$–$Q_p/(F+R)$[9] (Suttner, Dutta, 1986; Ghazi, Mountney, 2011) (рис. 25). Здесь имеющие в своем составе в целом меньше полевых шпатов песчаники рифея сосредоточены в области значений $Q_p/(F+R)$, характерных для псаммитов гумидного климата, а песчаники венда формировались, очевидно, в обстановках семигумидного климата.

Мы попытались также реконструировать возможный состав пород на палеоводосборах в позднем венде, учитывая соотношение в песчаниках каировской и шкаповской серий калиевых полевых шпатов, плагиоклазов и монокристаллического кварца и используя диаграмму K–Q_m–P[10] (Hyndman, 1972; Marsaglia, 2004) (рис. 26). Однако на основе распределения фигуративных точек песчаников байкибашевской, старопетровской, салиховской и карлинской свит на указанной диаграмме сделать это оказалось невозможно: все изученные нами псаммиты содержат существенно меньше плагиоклазов, чем это свойственно гранитам, гранодиоритам и диоритам, что связано, как представляется, с уничтожением их в процессе транспортировки и выветривания.

3.2. ТОНКОЗЕРНИСТЫЕ ОБЛОМОЧНЫЕ ПОРОДЫ

Ранее (Маслов и др., 1999; Геохимия…, 2008) нами уже показано, что использование литогеохимических характеристик тонкозернистых обломочных пород для проведения разного рода реконструкций основывается на ряде положений. Во-первых, мы считаем, что главными источниками вещества при формировании глинистых осадков в бассейнах осадконакопления выступают силикатные породы, подвергающиеся выветриванию на палеоводосборах, и ранее накопленные глинистые и алеврито-глинистые образования. Во-вторых, в разрезах морских терригенных толщ доминируют механогенные глины, образовавшиеся «в результате переотложения всех других глинистых, обломочных и метаморфических слюдистых пород» (Фролов, 1992, с. 306). В-третьих, будучи сложены аллотигенными компонентами, механогенные глины становятся индикаторами состава петрофонда и климата областей размыва, дополняя тем самым сведения, которые могут быть получены в результате анализа обломочных компонентов каркаса песчаников.

Первичный минеральный состав, структурные параметры глинистых минералов и структурно-текстурные особенности ТОП могут быть тем или иным образом изменены в ходе постседиментационных (дометаморфических) процессов, однако в целом масштабы стадиальных изменений значительно меньше тех, что наблюдаются при гипергенезе и седиментогенезе (Япаскурт, 1999). Они, как правило, существенно не влияют ни на состав, ни на геохимические

---

[9]Здесь Q_t – общее количество зерен кварца; F – полевые шпаты; R – обломки пород; Q_p – зерна поликристаллического кварца.

[10]Здесь K – калиевые полевые шпаты; Q_m – монокристаллический кварц; P – плагиоклазы.

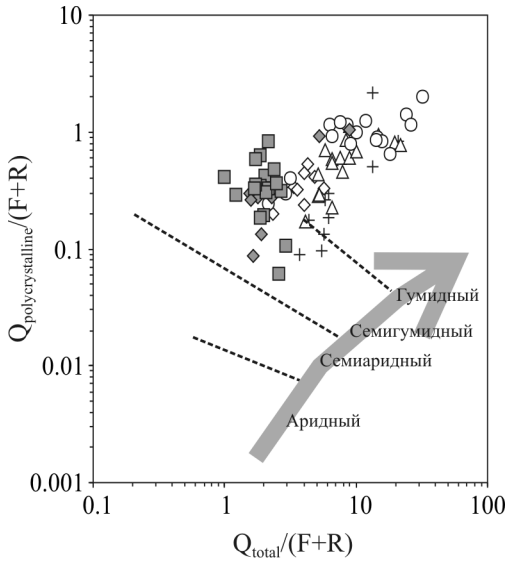


Рис. 25. Положение точек составов песчаников разных свит рифея и венда Волго-Уральской области на диаграмме $Q_t/(F+R)$–$Q_p/(F+R)$ (по: Suttner, Dutta, 1986).
Условные обозначения см. на рис. 24

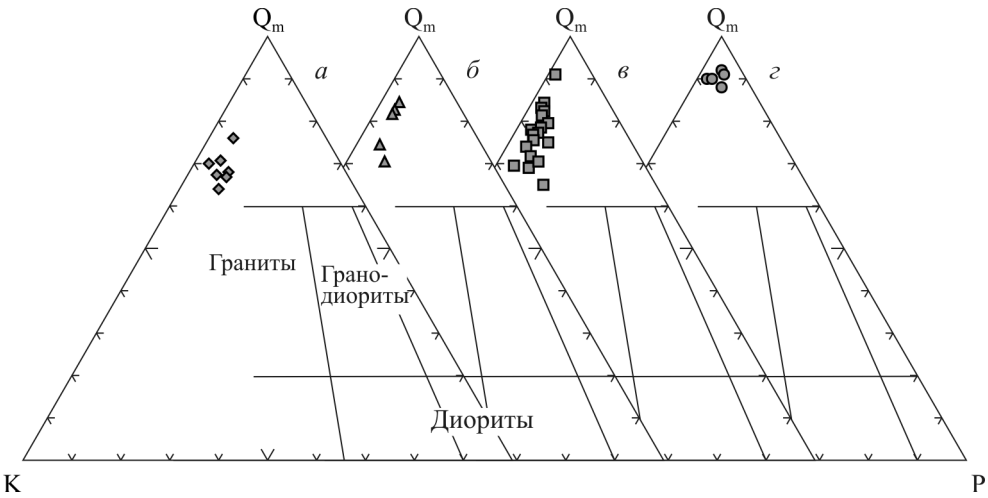


Рис. 26. Положение фигуративных точек составов песчаников разных свит венда Шкаповско-Шиханской впадины на диаграмме K–Q_m–P (по: Hyndman, 1972):
а – байкибашевская; *б* – старопетровская; *в* – салиховская; *г* – карлинская

Состав ТОП рифея Камско-Бельского авлакогена (по результатам рентгенофазового

Эратема	Свита	Образец	Hym	Mi	Chl	Sm	Qu
Нижний рифей	Прикамская	ПБ-15	55	5	10	–	10
		ПБ-17	30	–	10	–	20
		ПБ-23	35	10	10	–	20
	Калтасинская	ПБ-34	40	–	10	–	15
		ПБ-35	55	–	10	–	10
	Надеждинская	ПБ-53	35	–	10	–	15
		ПБ-42	–	25	10	–	5
Средний рифей	Тукаевская	ПБ-14	60	10	7	–	10
		ПБ-39	50	10	10	–	5
	Ольховская	ПБ-5	40	10	7	–	3
		ПБ-28	50	10	Сл.	–	5
Верхний рифей	Усинская	ПБ-20	50	5	10	–	5
	Приютовская	ПБ-7	30	35	–	5	5
		ПБ-32	25	10	7	–	15

Примечание. Hym – **гидрослюда; Mi – мусковит; Chl – хлорит; Sm – смектит; Qu – кварц; Pl – плагиоклаз;** вещество; Amf – **амфибол; сл. – следы; прочерк – не обнаружен.**

особенности пород. Так как в разрезах верхнего докембрия Камско-Бельского авлакогена и Шкаповско-Шиханской впадины преобладают прибрежно- и мелководно-морские терригенные и карбонатные отложения, степень постседиментационных преобразований которых зачастую не превышает позднего катагенеза или раннего метагенеза (Иванов, 2008), то это позволяет предполагать, что входящие в их состав ТОП отражают в своих литогеохимических характеристиках интегральные особенности пород палеоводосборов и климата времени седиментации.

Глинистые сланцы и алевритистые аргиллиты в разрезах *прикамской свиты* отличаются тонкочешуйчатой или пелитоморфно-тонкочешуйчатой структурой, имеют преимущественно гидрослюдистый (реже – каолинит-гидрослюдистый) состав, интенсивно пигментированы гидрооксидами и оксидами железа; в отдельных прослоях в них присутствует диагенетический пирит (Масагутов, 2002). Аргиллиты, выявленные в составе терригенных и карбонатно-терригенных пачек в разрезах *калтасинской свиты*, имеют гидрослюдистый или хлорит-гидрослюдистый состав. Тонкозернистые терригенные образования в составе *надеждинской свиты* представлены в основном тонкочешуйчатым серицит-гидрослюдистым агрегатом, импрегнированным тонкодисперсным гематитом, а в ряде случаев – и тонкозернистым доломитом. Аргиллиты и глинистые сланцы *тукаевской свиты* – это серицит-гидрослюдистые, гидрослюдисто-серицитовые или железисто-гидрослюдистые породы с пелитоморфно-тонкочешуйчатой структурой (Нефтегазоносные…, 1969; Лагутенкова, Чепикова, 1982). В составе акбердинского горизонта *ольховской*

Таблица 7

и термического изучения), мас. % (по: Маслов и др., 2010)

Pl	K-fs	Cc	Dm	Mgz	Hm	Py	Org	Amf
2–3	10	–	–	–	–	7	–	–
1	40	–	–	–	–	–	0.1	–
10	15	–	–	–	–	–	–	–
10	25	–	–	–	–	–	–	–
10	15	–	–	–	–	–	0.1	–
Сл.	20	–	7	–	10	–	–	–
Сл.	30	–	–	25	–	5–7	0.2	–
2	10	–	–	–	–	5	0.2	–
Сл.	20	–	–	–	5-7	–	0.1	–
2	20	–	12	–	7	–	–	–
2	20	2	–	–	10	–	–	–
2	10	–	11	–	7	–	0.2	–
2	10	–	–	–	7	–	0.2	5
Сл.	25	–	12	–	7	–	0.1	–

K-fs – калиевый полевой шпат; Cc – кальцит; Dm – доломит; Mgz – магнезит; Hm – гематит; Py – пирит; Org – органическое

свиты преобладают гидрослюдистые и серицит-гидрослюдистые аргиллиты с тонкочешуйчато-волокнистой структурой и значительной примесью тонкодисперсного углеродистого материала. В средней и верхней частях ольховской свиты среди ТОП преобладают гидрослюдистые аргиллиты с пелитоморфно-тонкочешуйчатой структурой и примесью алевритовых зерен кварца и полевых шпатов. В отдельных прослоях аргиллиты содержат существенную примесь тонкодисперсного гематита и тонкокристаллического доломита. В разрезах *усинской* и *приютовской свит* выделяются преимущественно гидрослюдистые, серицит-гидрослюдистые и гидрослюдисто-смектитовые аргиллиты. Для них характерна неравномерная пигментация оксидами железа, примесь (5–15%) алевритовых зерен кварца и полевых шпатов; в некоторых случаях отмечается присутствие тонких глинисто-битуминозных пропластков и линз (Масагутов, 2002). Структура аргиллитов – тонкочешуйчатая и пелитоморфно-тонкочешуйчатая.

В результате рентгенофазового изучения (аналитик – Т.Я. Гуляева, ИГГ УрО РАН; рентгеновский дифрактометр ДРОН-3; напряжение 30 кВ; ток 30 мА; монохроматизированное Cu-излучение; скорость съемки 1 град/мин) установлено, что в образцах наличествуют мусковит, гидрослюда (основные рефлексы 10.0, 4.46, 3.32 и 2.56 Å) и железисто-магнезиальный хлорит (14.1, 7.1, 4.7 и 3.5 Å) (табл. 7) (Маслов и др., 2010б). Определение политипии слюд оказалось затруднено из-за наложения рефлексов слюд, полевых шпатов и хлорита, а также низкой интенсивности и размытости пиков, обусловленных тонкодисперсностью слюд.

Значительная ширина рефлекса 10 Å указывает на присутствие в породах смеси гидрослюд и мусковита. Обломочные минералы в глинистых сланцах и алевроаргиллитах представлены преимущественно кварцем (4.26, 3.34 и 2.46 Å), калиевым полевым шпатом (4.21, 3.31, 3.28 и 3.25 Å), плагиоклазом (4.03, 3.78 и 3.20 Å). В гораздо меньшем количестве встречаются кальцит (3.03, 2.28 и 2.09 Å), доломит (2.88, 2.19 и 1.78 Å), магнезит (2.74, 2.10 и 1.70 Å), гематит (2.70, 2.52 и 1.70 Å), пирит (2.70, 2.43 и 1.63 Å) и амфибол (8.4, 3.1 и 2.7 Å).

Согласно результатам термических исследований (аналитик – В.Г. Петрищева, ИГГ УрО РАН; дериватограф DTA/TG (Perkin Elmer); величина навески 80–100 мг; скорость нагрева 20 град/мин; температурный интервал 20–1090 °С; инертное вещество – оксид алюминия; атмосфера печи – воздух; погрешности при определении убыли массы ±0.1%, при определении температуры пика на DTA – ±3 °С), в образцах тонкозернистых обломочных пород рифея Камско-Бельского авлакогена присутствуют (в разных соотношениях) гидрослюда, мусковит, кварц, хлорит и доломит (Маслов и др., 2010б). В единичных образцах наблюдались кальцит, магнезит, пирит и органическое вещество. Количественные соотношения указанных минералов с учетом данных рентгенофазового анализа отражены в табл. 7 (принято, что гидрослюды содержат 3.5% гидроксильной воды). Определение кварца проводилось по кривым охлаждения ДТА, где имеется экзопик, соответствующий β–α-переходу. Расчет количества кварца выполнен В.Г. Петрищевой по величине энтальпии (для 100% кварца δH равно 10.35 Дж/г) с погрешностью ±1% .

Анализ результатов рентгенофазового и термического изучения с учетом химического состава пород позволяет предположить, что в имеющихся в нашем распоряжении образцах ТОП рифея Камско-Бельского авлакогена среди глинистых минералов преобладает гидрослюда в ассоциации с тонкочешуйчатым мусковитом (эндопик при 700 °С) и мусковитом (эндопик 900–950 °С), следствием чего и является упомянутый выше широкий 10-ангстремный рефлекс на дифрактограммах (образцы ПБ-7, ПБ-23, ПБ-28). Суммарное количество глинистых минералов (мусковит, гидрослюда, хлорит), как правило, выше 50%.

В целом тонкозернистые терригенные образования разных стратонов рифея Камско-Бельского авлакогена характеризуются заметной общностью состава при небольших различиях в соотношении глинистых минералов. Так, в глинистых сланцах и алевритистых аргиллитах нижнего рифея гидрослюда преобладает над мусковитом. Отличительная черта низкоуглеродистых глинистых сланцев этого уровня – незначительная примесь пирита и органического вещества. Для них также характерно повышенное содержание тонкообломочного калиевого полевого шпата и плагиоклаза. В глинистых сланцах среднего рифея количество гидрослюды достигает 40–60%; во всех проанализированных образцах присутствует гематит. В глинистых сланцах и алевритистых аргиллитах верхнего рифея отмечено высокое содержание гидрослюды и мусковита и пониженное – хлорита; в переменном количестве наличествует доломит, наряду с небольшой примесью органического вещества встречается гематит.

Аргиллиты всех литостратиграфических подразделений каировской и шкаповской серий содержат, как это следует из анализа результатов рентгенофазового изучения, примесь зерен кварца, плагиоклаза и микроклина (Маслов и др., 2006). В некоторых образцах ТОП байкибашевской, салиховской и

карлинской свит выявлен рутил. Глинистые минералы представлены гидрослюдой (смесь модификаций $2M_1$ и 1M), а также смешанослойным минералом типа иллит–смектит, железисто-магнезиальным хлоритом и каолинитом. Наличие фазы $2M_1$ (мусковит) подтверждается присутствием на дифрактограммах кроме рефлексов 10 и 4.48 Å также триплета 2.98, 2.86 и 2.78 Å. Смешанослойный минерал типа иллит–смектит диагностируется обнаружением на дифрактограммах ориентированных образцов широкого рефлекса в области 10–12 Å, асимметричностью рефлекса 10 Å со стороны малых углов. При прокаливании до 600 °С эти рефлексы исчезают, а симметричность рефлекса 10 Å возрастает. Каолинит имеет несколько рефлексов, наиболее значимые из которых совпадают с рефлексами хлорита (7.1 и 3.56 Å) или слюды (4.44 Å). После прокаливания ориентированных образцов до 600 °С рефлекс 14.2 Åполностью исчезает. Количество гидрослюдистой и хлорит-каолинитовой фаз, судя по интенсивности рефлексов 10 и 7.1–7.15 Å, примерно одинаково, хотя в некоторых образцах гидрослюда преобладает. В ряде образцов по слабому рефлексу 7.5 Å можно предполагать присутствие галлуазита. Наиболее характерен он для аргиллитов карлинской свиты.

Вхождение в состав аргиллитов каолинита и смешанослойного минерала типа иллит–смектит может указывать на формирование верхневендских отложений Шкаповско-Шиханской впадины в зоне прибрежного морского мелководья, куда из кор выветривания поступал слабо измененный в морской воде каолинит. Состав глинистых минералов позволяет предполагать, что степень постседиментационных преобразований отложений верхнего венда была относительно невелика (начальный катагенез), а общее погружение отложений не превышало 1–2 км (Маслов и др., 2006).

Изменения верхне- и среднерифейских отложений Камско-Бельского авлакогена отвечают низам раннего–верхам позднего катагенеза ($МК_1$–$МК_2$); при этом максимальные преобразования отложений юрматиния соответствуют градации катагенеза $МК_3$ (Иванов, 2008). Средне- и нижнерифейские отложения также преобразованы на уровне позднего катагенеза, но градации катагенеза в них несколько выше ($МК_3$–$МК_4$).

Глава 4

ВАЛОВЫЙ ХИМИЧЕСКИЙ СОСТАВ ПЕСЧАНИКОВ И ТОНКОЗЕРНИСТЫХ ОБЛОМОЧНЫХ ПОРОД

Валовый химический состав песчаников определяется преимущественно составом их обломочных компонентов, и это служит основанием как для многочисленных классификаций псаммитов, так и для историко-генетических построений и геодинамических реконструкций (Dickinson, Suczec, 1976; Bhatia, 1983; Шванов, 1987; Петтиджон и др., 1976; Geochemistry…, 2003). В.Н. Шванов специально подчеркивал, что наиболее ценными для любых выводов представляются сведения о химическом составе бесцементных среднезернистых (0.20–0.35 мм) песчаников, однако именно такой информации в специальной литературе недостаточно, и потому «на практике приходится использовать анализы песчаников различного гранулометрического состава, и содержащие цемент, понимая, что при этом возникают дисперсии химических параметров» (Шванов, 1987, с. 129). Подводя итог рассмотрению результатов изучения химического состава песчаников, Ф.Дж. Петтиджон с соавторами (1976), отметили следующее: «Валовый химический состав песчаников отражает иногда дивергентное, а иногда усиливающееся влияние минералогической сортировки и дифференциации на структурную, а также меняющееся в широких пределах воздействие области питания, обстановки осадконакопления и процессов диагенеза» (Петтиджон, 1976, с. 64). В русском переводе 3-го издания монографии «Осадочные породы» (Петтиджон, 1981) также указано: «Состав песчаника можно выразить через его валовый химический состав. Анализ валового химического состава очень полезен. Пески … являются в известном смысле продуктом происходящих в широком масштабе процессов химической и механической дифференциации, которые, несмотря на некоторое несовершенство, часто приводят к удивительно хорошим результатам … Для того чтобы полностью понять геохимические процессы и эволюцию различных типов осадков … требуются химические анализы» (Петтиджон, 1981, с. 266).

Валовый химический состав тонкозернистых обломочных пород не только позволяет судить о слагающих их минеральных компонентах, но и предоставляет информацию о характере выветривания на палеоводосборах, присутствии эксгалятивных компонентов и некоторых других особенностях осадконакопления. Уже в самом начале раздела, посвященного химическому составу глинистых пород, мы сталкиваемся с весьма примечательной фразой: «Химический анализ остается одним из главных источников информации о составе глинистых сланцев» (Петтиджон, 1981, с. 343). Там же указано, что «химический состав … сланца … определяется также обстановкой осадконакопления» (Петтиджон, 1981, с. 346).

4.1. ПЕСЧАНИКИ

К наиболее известным диаграммам для классификации псаммитов, использующим сведения о содержании и/или соотношении в них ряда основных породообразующих оксидов, относятся диаграммы Р. Гаррелса и Ф. Маккензи (1974), Ф.Дж. Петтиджона с соавторами (1976), А.Н. Неелова (1980; и др.), А.А. Предовского (1980), В.Н. Шванова (1987), М. Хиррона (Herron, 1988), А.Г. Коссовской и М.И. Тучковой (1988) и некоторых других авторов.

Ф.Дж. Петтиджоном с соавторами (1976) для классификации песчаников разработана диаграмма $\log(Na_2O/K_2O)$–$\log(SiO_2/Al_2O_3)$. В основу разделения песчаников на группы ими положен геохимический подход, отражающий соотношение в породах кварца, полевых шпатов и глинистых минералов. Для незрелых песчаников характерны низкие (< 1.3) значения $\log(SiO_2/Al_2O_3)$ и высокие (> 0) – $\log(Na_2O/K_2O)$, для зрелых же песчаников, таких как, к примеру, кварцевые арениты, – наоборот. Указанная диаграмма позволяет достаточно уверенно разграничить по химическому составу следующие группы псаммитов: граувакки, литарениты, аркозы, субаркозы, сублитарениты, кварцевые арениты. Для разделения граувакк и аркозов в этой же работе предложена существенно более простая диаграмма Na_2O–K_2O.

В.Н. Шванов (1974, 1987) предложил химическую классификацию песчаников, которая была определена им как близкая к терригенно-минералогической схеме В.Д. Шутова. Эта классификация представляет собой развернутый на плоскость тетраэдр SiO_2–$Na_2O^{/}$–$FeO^{//}$–$Al_2O_3^{/}$. Правая часть тетраэдра позволяет классифицировать собственно песчаники, левая – глинистые песчаники и глины.

На основе диаграммы $\log(Na_2O/K_2O)$–$\log(SiO_2/Al_2O_3)$ М. Хирроном (Herron, 1988) создана еще одна диаграмма для классификации песчаников и глинистых пород. Вместо $\log(Na_2O/K_2O)$ в ней использован логарифм отношения $(Fe_2O_{3общ}/K_2O)$. Считается, что эта диаграмма дает возможность точнее классифицировать аркозы, а также оценивать степень присутствия в породах Fe–Mg-минералов. На диаграмме М. Хиррона выделены поля следующих групп песчаников: железистые песчаники, литарениты и сублитарениты, вакки, аркозы и субаркозы, а также кварцевые арениты.

А.Г. Коссовской и М.И. Тучковой (1988) для классификации песчаников предложена треугольная диаграмма SiO_2–$(Fe_2O_3+FeO+MgO+MnO+TiO_2)$–$(Al_2O_3+CaO+Na_2O+K_2O)$, на которой выделены поля кварцевых (I), олигомиктовых (II), полимиктовых (III) и вулканокластических (IV) песчаников. Анализ положения на данной диаграмме полей «естественных ассоциаций» песчаников разного генезиса и возраста, во-первых, позволил установить, что подавляющее большинство песчаных пород образуется из кислых, средних изверженных или метаморфических образований, в которых присутствует кристаллический кварц; во-вторых, было показано, что разнообразие песчаных пород в пределах континентальных блоков существенно зависит от состава исходных магматических ассоциаций и вулканитов; в-третьих, сделан вывод, что песчаные породы, образующиеся вследствие разрушения базальтов и андезито-базальтов, – это в значительной мере породы первого цикла седиментации. Основная диаграмма дополнена двумя вспомогательными: (Al_2O_3/SiO_2)–$(Fe_2O_3+FeO+MgO+TiO_2+MnO)$ и (Al_2O_3/SiO_2)–$(CaO+Na_2O+K_2O)$. Соотношение Al_2O_3/SiO_2 выступает здесь индикатором зрелости псаммитов, величина

($CaO+Na_2O+K_2O$) указывает на присутствие полевых шпатов, а ($Fe_2O_3+FeO+MgO+TiO_2+MnO$) отражает степень меланократовости песчаников.

Как уже отмечено в гл. 3, минералого-петрографические особенности песчаников верхнего докембрия Камско-Бельского авлакогена и Шкаповско-Шиханской впадины оказались достаточно хорошо изучены уже к середине 1960-х гг. В то же время систематического изложения сведений об их литохимических характеристиках до сих пор практически нет в специальной литературе, и цель настоящей работы – положить начало заполнению указанного пробела. Для этого нами использованы результаты анализа содержания основных породообразующих оксидов в более чем 100 представительных образцах псаммитов (табл. 8).

Химический состав изученных нами псаммитов характеризуется заметными вариациями содержания большинства породообразующих оксидов (табл. 9). Так, медианное[11] содержание оксида кремния в них варьируется от 73 (карлинская свита) до 92% (тукаевская свита). Минимальное медианное значение Al_2O_3 составляет ~4% (тукаевская свита), тогда как максимальное достигает почти 11.5% (салиховская свита). Песчаники байкибашевской, старопетровской, салиховской и карлинской свит отличаются от псаммитов подстилающих их толщ существенно более высоким медианным содержанием $Fe_2O_{3общ}$. Песчаники прикамской свиты имеют наиболее высокое медианное содержание оксида магния (~3.7%), в песчаниках же тукаевской и усинской свит этот параметр почти на порядок ниже. Медианное содержание оксида кальция в подавляющей части песчаников рифея составляет менее 0.5%, а в псаммитах трех верхних свит венда – 0.76–1.0%. Медианное содержание Na_2O в песчаниках рифея не превышает 0.5–1.0%, для песчаников каировской и шкаповской серий этот показатель возрастает до 1.6–2.4%. Медианное содержание оксида калия в песчаниках рифея (2.0–3.8%) несколько выше, чем в песчаниках венда (1.5–2.0%), минимальное же значение $K_2O_{медиана}$ (0.8%) характерно для песчаников тукаевской свиты.

Значение Al_2O_3/SiO_2 (AM) в песчаниках рифея равно 0.05–0.12, а в песчаниках венда – 0.13–0.17. В целом для песчаников венда выше и медианные значения параметра TiO_2/Al_2O_3. Еще одно отличие псаммитов венда от псаммитов рифея – преобладание оксида натрия над оксидом калия. Медианное значение гидролизатного модуля (ГМ) ($Al_2O_3+TiO_2+Fe_2O_3+FeO+MnO)/SiO_2$) (Юдович, 1981; Юдович, Кетрис, 2000) в песчаниках верхнего докембрия Волго-Уральской области изменяется от 0.06 (тукаевский уровень среднего рифея) до 0.26 (карлинский уровень венда); при этом максимальное значение характерно для псаммитов венда. Максимальное медианное значение CIA[12] ($100\times Al_2O_3/(Al_2O_3+CaO^*+Na_2O+K_2O)$) (Nesbitt, Young, 1982) выявлено для песчаников

---

[11]В настоящей работе, как и в (Геохимия…, 2008), при анализе ограниченных по объему аналитических выборок мы используем медианные значения содержания и отношения тех или иных оксидов и элементов-примесей, так как данный статистический параметр позволяет обобщенно оценить выборки с неизвестным характером распределения (Ткачев, Юдович, 1975; Rock et al., 1987).

[12]Индексы CIA, CIW и другие рассчитываются по молекулярным количествам оксидов, расчет разных модулей Я.Э. Юдовича ведется непосредственно по результатам валовых химических анализов.

Таблица 8

Содержание породообразующих оксидов в индивидуальных образцах песчаников верхнего докембрия Волго-Уральской области, мас. %

Образец	SiO_2	TiO_2	Al_2O_3	$Fe_2O_{3общ}$	MnO	MgO	CaO	Na_2O	K_2O	P_2O_5	П.п.п.	Всего
Прикамская свита												
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-109	58.00	0.16	6.32	1.04	0.11	6.84	8.55	1.50	4.89	0.09	12.70	100.20
КБА-110	89.10	0.07	5.04	1.25	0.02	0.55	0.70	–	2.16	0.05	1.10	100.03
КБА-111	56.27	0.39	18.21	1.91	0.02	8.23	0.18	–	10.30	0.05	4.50	100.06
Надеждинская свита												
КБА-82	87.60	0.10	6.69	1.23	0.03	0.29	0.48	–	3.04	0.04	0.70	100.20
КБА-83	80.39	0.29	9.26	3.11	0.02	1.13	0.29	–	4.60	0.07	0.90	100.06
КБА-84	80.00	0.36	9.12	2.95	0.02	1.39	0.33	–	4.58	0.08	1.30	100.13
КБА-85	93.40	0.10	4.08	0.97	0.02	–	0.22	–	0.88	0.03	0.30	100.01
Тукаевская свита												
КБА-86	65.54	0.54	15.00	7.96	0.03	1.44	0.21	–	6.72	0.05	2.40	99.88
КБА-87	94.71	0.08	3.58	1.14	0.02	–	0.16	–	–	0.04	0.30	100.03
КБА-88	94.32	0.09	3.63	1.10	0.02	–	0.24	–	0.41	0.04	0.20	100.05
КБА-89	86.73	0.11	7.16	1.07	0.02	0.65	0.74	–	2.34	0.26	1.00	100.08
КБА-90	92.16	0.06	4.50	0.80	0.02	–	0.31	0.50	1.34	0.06	0.40	100.16
КБА-91	87.00	0.15	7.22	1.38	0.02	0.37	0.20	0.50	2.56	0.06	0.70	100.17
КБА-92	91.81	0.14	5.50	0.82	0.02	–	0.13	0.50	0.46	0.03	0.60	100.02
КБА-93	92.18	0.14	4.11	1.64	0.02	–	0.14	0.50	1.18	0.05	0.10	100.07
КБА-94	91.80	0.06	4.64	1.08	0.02	0.37	0.20	0.77	0.55	0.03	0.60	100.13
КБА-95	96.00	0.31	2.64	0.87	0.02	–	0.13	–	–	0.03	0.10	100.10
КБА-96	94.00	0.06	3.87	0.97	0.02	–	0.13	0.50	–	0.04	0.50	100.09
КБА-97	90.85	0.08	3.82	2.40	0.05	0.23	0.61	0.50	0.57	0.06	0.90	100.06
КБА-98	93.50	0.08	3.95	0.71	0.02	–	0.15	0.50	0.92	0.03	0.30	100.16
КБА-99	94.00	0.09	3.63	0.90	0.02	–	0.16	0.50	0.61	0.07	0.20	100.19
КБА-100	89.50	0.08	5.59	1.40	0.02	–	0.30	0.50	2.10	0.04	0.60	100.14
КБА-101	92.35	0.06	3.68	1.69	0.02	–	0.17	1.21	0.70	0.03	0.20	100.11
КБА-102	92.54	0.13	4.24	1.27	0.02	–	0.15	0.50	0.74	0.05	0.39	100.04
Ольховская свита												
КБА-122	74.00	0.69	10.92	4.96	0.08	1.06	1.48	2.60	2.11	0.15	2.10	100.15
КБА-123	85.10	0.11	9.89	2.24	0.02	–	0.18	–	–	0.05	2.40	100.00

Продолжение табл. 8

Образец	SiO_2	TiO_2	Al_2O_3	$Fe_2O_{3общ}$	MnO	MgO	CaO	Na_2O	K_2O	P_2O_5	П.п.п.	Всего
Усинская свита												
КБА-70	71.00	0.32	18.61	4.42	0.04	0.23	0.21	0.50	–	0.07	4.70	100.11
КБА-71	75.08	0.17	15.57	1.63	0.03	0.48	0.31	–	4.48	0.07	2.50	100.31
КБА-72	82.80	0.12	11.04	2.02	0.02	0.28	0.31	–	1.95	0.05	1.70	100.30
КБА-73	88.36	0.08	6.38	1.11	0.03	–	0.29	0.50	2.97	0.04	0.40	100.15
КБА-74	72.68	0.23	14.85	3.25	0.03	0.83	0.18	–	6.02	0.07	2.10	100.24
КБА-75	81.27	0.37	9.33	2.60	0.02	0.60	0.34	–	3.59	0.24	1.90	100.28
КБА-76	87.76	0.09	6.89	1.22	0.02	0.15	0.33	–	2.15	0.11	1.40	100.12
КБА-77	83.68	0.14	9.04	1.27	0.02	0.22	0.28	–	4.35	0.10	1.20	100.30
КБА-78	89.39	0.08	6.29	1.10	0.02	–	0.22	–	2.67	0.05	0.30	100.12
КБА-79	91.10	0.39	4.27	1.02	0.02	–	0.16	–	0.39	0.04	2.80	100.19
КБА-80	91.48	0.10	5.79	1.47	0.02	–	0.24	–	0.02	0.04	0.90	100.07
КБА-81	90.00	0.08	5.86	1.30	0.02	–	0.26	–	2.32	0.07	0.30	100.20
Леонидовская свита												
КБА-55	95.79	0.07	2.92	0.70	0.02	–	0.18	0.50	–	0.03	0.30	100.50
КБА-56	87.43	0.19	7.67	2.53	0.02	–	0.19	0.50	1.21	0.04	0.90	100.67
КБА-57	94.60	0.06	3.55	1.14	0.02	–	0.15	0.50	–	0.03	0.40	100.45
КБА-58	94.40	0.11	3.83	1.06	0.02	–	0.19	0.50	–	0.03	0.40	100.55
КБА-59	88.68	0.14	7.26	1.80	0.02	–	0.20	–	–	0.05	2.00	100.15
КБА-60	88.17	0.08	8.07	1.25	0.02	–	0.24	0.50	–	0.05	1.70	100.08
КБА-61	94.65	0.07	3.65	0.96	0.02	–	0.24	–	–	0.04	0.40	100.04
КБА-62	72.95	0.42	11.63	4.01	0.10	1.76	0.78	3.80	2.05	0.09	2.30	99.90
КБА-63	85.53	0.14	9.69	1.69	0.02	–	0.27	0.50	–	0.05	2.20	100.09
КБА-64	86.82	0.10	8.33	1.25	0.02	–	0.23	0.50	1.19	0.05	1.60	100.08
КБА-65	94.00	0.09	4.02	1.08	0.02	–	0.20	–	–	0.04	0.70	100.15
КБА-66	92.40	0.08	5.36	1.22	0.02	–	0.17	–	–	0.04	0.70	99.99
КБА-67	86.21	0.19	7.36	0.91	0.02	0.24	0.25	0.50	3.30	0.11	0.90	99.99
КБА-68	69.12	0.59	13.35	5.38	0.08	2.21	0.62	3.20	2.70	0.14	2.60	99.98
КБА-69	88.10	0.10	8.62	1.19	0.02	–	0.24	–	–	0.04	1.70	100.00
Приютовская свита												
КБА-112	81.69	0.21	9.76	1.82	0.02	1.26	0.26	0.50	3.04	0.07	1.40	100.04
КБА-113	80.92	0.15	6.08	2.01	0.19	1.71	2.81	0.50	1.63	0.10	4.00	100.10
КБА-114	93.70	0.09	3.85	0.90	0.03	–	0.16	–	1.09	0.03	0.20	100.06
КБА-115	74.00	0.15	6.50	1.35	0.12	4.73	3.68	1.57	2.00	0.07	6.00	100.16
КБА-116	92.30	0.23	4.62	0.88	0.02	–	0.14	1.00	0.48	0.04	0.40	100.10
КБА-117	94.00	0.20	3.88	0.79	0.02	–	0.13	0.50	0.27	0.03	0.40	100.23

Продолжение табл. 8

Образец	SiO_2	TiO_2	Al_2O_3	$Fe_2O_{3общ}$	MnO	MgO	CaO	Na_2O	K_2O	P_2O_5	П.п.п.	Всего
КБА-118	70.60	0.42	14.63	2.63	0.03	3.04	0.44	0.50	4.40	0.11	3.20	100.00
КБА-119	76.50	0.21	11.29	2.47	0.03	0.95	0.43	0.90	5.60	0.09	1.70	100.16
КБА-120	59.42	0.31	9.87	4.33	0.10	6.42	4.69	1.80	3.68	0.09	9.30	100.02
КБА-121	80.81	0.21	10.20	3.00	0.02	0.93	0.16	0.50	2.10	0.04	2.20	100.18
Байкибашевская свита												
КБА-44	78.55	0.25	10.49	2.36	0.04	1.82	0.52	2.00	1.71	0.03	1.70	99.47
КБА-45	74.07	0.35	12.04	5.77	0.03	1.33	0.26	1.30	1.93	0.07	2.80	99.94
КБА-46	76.32	0.32	11.10	4.27	0.05	2.33	0.39	1.60	1.51	0.04	1.70	99.63
КБА-47	76.53	0.53	10.27	4.55	0.05	1.96	0.37	2.40	1.68	0.03	1.60	99.98
КБА-48	78.92	0.29	8.96	3.96	0.06	1.76	0.87	1.30	1.40	0.07	2.12	99.70
КБА-49	78.92	0.30	9.27	3.41	0.07	1.80	0.98	1.70	1.50	0.04	2.00	99.99
КБА-50	79.39	0.25	8.60	3.72	0.07	1.85	0.90	1.70	1.31	0.05	2.20	100.04
КБА-51	76.31	0.26	11.84	3.89	0.05	2.17	0.33	1.40	1.82	0.04	1.80	99.90
КБА-52	77.29	0.33	10.21	3.90	0.06	1.88	0.55	2.50	1.52	0.04	1.70	99.99
КБА-53	90.30	0.11	6.52	1.35	0.02	–	0.20	0.50	–	0.05	1.50	100.55
КБА-54	78.81	0.25	14.99	2.06	0.02	–	0.24	0.50	0.13	0.04	3.80	100.84
Старопетровская свита												
КБА-12	79.50	0.24	9.14	4.35	0.08	1.41	0.58	1.70	1.41	0.11	1.60	100.12
КБА-14	73.34	0.21	9.32	2.92	0.15	0.81	5.16	2.60	0.68	0.06	4.90	100.15
КБА-15	66.98	0.31	11.57	7.51	0.17	1.76	3.51	1.10	2.10	0.06	4.60	99.66
КБА-16	78.29	0.24	9.56	3.47	0.08	1.22	1.08	2.80	1.35	0.06	1.90	100.06
КБА-17	74.00	0.39	11.22	4.68	0.10	2.70	0.44	2.40	1.87	0.08	2.10	99.96
КБА-18	79.40	0.24	8.99	4.13	0.08	1.34	0.53	2.40	1.25	0.06	1.60	100.02
КБА-19	74.01	0.28	11.32	3.97	0.07	2.08	1.00	3.70	1.60	0.03	1.80	99.87
КБА-20	70.24	0.59	13.12	5.43	0.11	2.62	0.48	2.60	2.67	0.11	2.20	100.16
КБА-21	69.06	0.47	9.05	5.03	0.37	2.67	3.56	1.50	2.49	0.08	5.80	100.07
Салиховская свита												
КБА-22	74.80	0.47	11.61	3.08	0.09	1.57	0.76	3.50	2.33	0.10	1.90	100.21
КБА-23	74.31	0.43	11.57	4.24	0.10	1.26	0.66	4.00	2.01	0.08	1.50	100.17
КБА-24	73.76	0.50	11.51	4.98	0.13	1.73	0.59	3.20	1.89	0.09	1.70	100.08
КБА-25	76.04	0.37	11.87	4.28	0.06	1.43	0.29	1.70	2.32	0.06	1.70	100.13
КБА-26	73.51	0.50	12.41	4.30	0.07	1.41	1.06	2.40	2.00	0.06	2.30	100.03
КБА-27	65.03	0.50	17.36	3.85	0.05	2.19	1.00	2.20	4.31	0.06	3.60	100.16
КБА-28	78.05	0.29	10.89	2.32	0.06	0.68	0.72	4.40	1.84	0.07	0.90	100.23
КБА-29	66.28	0.68	15.03	5.76	0.12	2.69	0.84	1.70	3.70	0.18	3.10	100.08
КБА-30	75.73	0.38	10.43	5.17	0.07	1.75	0.80	2.30	1.54	0.08	1.80	100.06

Окончание табл. 8

Образец	SiO_2	TiO_2	Al_2O_3	$Fe_2O_{3общ}$	MnO	MgO	CaO	Na_2O	K_2O	P_2O_5	П.п.п.	Всего
Салиховская свита												
КБА-31	66.70	0.68	13.79	6.87	0.12	3.20	0.66	1.50	3.09	0.12	3.00	99.74
КБА-32	74.74	0.41	10.94	4.67	0.12	1.51	1.58	2.40	1.67	0.09	1.90	100.02
КБА-33	80.00	0.35	8.89	4.19	0.06	1.53	0.31	2.10	1.35	0.07	1.40	100.24
КБА-34	75.41	0.43	11.26	3.57	0.08	1.42	0.93	3.00	1.75	0.05	2.10	100.00
КБА-35	75.73	0.39	10.55	4.21	0.13	1.44	1.28	2.60	1.72	0.07	2.10	100.23
КБА-36	73.89	0.36	11.74	3.61	0.10	1.68	0.82	3.90	2.10	0.08	1.70	99.98
КБА-37	63.97	0.66	15.75	6.03	0.13	3.42	0.99	1.40	3.73	0.16	3.30	99.55
КБА-38	73.02	0.73	11.66	5.19	0.11	1.60	1.03	2.70	2.00	0.09	2.10	100.22
КБА-39	75.00	0.31	11.77	3.54	0.07	1.32	0.59	3.70	2.57	0.07	1.40	100.35
КБА-40	87.38	0.28	5.87	2.55	0.05	0.63	0.40	1.40	0.62	0.03	0.90	100.12
КБА-41	87.50	0.31	5.94	2.35	0.04	0.38	0.39	1.50	0.68	0.04	0.90	100.03
КБА-42	74.68	0.35	11.28	3.66	0.07	1.05	1.00	4.30	1.91	0.09	1.70	100.08
КБА-43	71.62	0.46	12.95	4.93	0.10	1.98	0.35	3.20	2.38	0.08	1.80	99.85
Карлинская свита												
КБА-1	70.48	0.68	13.25	4.65	0.09	2.21	0.95	2.00	2.87	0.19	2.60	99.96
КБА-2	76.94	0.47	10.66	3.46	0.10	1.61	1.02	2.40	1.72	0.12	1.50	100.01
КБА-3	78.00	0.37	9.81	3.59	0.10	1.71	0.38	3.20	1.49	0.09	1.20	99.93
КБА-4	69.71	0.70	12.80	5.90	0.12	3.75	0.76	1.10	1.88	0.16	2.60	99.48
КБА-5	69.89	0.69	11.58	7.00	0.09	3.13	2.10	0.90	0.67	0.05	3.50	99.59
КБА-6	73.00	0.54	10.39	4.20	0.13	1.78	2.49	2.80	1.68	0.12	2.90	100.04
КБА-7	82.09	0.25	7.39	3.11	0.05	1.01	0.83	3.30	0.71	0.05	1.40	100.19
КБА-8	66.77	0.77	14.15	6.47	0.12	2.63	0.90	2.30	2.73	0.08	2.80	99.72
КБА-9	88.00	0.15	6.16	1.88	0.04	0.26	0.48	1.50	0.95	0.05	0.80	100.27
КБА-10	66.00	0.70	14.87	5.42	0.10	2.43	0.82	2.70	3.83	0.13	2.80	99.79
КБА-11	77.04	0.43	10.82	3.50	0.05	1.37	0.98	1.50	1.87	0.09	2.60	100.26

Примечание. Прочерк – содержание оксида не определялось.

Таблица 9

Медианное содержание породообразующих оксидов и значения их индикаторных отношений в песчаниках верхнего докембрия Волго-Уральской области, мас. %

Компоненты и их соотношения	Свита									
	Прикамская	Надеждинская	Тукаевская	Усинская	Леонидовская	Приютовская	Байкибашевская	Старопетровская	Салиховская	Карлинская
SiO_2	87.00 56.27–89.20	84.00 80.00–93.40	92.18 65.54–96.00	85.72 71.00–91.48	88.17 69.12–95.79	80.87 59.42–94.00	78.55 74.07–90.30	74.00 66.98–79.50	74.74 63.97–87.50	73.00 66.00–88.00
TiO_2	0.14 0.07–0.39	0.19 0.10–0.36	0.09 0.06–0.54	0.13 0.08–0.39	0.10 0.06–0.59	0.21 0.09–0.42	0.29 0.11–0.53	0.28 0.21–0.59	0.43 0.28–0.73	0.54 0.15–0.77
Al_2O_3	6.32 5.04–18.21	7.90 4.08–9.26	4.11 2.64–15.00	7.96 4.27–18.61	7.36 2.92–13.35	8.13 3.85–14.63	10.27 6.52–14.99	9.56 8.99–13.12	11.57 5.87–17.36	10.82 6.16–14.87
$Fe_2O_{3общ}$	1.04 0.86–1.91	2.09 0.97–3.11	1.10 0.71–7.96	1.38 1.02–4.42	1.22 0.70–5.38	1.91 0.79–4.33	3.89 1.35–5.77	4.35 2.92–7.51	4.21 2.32–6.87	4.20 1.88–7.00
MgO	3.69 0.22–8.23	1.13 0.29–1.39	0.37 0.23–1.44	0.28 0.15–0.83	1.76 0.24–2.21	1.71 0.93–6.42	1.85 1.33–2.33	1.76 0.81–2.70	1.51 0.38–3.42	1.78 0.26–3.75
CaO	0.29 0.18–8.55	0.31 0.22–0.48	0.17 0.13–0.74	0.27 0.16–0.34	0.23 0.15–0.78	0.34 0.13–4.69	0.39 0.20–0.98	1.00 0.44–5.16	0.76 0.29–1.58	0.90 0.38–2.49
Na_2O	0.50 0.50–1.50	0.93 0.80–1.20	0.50 0.50–1.21	0.50 0.50–0.50	0.50 0.50–3.80	0.50 0.50–1.80	1.60 0.50–2.50	2.40 1.10–3.70	2.40 1.40–4.40	2.30 0.90–3.30
K_2O	3.11 2.16–10.30	3.81 0.88–4.60	0.83 0.41–6.72	2.67 0.02–6.02	2.05 1.19–3.30	2.05 0.27–5.60	1.51 0.13–1.93	1.60 0.68–2.67	2.00 0.62–4.31	1.72 0.67–3.83
Al_2O_3/SiO_2	0.07 0.06–0.08	0.10 0.04–0.12	0.05 0.04–0.08	0.09 0.05–0.21	0.09 0.03–0.19	0.12 0.04–0.21	0.13 0.11–0.19	0.15 0.11–0.19	0.16 0.07–0.27	0.17 0.07–0.23
TiO_2/Al_2O_3	0.016 0.013–0.020	0.028 0.015–0.039	0.020 0.014–0.034	0.014 0.011–0.091	0.019 0.010–0.044	0.024 0.018–0.052	0.029 0.016–0.052	0.026 0.025–0.045	0.039 0.027–0.063	0.047 0.025–0.060
Na_2O/K_2O	0.18 0.16–0.20	–	0.67 0.20–1.73	0.19 0.10–1.01	0.42 0.15–1.85	0.20 0.11–2.07	1.15 0.67–3.83	1.29 0.52–2.31	1.49 0.37–2.25	0.84 0.59–2.15
K_2O/Al_2O_3	0.43 0.39–0.46	0.48 0.22–0.50	0.19 0.08–0.38	0.39 0.09–0.48	0.18 0.14–0.45	0.28 0.07–0.50	0.15 0.01–0.16	0.15 0.14–0.20	0.17 0.11–0.25	0.16 0.06–0.26
ГМ	0.08 0.07–0.09	0.12 0.06–0.16	0.06 0.05–0.10	0.11 0.06–0.25	0.10 0.04–0.28	0.14 0.05–0.25	0.19 0.16–0.25	0.21 0.17–0.29	0.22 0.10–0.35	0.26 0.09–0.32
CIA	59 58–62	62 62–75	65 55–80	64 58–77	77 54–95	70 58–75	63 59–91	59 52–63	60 54–67	62 56–71
n	5	4	17	12	15	10	11	9	23	11

Примечание. В числителе – медианное значение; в знаменателе – минимальное и максимальное значения; n – количество изученных образцов. Данные по ольховской свите не приведены, так как в нашем распоряжении имеются сведения о составе лишь двух образцов этого уровня; прочерк – нет данных.

ГМ – гидролизатный модуль; CIA – химический индекс изменения.

леонидовской и приютовской свит, минимальное наблюдается в песчаниках прикамского, старопетровского и салиховского уровней.

На диаграмме $\log(Na_2O/K_2O)$–$\log(SiO_2/Al_2O_3)$ Ф.Дж. Петтиджона с соавторами (1976) точки составов песчаников верхнего докембрия Волго-Уральской области локализованы достаточно широко, но практически не встречаются в полях граувакк и кварцевых аренитов (рис. 27, *а*). Для сравнения на рис. 27, *в*, приведено положение на этой же диаграмме точек составов песчаников рифея и венда Башкирского мегантиклинория (данные Э.З. Гареева). Последние, как можно видеть, также почти отсутствуют в поле граувакк, но в существенной мере представлены в поле кварцевых аренитов. Учитывая, что на представленной диаграмме нет значительной части фигуративных точек псаммитов с $\log(Na_2O/K_2O)$ меньше –1.0 и $\log(SiO_2/Al_2O_3)$ больше 2.0, вполне очевиден вывод о более широком литохимическом разнообразии песчаников типового разреза рифея по сравнению с песчаниками рифея и венда Камско-Бельского авлакогена и Шкаповско-Шиханской впадины. Возможно, это обусловлено большим разнообразием процессов, контролировавших формирование их состава. Такой же вывод следует и из рассмотрения положения точек песчаников типа рифея на диаграмме $\log(SiO_2/Al_2O_3)$–$\log(Fe_2O_3/K_2O)$ (Herron, 1988) (см. рис. 27, *г*).

Точки песчаников рифея и венда Волго-Уральской области на диаграмме М. Хиррона (см. рис. 27, *б*) достаточно равномерно распределены в полях аркозов, литаренитов, сублитаренитов и субаркозов. Даже точки песчаников леонидовского уровня расположены почти во всех перечисленных классификационных полях, что вызвано присутствием в них значительного количества каолинитового цемента (преобразованные процессами выветривания или внутрислойными трансформациями зерна кластогенных калиевых полевых шпатов (?). Как и на диаграмме $\log(Na_2O/K_2O)$–$\log(SiO_2/Al_2O_3)$, здесь также нет точек, соответствующих кварцевым аренитам.

Нормирование на состав среднего протерозойского кратонного песчаника (СПКП) (Condie, 1993) показывает, что в песчаниках прикамской свиты в устойчиво большем, чем в СПКП, количестве присутствуют оксиды алюминия (максимальное значение соотношения $Al_2O_{3обр}/Al_2O_{3СПКП}$ равно 4.70, минимальное – 1.30), калия и фосфора, тогда как содержание оксидов титана, железа, магния, кальция (максимальное значение соотношения $CaO_{обр}/CaO_{СПКП}$ составляет ~19.00, минимальное – 0.39) и натрия в значительной степени варьируется (рис. 28, *а*). В песчаниках надеждинской свиты содержание подавляющего числа оксидов как больше, так и меньше, чем в СПКП (см. рис. 28, *б*). Подобным же химическим составом характеризуются и песчаники тукаевской свиты: содержание в них оксидов титана, железа и кальция в подавляющем количестве образцов меньше, чем в СПКП, тогда как содержание остальных оксидов в той или иной мере варьируется (см. рис. 28, *в*). Песчаники ольховской свиты (обр. КБА-122) имеют повышенную (относительно СПКП) концентрацию Al_2O_3, MgO, CaO, Na_2O, K_2O и P_2O_5 (см. рис. 28, *г*).

Почти во всех образцах песчаников усинской свиты верхнего рифея содержание оксидов алюминия, калия и фосфора выше, чем в СПКП (рис. 29, *а*). Оксиды титана, железа и магния присутствуют в них как в большем, так и в меньшем количестве, нежели в среднем протерозойском кратонном песчанике, а содержание оксида кальция во всех проанализированных нами образцах

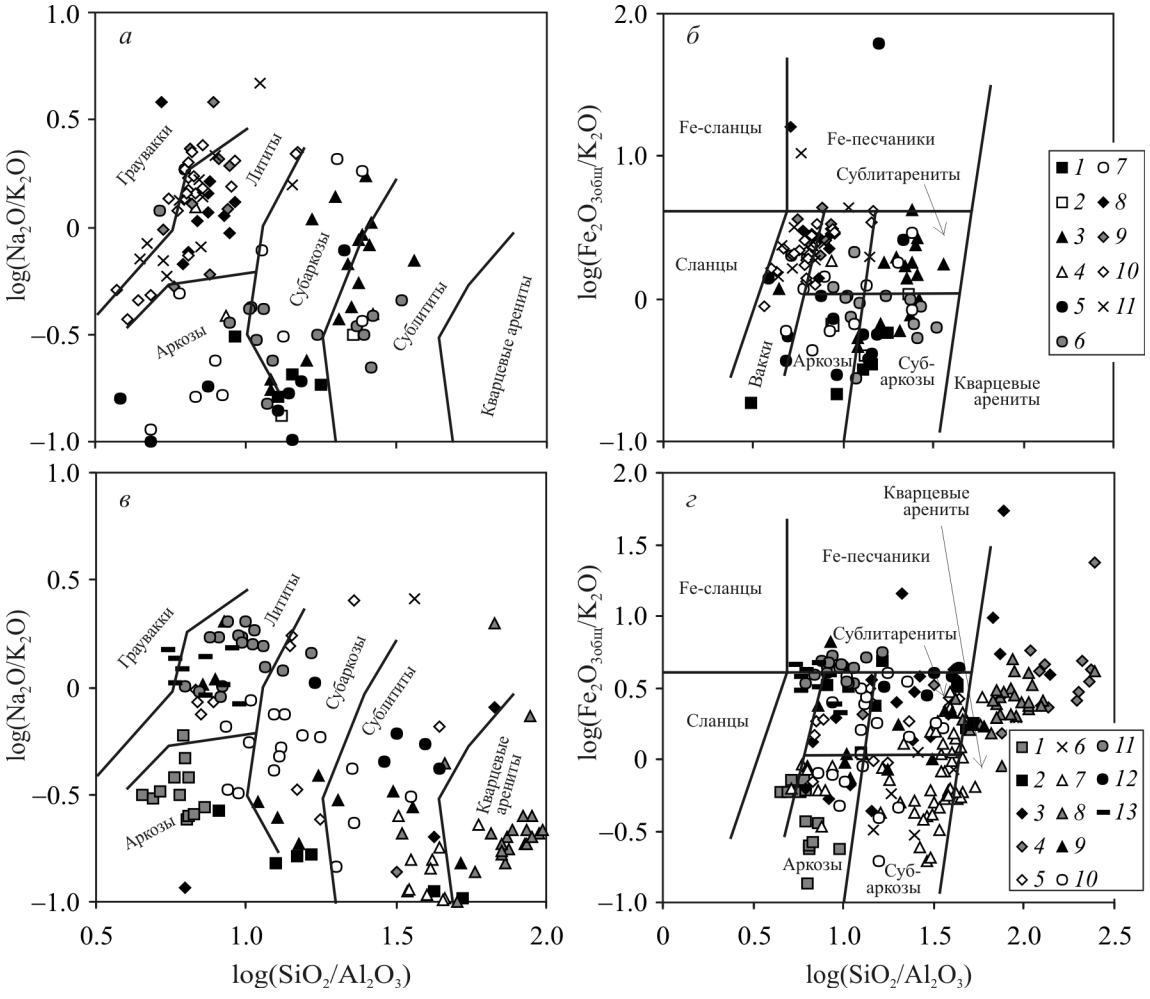


Рис. 27. Положение точек химических составов песчаников рифея и венда Волго-Уральской области (*а*, *б*) и верхнего докембрия западного склона Южного Урала (*в*, *г*) на классификационных диаграммах Ф.Дж. Петтиджона с соавторами и М. Хиррона.

Свиты: *а*, *б*: *1* – прикамская; *2* – надеждинская; *3* – тукаевская; *4* – ольховская; *5* – усинская; *6* – леонидовская; *7* – приютовская; *8* – байкибашевская; *9* – старопетровская; *10* – салиховская; *11* – карлинская.

Свиты: *в*, *г*: *1* – айская; *2* – юшинская; *3* – машакская; *4* – зигальгинская; *5* – зигазино-комаровская; *6* – авзянская; *7* – бирьянская подсвита зильмердакской свиты; *8* – лемезинская подсвита той же свиты; *9* – бедерышинская подсвита той же свиты; *10* – инзерская; *11* – басинская; *12* – кук-караукская; *13* – зиганская

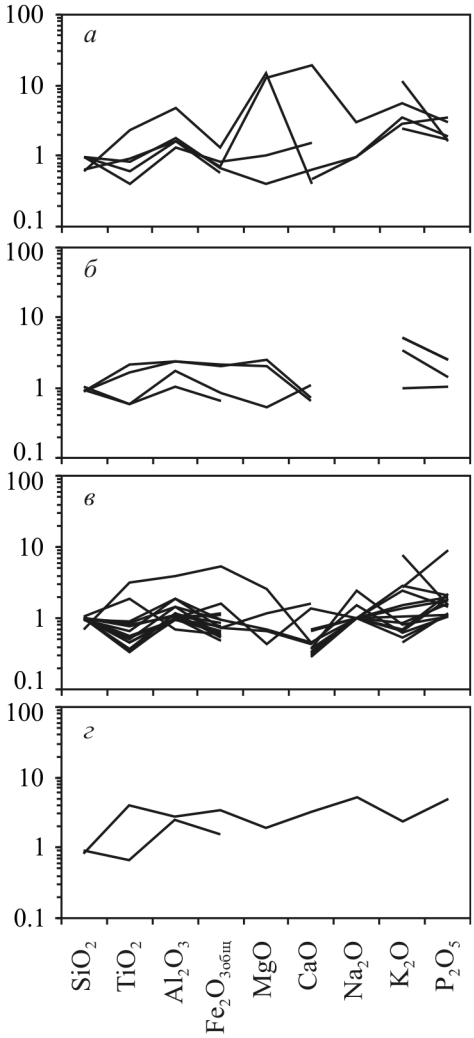


Рис. 28. Нормированное на СПКП содержание основных породообразующих оксидов в песчаниках прикамской (*а*), надеждинской (*б*), тукаевской (*в*) и ольховской (*г*) свит нижнего и среднего рифея Камско-Бельского авлакогена

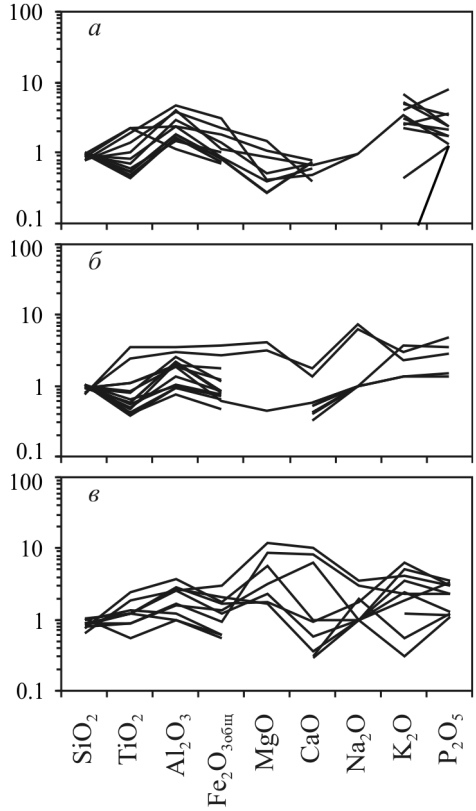


Рис. 29. Нормированное на СПКП содержание основных породообразующих оксидов в песчаниках усинской (*а*), леонидовской (*б*) и приютовской (*в*) свит верхнего рифея Камско-Бельского авлакогена

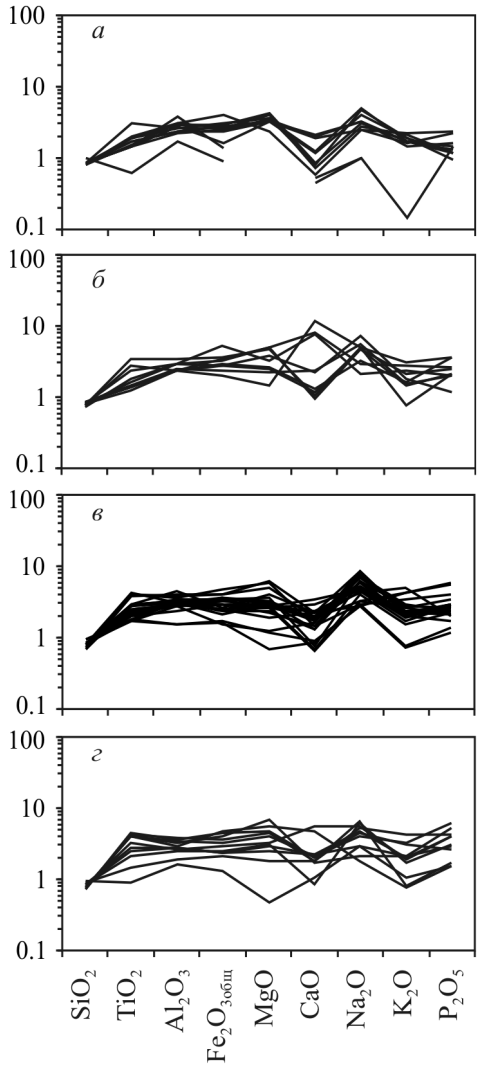


Рис. 30. Нормированное на СПКП содержание основных породообразующих оксидов в песчаниках байкибашевской (*а*), старопетровской (*б*), салиховской (*в*) и карлинской (*г*) свит верхнего венда Шкаповско-Шиханской впадины

меньше, чем в СПКП. В большинстве изученных образцов песчаников леонидовской свиты наблюдается повышенная (по сравнению с СПКП) концентрация Al_2O_3, Na_2O, K_2O и P_2O_5 (см. рис. 29, *б*). Псаммиты приютовской свиты имеют во всех образцах более высокую, чем в СПКП, концентрацию оксидов магния и фосфора; для большинства образцов характерно также в той или иной мере повышенное (относительно СПКП) содержание Al_2O_3 и Na_2O (см. рис. 29, *в*).

Песчаники байкибашевской свиты отличаются более высоким, чем в СПКП (во всех или в подавляющей части проанализированных образцов), содержанием оксидов титана, алюминия, железа, магния, натрия, калия и фосфора (рис. 30, *а*). Это же присуще псаммитам старопетровской и карлинской свит (см. рис. 30, *б*, *г*). Несколько менее широкий спектр оксидов, содержание которых в песчаниках выше, чем в СПКП, характерен для салиховского уровня (см. рис. 30, *в*).

4.2. ТОНКОЗЕРНИСТЫЕ ОБЛОМОЧНЫЕ ПОРОДЫ

Уже отмечалось (Маслов, 2005), что исследования середины 1960-х гг., направленные на разработку приемов реконструкции первичного состава метаморфических пород, потребовали систематизации данных и о составе неметаморфизованных осадочных образований. В это время стало ясно, что знание химического состава любой осадочной породы является весьма мощным инструментом познания в руках исследователя. Примерно тогда же появились и все более или менее успешные химические классификации осадочных пород (В.М. Гольшмидт, К. Ранкама, Б. Мейсон, Х. Делярош и М. Рубо, А.А. Маракушев, А. Симонен, А.А. Предовский, А.Н. Неелов, Л.В. Пустовалов, Ю.П. Казанский, Я.Э. Юдович и М.П. Кетрис и др.). Не останавливаясь

на характеристике каждой из работ перечисленных выше авторов, отметим следующее.

А.Б. Ронов и З.В. Хлебникова (1961) для классификации глин предложили треугольную диаграмму (Al_2O_3+TiO_2)–(Na_2O+CaO+MgO+MnO+FeO+ +Fe_2O_3+п.п.п.)–(SiO_2+K_2O) с полями 1) континентальных глин холодного и умеренно холодного климата, 2) континентальных глин тропического пояса и 3) морских глин и глин засолоненных лагун и озер аридной зоны. Глины континентальных водоемов холодного и умеренно холодного климата наиболее близки по своему составу к магматическим породам, за счет которых они образовались. Для них типичны достаточно высокое содержание SiO_2, Na_2O, K_2O и пониженная концентрация Al_2O_3 и TiO_2. Континентальные глины тропического пояса имеют высокое содержание Al_2O_3 и TiO_2 при пониженной концентрации основной части других породообразующих компонентов. Состав глин данного типа значительно отличается от среднего состава большинства магматических пород. Глины третьей группы, также, как и первой, формировались в условиях в значительной мере подавленного химического выветривания.

Систематика глинистых пород В.К. Головенка (1977) основана на применении треугольных диаграмм SiO_2–(Al_2O_3+TiO_2+ ΣFeO+MnO)–(K_2O+Na_2O+ +MgO+CaO) и Al_2O_3–K_2O–MgO (соответственно, это диаграммы SAK и AKM). На первой из них поля основных групп глин достаточно хорошо отграничены друг от друга, однако большинство природных гидрослюдистых глин, содержащих обломочные примеси, располагаются в поле монтмориллонитовых глин, и на данной диаграмме различить эти разновидности невозможно. На диаграмме AKM, напротив, поля всех глин расположены изолированно; четче вырисовываются на ней и глины переходных типов.

Я.Э. Юдович и М.П. Кетрис (2000) для классификации глинистых пород использовали диаграмму НКМ–ФМ, на которой выделено шесть полей. Поле I отвечает составам глинистых пород, в которых доминирует каолинит. Поле II соответствует породам с преобладанием монтмориллонита и подчиненным количеством каолинита и гидрослюды. В поле III попадают глинистые породы, в составе которых доминирует хлорит, а в виде примеси может присутствовать Fe-гидрослюда. Поле IV отвечает глинистым породам преимущественно гидрослюдистого состава, имеющим значительную примесь тонкозернистых обломков полевых шпатов. В поле V локализованы составы глинистых пород, образованных хлоритом, монтмориллонитом и гидрослюдой, а в поле VI преобладают гидрослюдистые глинистые породы с какой-либо примесью тонкодисперсного полевого шпата.

Еще одна диаграмма, позволяющая классифицировать глинистые породы, – это диаграмма ТМ–TiO_2 (Юдович, Кетрис, 2000). Наиболее высокое содержание TiO_2 и высокое значение ТМ позволяют выделить на ней поле каолинитовых глин; минимальное значение указанных параметров присуще глинам монтмориллонитового состава, а гидрослюдистые и гидрослюдисто-хлоритовые глины занимают на данной диаграмме промежуточное между глинами первых двух типов положение.

Для характеристики химического состава тонкозернистых обломочных пород верхнего докембрия Камско-Бельского авлакогена и Шкаповско-Шиханской впадины нами использованы сведения о содержании основных породооб-

разующих оксидов в почти 80 образцах аргиллитов, алевритистых аргиллитов и глинистых сланцев (табл. 10).

Медианное содержание петрогенных оксидов и ряд статистических параметров для всей проанализированной нами выборки образцов глинистых сланцев, алевритистых аргиллитов и аргиллитов рифея приведены в табл. 11. Анализ информации, представленной в ней, свидетельствует, что по химическому составу ТОП рифея Камско-Бельского авлакогена наиболее близки к гидрослюдистым глинам. Медианное содержание SiO_2 в них составляет 58.51%, Al_2O_3 –18.47, TiO_2 – 0.63%. В то же время, как и для большинства других ТОП позднего докембрия (Юдович, Кетрис, 2000), этой выборке присуще весьма значительное медианное содержание оксида калия – 7.78%.

Обратившись к рассмотрению ряда статистических параметров химического состава тонкозернистых обломочных пород рифея Камско-Бельского авлакогена по свитам (см. табл. 11), видим, что максимальное медианное содержание оксида кремния характерно для глинистых сланцев и алевритистых аргиллитов прикамской свиты нижнего рифея (60.83%), а минимальное (54.64%) – для аналогичных по гранулометрическому составу пород усинского уровня верхнего рифея. Максимальное медианное содержание оксида алюминия (18.93%) присуще глинистым сланцам и аргиллитам тукаевской свиты среднего рифея, а минимальное (16.03%) характерно для аргиллитов приютовской свиты верхнего рифея. Снизу вверх по разрезу рифея Камско-Бельского авлакогена в интервале от прикамской свиты до усинской в ТОП нарастает медианное содержание оксида калия (от 5.62 до 9.16%). Медианное значение ГМ варьируется от 0.35 (приютовская свита) до 0.50 (тукаевская свита), по данному параметру изучаемые глинистые породы принадлежат к нормо- и суперсиаллитам, в соответствии с классификацией Я.Э. Юдовича и М.П. Кетрис (2000). Максимальное медианное значение CIA характерно для ТОП прикамской свиты (68) и арланской подсвиты калтасинской свиты (70) нижнего рифея, минимальное – для аргиллитов приютовской свиты верхнего рифея (53). Глинистые сланцы, аргиллиты и алевритистые аргиллиты надеждинской, тукаевской, ольховской и усинской свит характеризуются значениями CIA в пределах 59–65, что указывает на относительно слабую преобразованность исходного алюмосиликокластического материала в областях мобилизации тонкой кластики.

На диаграмме М. Хиррона (Herron, 1988) $\log(SiO_2/Al_2O_3)$–$\log(Fe_2O_{3общ}/K_2O)$ фигуративные точки составов анализируемых пород рифея и венда весьма компактно локализованы в поле глинистых сланцев и только небольшая их часть попадает в поле вакк (рис. 31, *а*; 32, *а*). Это свидетельствует, что имеющийся в нашем распоряжении банк данных представителен именно для ТОП и рассматриваемые далее особенности входящих в него индивидуальных образцов корректно характеризуют те закономерности, что присущи подобного рода образованиям.

На классификационной диаграмме НКМ[13]–ФМ фигуративные точки составов ТОП рифея Камско-Бельского авлакогена локализованы преимущественно

---

[13]Здесь и далее мы используем ряд модулей, значения которых рассчитываются по следующим формулам: НКМ = $(Na_2O+K_2O)/Al_2O_3$; ФМ = $(Fe_2O_3+FeO+MnO+MgO)/SiO_2$; ТМ = = TiO_2/Al_2O_3; ЖМ = $(Fe_2O_3+FeO+MnO)/(TiO_2+Al_2O_3)$ (Юдович, Кетрис, 2000).

Таблица 10

Содержание основных породообразующих оксидов в индивидуальных образцах ТОП верхнего докембрия Волго-Уральской области, мас. %

Образец	SiO_2	TiO_2	Al_2O_3	$Fe_2O_{3общ}$	MnO	MgO	CaO	Na_2O	K_2O	P_2O_5	П.п.п.	Всего
Прикамская свита												
ПБ-51	60.88	0.61	16.86	6.56	0.04	2.08	0.30	1.20	8.66	0.10	3.00	100.29
ПБ-17	65.09	0.43	14.85	5.84	0.02	3.17	0.30	1.20	6.82	0.10	2.40	100.23
ПБ-22	61.00	0.66	17.67	4.70	0.03	3.11	0.30	0.70	8.92	0.10	3.20	100.38
ПБ-16	58.69	0.68	17.35	5.94	0.03	3.13	0.30	1.30	9.12	0.10	3.40	100.05
ПБ-47	58.39	0.73	17.53	5.70	0.03	2.98	0.30	0.70	9.30	0.09	4.40	100.15
ПБ-18	64.04	0.57	14.98	5.76	0.02	2.43	0.30	1.10	8.73	0.09	2.30	100.33
ПБ-37	59.90	0.75	19.63	7.80	0.03	2.29	0.30	0.70	4.87	0.06	3.90	100.24
ПБ-50	60.78	0.63	18.11	6.11	0.12	2.31	0.83	1.00	4.64	0.17	4.40	99.10
ПБ-43	61.29	0.64	18.78	5.84	0.10	2.10	0.68	0.60	4.73	0.16	4.80	99.73
ПБ-15	60.39	0.67	19.21	6.38	0.06	2.26	0.30	0.50	4.98	0.12	5.60	100.47
ПБ-21	59.69	0.66	18.63	7.73	0.03	2.33	0.30	0.80	5.06	0.08	4.90	100.21
ПБ-23	63.52	0.64	18.47	4.44	0.04	2.19	0.30	1.20	4.94	0.07	4.10	99.91
ПБ-27	64.04	0.59	17.92	5.09	0.05	2.59	0.30	1.10	4.50	0.06	3.50	99.75
ПБ-24	56.69	0.72	19.72	8.56	0.04	2.04	0.30	1.10	7.04	0.10	3.80	100.11
ПБ-25	60.06	0.70	18.75	7.30	0.03	1.97	0.30	1.10	6.18	0.08	3.40	99.87
ПБ-26	62.44	0.75	18.70	5.02	0.05	2.43	0.30	0.90	4.63	0.08	3.80	99.10
Калтасинская свита												
ПБ-35	59.48	0.65	18.50	6.78	0.03	3.18	0.30	0.90	5.39	0.09	4.50	99.80
ПБ-38	58.51	0.73	19.20	6.76	0.04	2.72	0.30	0.60	6.32	0.09	4.70	99.98
ПБ-36	57.61	0.68	19.54	7.10	0.04	2.69	0.30	0.60	6.60	0.09	5.00	100.25
ПБ-34	64.63	0.66	17.52	5.11	0.03	2.34	0.30	0.80	4.90	0.13	3.40	99.83
Надеждинская свита												
ПБ-1	57.97	0.65	19.34	5.46	0.03	3.14	0.30	1.90	6.74	0.19	3.90	99.62
ПБ-49	56.10	0.64	19.49	3.97	0.05	3.62	0.30	1.50	10.26	0.17	4.10	100.19
ПБ-53	58.03	0.42	12.26	4.69	0.24	5.34	2.70	1.60	8.18	0.15	6.00	99.61
ПБ-42	44.53	0.52	14.36	14.70	0.56	4.19	0.30	0.60	5.57	0.09	15.50	100.93
Тукаевская свита												
ПБ-14	61.42	0.58	18.98	4.43	0.02	2.58	0.30	0.60	7.50	0.06	3.90	100.37
ПБ-3	51.55	0.62	16.19	14.19	0.02	2.59	1.10	1.70	7.17	0.73	4.00	99.87
ПБ-40	54.24	0.63	18.88	9.98	0.02	2.44	0.30	0.50	8.03	0.14	4.70	99.85
ПБ-39	57.24	0.69	20.03	5.27	0.02	2.89	0.49	0.80	7.93	0.30	4.10	99.76

Продолжение табл. 10

Образец	SiO_2	TiO_2	Al_2O_3	$Fe_2O_{3общ}$	MnO	MgO	CaO	Na_2O	K_2O	P_2O_5	П.п.п.	Всего
Ольховская свита												
ПБ-33	57.57	0.54	16.80	7.99	0.03	3.06	0.30	0.60	8.92	0.13	3.90	99.83
ПБ-2	59.26	0.55	15.37	8.05	0.03	3.53	0.30	1.80	7.05	0.15	4.30	100.39
ПБ-5	55.20	0.47	13.74	6.47	0.05	4.63	3.76	0.70	7.12	0.18	8.60	100.92
ПБ-4	61.14	0.59	18.47	3.87	0.02	2.33	0.30	1.80	7.39	0.07	4.30	100.26
ПБ-13	56.86	0.61	20.24	4.44	0.03	2.41	0.30	1.80	8.12	0.06	5.20	100.07
ПБ-44	52.53	0.73	19.79	6.86	0.04	3.58	0.30	0.70	10.81	0.16	4.60	100.09
ПБ-28	54.57	0.77	21.00	7.90	0.03	2.18	0.30	1.20	8.70	0.07	3.20	99.92
ПБ-30	52.13	0.44	13.78	5.53	0.06	5.23	5.03	0.40	8.41	0.17	9.80	100.99
ПБ-12	56.38	0.61	17.88	7.54	0.03	2.62	0.30	1.50	8.55	0.15	4.20	99.75
ПБ-11	60.70	0.59	17.89	4.56	0.02	2.49	0.30	1.20	8.27	0.09	4.10	100.21
ПБ-8	60.98	0.58	16.85	7.46	0.03	2.18	0.30	0.50	7.76	0.10	3.80	100.52
ПБ-29	60.14	0.63	18.61	4.87	0.03	2.45	0.30	1.30	8.57	0.09	3.40	100.38
Усинская свита												
ПБ-52	52.98	0.78	21.09	4.87	0.06	3.46	0.30	1.60	10.15	0.13	4.70	100.13
ПБ-20	52.14	0.48	14.58	5.49	0.24	6.63	4.05	0.50	7.04	0.16	9.40	100.72
ПБ-41	56.42	0.74	20.77	3.61	0.04	3.19	0.30	0.50	10.09	0.17	4.60	100.44
ПБ-19	56.30	0.61	16.41	6.65	0.13	4.56	0.78	0.70	8.23	0.15	4.80	99.32
Приютовская свита												
ПБ-32	55.37	0.44	13.94	4.82	0.06	5.24	3.87	0.80	7.78	0.12	6.80	99.23
ПБ-9	62.96	0.57	17.72	3.51	0.03	2.65	0.30	0.70	8.56	0.15	3.30	100.44
ПБ-10	57.13	0.48	14.35	2.54	0.06	5.39	3.84	0.40	8.39	0.10	7.80	100.48
ПБ-7	54.90	0.61	18.48	7.37	0.06	3.10	0.62	0.80	8.83	0.13	4.90	99.81
Байкибашевская свита												
ИМ-32	56.12	0.83	17.55	6.79	0.06	3.28	1.00	1.36	5.33	0.08	6.37	98.76
Старопетровская свита												
ИМ-28	59.32	0.76	16.96	7.69	0.10	2.72	0.46	2.15	3.96	0.12	4.78	99.02
ИМ-29	58.79	0.78	16.77	8.14	0.07	2.77	0.48	2.31	3.68	0.12	5.11	99.02
ИШ-14	60.66	0.75	16.64	8.21	0.12	2.84	0.30	1.85	4.06	0.12	4.98	100.52
ИМ-31	53.58	0.68	18.45	9.22	0.28	2.67	1.13	1.72	4.34	0.47	7.87	100.42
ИШ-16	59.72	0.71	17.32	6.32	0.05	2.98	0.69	1.20	4.68	0.09	6.04	99.81
ИШ-17	56.96	0.75	17.91	7.25	0.05	3.27	0.55	1.10	5.41	0.10	6.29	99.65

Окончание табл. 10

Образец	SiO_2	TiO_2	Al_2O_3	$Fe_2O_{3общ}$	MnO	MgO	CaO	Na_2O	K_2O	P_2O_5	П.п.п.	Всего
Салиховская свита												
ИМ-1	63.13	0.93	15.35	7.32	0.09	2.22	0.21	2.50	3.88	0.10	2.77	98.50
ИМ-2	64.32	0.69	15.99	5.65	0.08	2.02	0.19	2.80	4.66	0.09	3.09	99.58
ИМ-3	61.66	0.85	15.07	7.83	0.12	2.98	0.34	2.80	3.67	0.17	2.92	98.39
ИМ-4	61.18	0.95	16.36	6.42	0.12	2.70	0.29	2.80	4.76	0.13	3.26	98.97
ИМ-5	64.12	0.85	14.70	6.91	0.11	2.36	0.35	2.80	3.93	0.19	2.70	99.02
ИШ-7	58.10	0.72	16.51	6.41	0.11	3.02	2.25	2.50	4.82	1.37	4.79	100.60
ИМ-27	59.31	0.75	16.42	7.68	0.11	2.57	0.99	2.46	3.57	0.15	4.87	98.88
Карлинская свита												
ИМ-12	61.03	0.80	16.00	8.00	0.17	2.38	0.56	1.80	4.22	0.19	5.19	100.34
ИМ-13	61.73	0.82	15.75	6.60	0.06	2.80	0.31	1.70	3.49	0.08	5.40	98.75
ИМ-14	67.21	0.57	12.07	5.32	0.12	2.04	2.88	1.80	2.38	0.10	4.32	98.80
ИМ-15	67.63	0.70	13.67	6.03	0.06	2.41	0.31	1.75	2.65	0.08	4.77	100.05
ИМ-16	62.70	0.79	15.29	6.54	0.07	2.80	0.29	1.80	3.33	0.09	5.26	98.94
ИШ-4	64.30	0.75	14.77	6.46	0.08	2.62	0.74	1.80	3.09	0.14	5.01	99.75
ИМ-17	59.58	0.75	17.01	6.72	0.12	2.62	0.81	2.15	5.51	0.11	3.51	98.90
ИМ-18	63.55	0.79	15.13	6.41	0.06	2.72	0.23	1.90	3.05	0.10	5.28	99.22
ИМ-19	65.47	0.68	15.28	5.62	0.10	2.17	0.79	2.30	3.78	0.13	3.06	99.37

в полях V и VI, отвечающих, соответственно, хлорит-монтмориллонит-гидрослюдистым и гидрослюдистым со значительным количеством дисперсных частиц полевых шпатов глинам (см. рис. 31, *б*). Обращает на себя внимание то, что точки составов ТОП прикамской свиты образуют на этой диаграмме два кластера, различающиеся значениями модуля нормированной щелочности. Кластер с низким (в интервале 0.28–0.41, поле V) значением НКМ объединяет породы норкинской подсвиты прикамской свиты, вскрытые скв. Мензелино–Актаныш-203. Кластер с высоким значением НКМ (0.54–0.66) представлен породами минаевской подсвиты прикамской свиты, вскрытыми скв. Сулли-20007. По всей видимости, указанная особенность отражает вовлеченность в размыв в процессе формирования отложений прикамской свиты все менее зрелых образований, т.е. все более слабо преобразованной процессами выветривания на палеоводосборах тонкой алюмосиликокластики. К полю V диаграммы тяготеют и фигуративные точки глинистых пород арланской подсвиты калтасинской свиты, что косвенно указывает на возможность нового этапа усиления процессов выветривания в областях сноса в середине (или в течение всего) калтасинского времени. Это предположение также подтверждается достаточно высокими значениями индекса CIA в глинистых породах двух названных литостратиграфических подразделений. К полям V и VI данной диаграммы тяготеет и преобладающая часть фигуративных точек ТОП венда Шкаповско-Шиханской впадины (см. рис. 32, *б*).

Таблица 11

Медианное содержание основных породообразующих оксидов в ТОП верхнего докембрия Волго-Уральской области, мас. %

Компонент	Свита										
	Прикамская	Калтасинская	Надеждинская	Тукаевская	Ольховская	Усинская	Приютовская	Байкибашевская	Старопетровская	Салиховская	Карлинская
SiO_2	60.83 56.69–65.09	59.00 57.61–64.63	57.04 44.53–58.03	55.74 51.55–61.42	57.22 52.13–61.14	54.64 52.14–56.42	56.25 54.90–62.96	56.12	59.05 53.58–60.66	61.66 58.10–64.32	63.55 59.58–67.63
TiO_2	0.66 0.43–0.75	0.67 0.65–0.73	0.58 0.42–0.65	0.62 0.58–0.69	0.59 0.44–0.77	0.68 0.48–0.78	0.52 0.44–0.61	0.83	0.75 0.68–0.78	0.85 0.69–0.95	0.75 0.57–0.82
Al_2O_3	18.29 14.85–19.72	18.85 17.52–19.54	16.85 12.26–19.49	18.93 16.19–20.03	17.89 13.74–21.00	18.59 14.58–21.09	16.04 13.94–18.48	17.55	17.14 16.64–18.45	15.99 14.70–16.51	15.28 12.07–17.01
$Fe_2O_{3общ}$	5.89 4.44–8.56	6.77 5.11–7.10	5.08 3.97–14.70	7.63 4.43–14.19	6.67 3.87–8.05	5.18 3.61–6.65	4.17 2.54–7.37	6.79	7.91 6.32–9.22	6.91 5.65–7.83	6.46 5.32–8.00
MnO	0.04 0.02–0.12	0.03 0.03–0.04	0.15 0.03–0.56	0.02 0.02–0.02	0.03 0.02–0.06	0.09 0.04–0.24	0.06 0.03–0.06	0.06	0.08 0.05–0.28	0.11 0.08–0.12	0.08 0.06–0.17
MgO	2.32 1.97–3.17	2.71 2.34–3.18	3.91 3.14–5.34	2.59 2.44–2.89	2.56 2.18–5.23	4.01 3.19–6.63	4.17 2.65–5.39	3.28	2.81 2.67–3.27	2.57 2.02–3.02	2.62 2.04–2.80
CaO	0.30 0.30–0.83	0.31 0.28–0.32	0.30 0.30–2.70	0.40 0.30–1.10	0.30 0.30–5.03	0.54 0.30–4.05	2.23 0.30–3.87	1.00	0.51 0.30–1.13	0.34 0.19–2.25	0.56 0.23–2.88
Na_2O	1.05 0.50–1.30	0.70 0.60–0.90	1.55 0.60–1.90	0.70 0.50–1.70	1.20 0.40–1.80	0.60 0.50–1.60	0.75 0.40–0.80	1.36	1.79 1.10–2.31	2.80 2.46–2.80	1.80 1.70–2.30
K_2O	5.62 4.50–9.30	5.86 4.90–6.60	7.46 5.57–10.26	7.72 7.17–8.03	8.34 7.05–10.81	9.16 7.04–10.15	8.48 7.78–8.83	5.33	4.20 3.68–5.41	3.93 3.57–4.82	3.33 2.38–5.51
P_2O_5	0.10 0.06–0.17	0.09 0.09–0.13	0.16 0.09–0.19	0.22 0.06–0.73	0.12 0.06–0.18	0.16 0.13–0.17	0.13 0.10–0.15	0.08	0.12 0.09–0.47	0.15 0.09–1.37	0.10 0.08–0.19
П.п.п.	3.80 2.30–5.60	4.60 3.40–5.00	5.05 3.90–15.50	4.05 3.90–4.70	4.25 3.20–9.80	4.75 4.60–9.40	5.85 3.30–7.80	6.37	5.58 4.78–7.87	3.09 2.70–4.87	5.01 3.06–5.40
n	16	4	4	4	12	4	4	1	6	7	9

Примечание. В числителе – медианное содержание; в знаменателе – минимальное и максимальное содержания; **n – количество изученных образцов.**

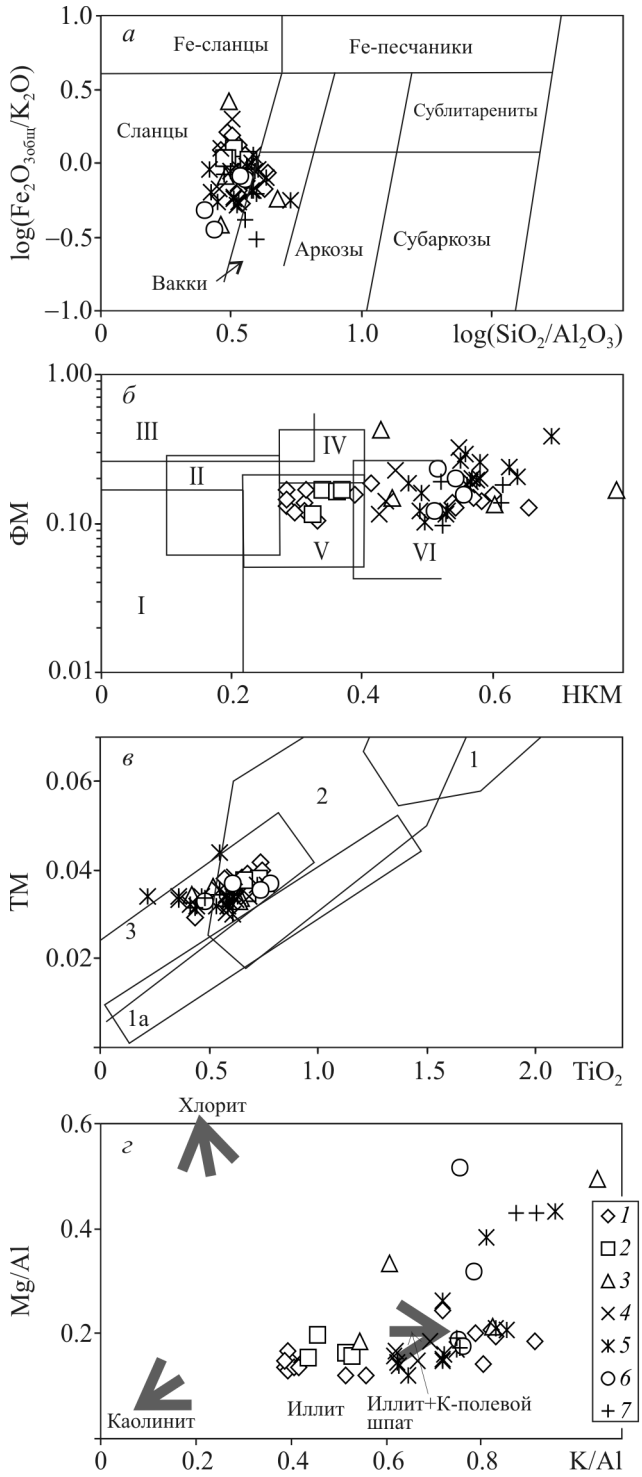


Рис. 31. Положение точек составов глинистых сланцев и аргиллитов рифея Камско-Бельского авлакогена на диаграммах $log(SiO_2/Al_2O_3)$–$log(Fe_2O_{3общ}/K_2O)$ (по: Herron, 1988) (*а*), НКМ–ФМ (*б*), TiO_2–TM (по: Юдович, Кетрис, 2000) (*в*), K/Al–Mg/Al (по: Turgeon, Brumsack, 2006) (*г*).

Поля для диаграммы НКМ–ФМ (глины): I – преимущественно каолинитовые; II – преимущественно смектитовые с примесью каолинита и гидрослюды; III – преимущественно хлоритовые с примесью Fe-гидрослюд; IV – хлорит-гидрослюдистые; V – хлорит-смектит-гидрослюдистые; VI – гидрослюдистые со значительной примесью дисперсных полевых шпатов.

Поля для диаграммы TiO_2–TM (глины): 1 – каолинитовые; 1а – низкомодульные каолинитовые – продукты катагенетических преобразований смектитового или каолинитового субстрата; 2 – существенно гидрослюдистые; 3 – существенно смектитовые.

Значения K/Al и Mg/Al для каолинита, иллита и хлорита рассчитаны по данным работы (Браунлоу, 1979).

Свиты: *1* – прикамская; *2* – калтасинская; *3* – надеждинская; *4* – тукаевская; *5* – ольховская; *6* – усинская; *7* – приютовская

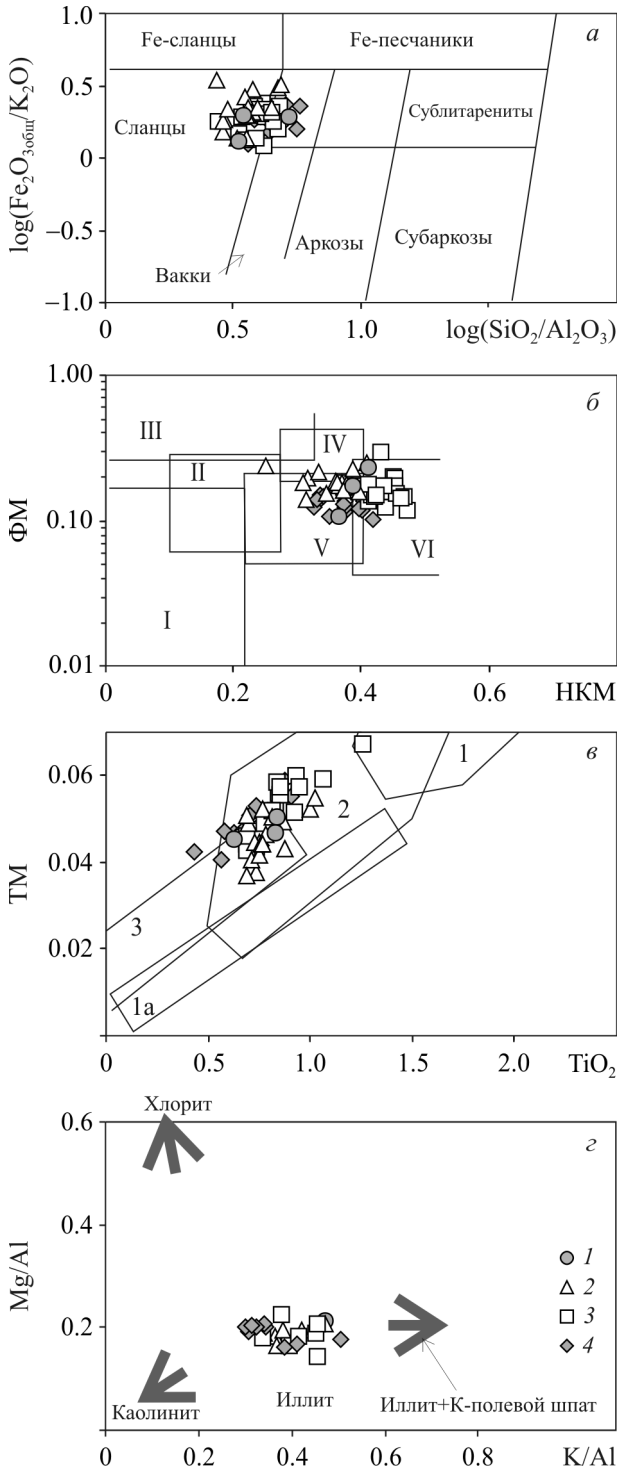


Рис. 32. Положение фигуративных точек составов глинистых сланцев и аргиллитов верхнего венда Шкаповско-Шиханской впадины на диаграммах $\log(SiO_2/Al_2O_3)$–$\log(Fe_2O_{3общ}/K_2O)$ (*а*), НКМ–ФМ (*б*), TiO_2–ТМ (*в*) и K/Al–Mg/Al (*г*).

Свиты: *1* – байкибашевская; *2* – старопетровская; *3* – салиховская; *4* – карлинская. Другие условные обозначения см. на рис. 31

Подавляющее большинство фигуративных точек тонкозернистых обломочных пород рифея Камско-Бельского авлакогена локализовано на диаграмме ТМ–TiO_2 (Юдович, Кетрис, 2000) в области перекрытия полей существенно гидрослюдистых и смектитовых глин (см. рис. 31, *в*). Часть точек, характеризующих составы глинистых сланцев и алевроаргиллитов из разрезов надеждинской, усинской и ольховской свит, сосредоточена здесь в поле преимущественно смектитовых глин. На этой же диаграмме примерно половина точек аргиллитов и алевритистых аргиллитов венда Шкаповско-Шиханской впадины локализована в поле составов гидрослюдистых глин, тогда как остальные попадают в область перекрытия составов гидрослюдистых и смектитовых глин (см. рис. 32, *в*).

На диаграмме K/Al–Mg/Al (Turgeon, Brumsack, 2006) точки составов ТОП рифея сосредоточены в основном в области значений, характерных для глинистых пород с преобладанием иллита при некоторой доле калиевых полевых шпатов. Часть точек глинистых сланцев и алевритистых аргиллитов приютовской, усинской, леонидовской и тукаевской свит имеет существенно более высокое значение Mg/Al, чем основная их масса, что указывает на присутствие в их составе определенной доли хлорита (см. рис. 31, *г*). ТОП венда на этой диаграмме расположены компактнее и занимают область, промежуточную между собственно каолинитовыми глинами и глинами преимущественно иллитовыми с определенной долей калиевых полевых шпатов (см. рис. 32, *г*).

Нормирование содержания основных породообразующих оксидов в тонкозернистых обломочных породах рифея на их содержание в среднем постархейском австралийском сланце (PAAS) показывает следующее. ТОП прикамской свиты характеризуются несколько пониженным (относительно PAAS) содержанием оксидов титана и фосфора; по сравнению с PAAS в них значительно ниже содержание CaO, тогда как содержание K_2O – выше (максимальное значение соотношения $K_2O_{обр}/K_2O_{PAAS}$ равно 2.51, минимальное составляет 1.22) (рис. 33, *а*). Глинистые сланцы калтасинского

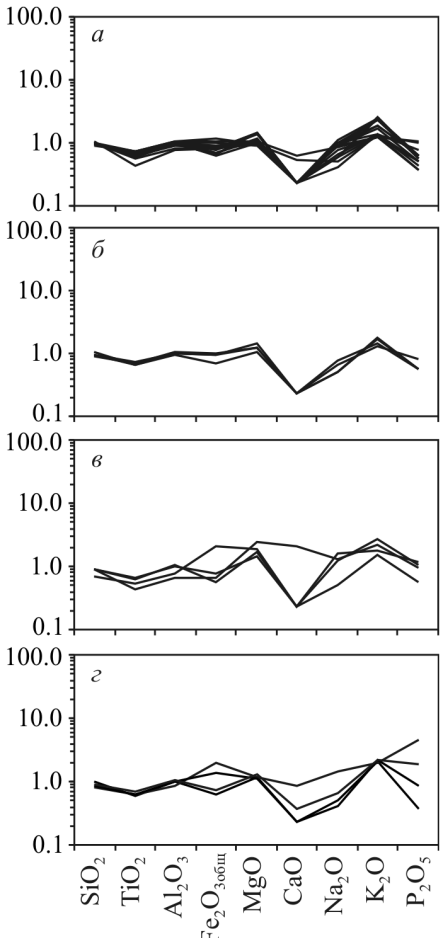


Рис. 33. Нормированное на PAAS содержание основных породообразующих оксидов в тонкозернистых обломочных породах прикамской (*а*), калтасинской (*б*), надеждинской (*в*) и тукаевской (*г*) свит нижнего и среднего рифея Камско-Бельского авлакогена

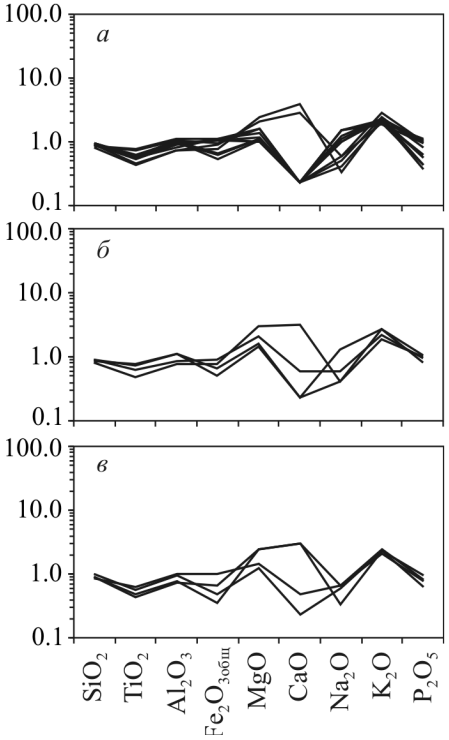


Рис. 34. Нормированное на PAAS содержание основных породообразующих оксидов в тонкозернистых обломочных породах ольховской (*а*), усинской (*б*) и приютовской (*в*) свит среднего и верхнего рифея Камско-Бельского авлакогена

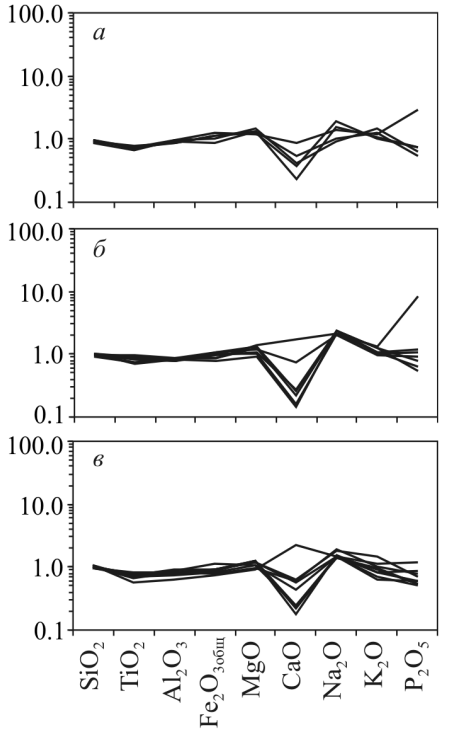


Рис. 35. Нормированное на PAAS содержание основных породообразующих оксидов в тонкозернистых обломочных породах старопетровской (*а*), салиховской (*б*), и карлинской (*в*) свит верхнего венда Шкаповско-Шиханской впадины

уровня по сравнению с PAAS характеризуются меньшим содержанием оксидов титана и кальция, в то же время в них несколько повышена (сравнительно с PAAS) концентрация оксида калия. Остальные породообразующие оксиды присутствуют как в большем, так и в меньшем, чем в PAAS, количестве (см. рис. 33, *б*). В ТОП надеждинского уровня содержание оксидов магния и калия выше, чем в среднем австралийском постархейском сланце (см. рис. 33, *в*), содержание же оксида титана в них во всех изученных нами образцах ниже, чем в PAAS. Оксиды железа, кальция, натрия и фосфора присутствуют в глинистых сланцах надеждинской свиты как в большем, так и в меньшем (относительно PAAS) количестве. По сравнению с PAAS ТОП тукаевской свиты обеднены оксидами титана и кальция, несколько выше в них содержание оксидов магния и калия, тогда как оксиды алюминия, натрия и фосфора присутствуют как в большем, так и в меньшем, нежели в PAAS, количестве (см. рис. 33, *г*).

В глинистых сланцах и алевритистых аргиллитах ольховской свиты только оксид калия выявлен во всех проанализированных нами образцах в большем, чем в PAAS, количестве, содержание остальных оксидов здесь либо ниже, либо

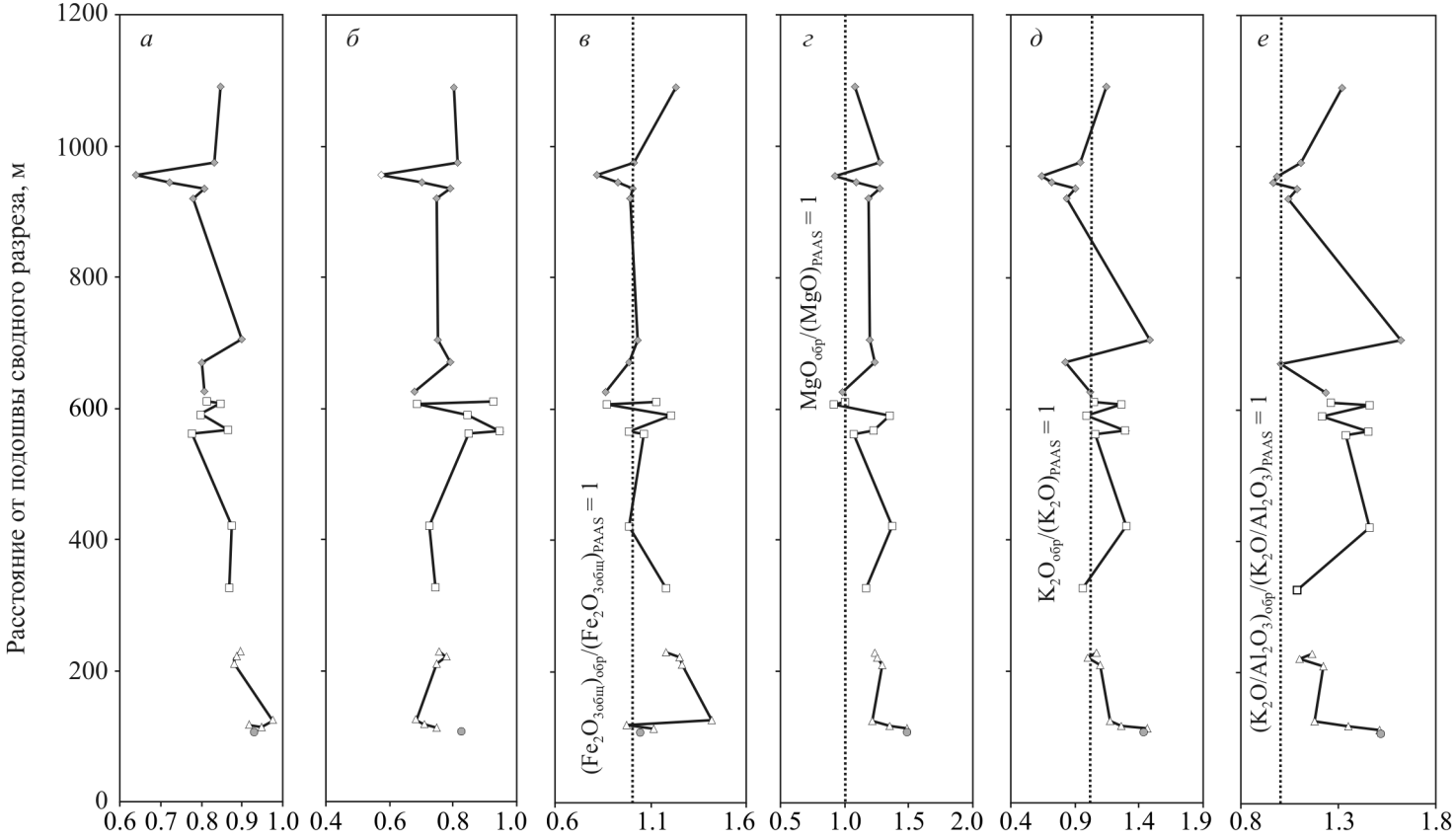


Рис. 36. Вариации отношений $(Al_2O_3)_{обр}/(Al_2O_3)_{PAAS}$ (*а*), $(TiO_2)_{обр}/(TiO_2)_{PAAS}$ (*б*), $(Fe_2O_{3общ})_{обр}/(Fe_2O_{3общ})_{PAAS}$ (*в*), $(MgO)_{обр}/(MgO)_{PAAS}$ (*г*), $(K_2O)_{обр}/(K_2O)_{PAAS}$ (*д*), $(K_2O/Al_2O_3)_{обр}/(K_2O/Al_2O_3)_{PAAS}$ (*е*) в разрезе верхнего венда Шкаповско-Шиханской впадины.
Условные обозначения см. на рис. 32

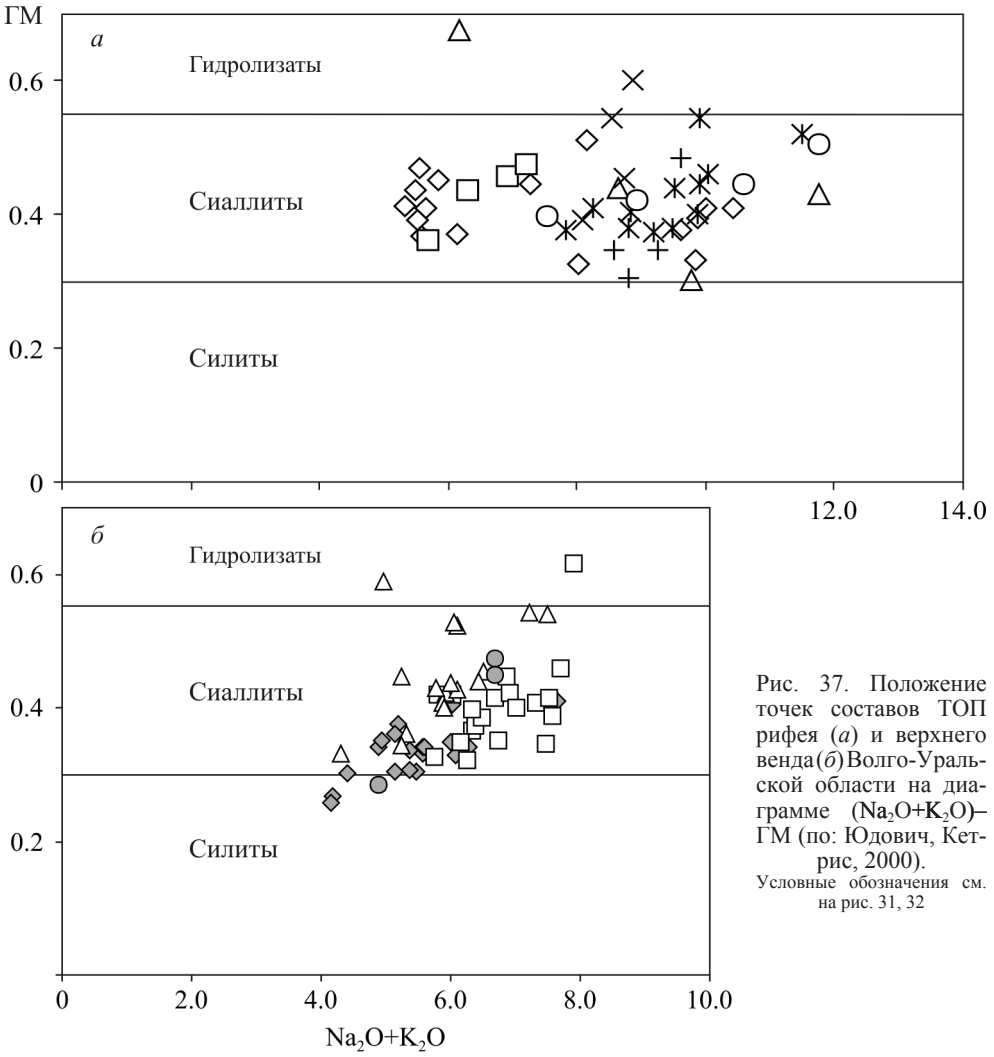


Рис. 37. Положение точек составов ТОП рифея (*а*) и верхнего венда (*б*) Волго-Уральской области на диаграмме (Na_2O+K_2O)–ГМ (по: Юдович, Кетрис, 2000).
Условные обозначения см. на рис. 31, 32

в той или иной мере варьируется (рис. 34, *а*). ТОП усинского уровня обогащены (относительно PAAS) оксидами магния и калия, содержание оксидов титана и железа в них, напротив, ниже, чем в PAAS (см. рис. 34, *б*). В существенной мере сходное распределение характерно и для тонкозернистых обломочных пород приютовской свиты верхнего рифея (см. рис. 34, *в*).

По сравнению с PAAS в аргиллитах каировской и шкаповской серий наблюдается пониженное содержание Al_2O_3 и TiO_2; содержание железа в виде Fe_2O_3 по отношению к его количеству в PAAS составляет в среднем 1.10 (при вариации 0.82–1.42), MgO – от 0.92–1.49, K_2O – 0.64–1.49) (рис. 35). В целом по разрезу каировской и шкаповской серий установлены широкие вариации названных отношений, однако какие-либо определенные тенденции пока не выявлены (рис. 36).

На диаграмме (Na_2O+K_2O)–ГМ преобладающая часть изученных нами образцов ТОП рифея Камско-Бельского авлакогена сосредоточена в области значений ГМ, свойственных сиаллитам, параметр (Na_2O+K_2O) варьируется в них от ~5 до 12% (рис. 37, *а*). Подавляющее большинство точек составов аргиллитов каировской и шкаповской серий на этой же диаграмме локализовано в области значений ГМ, типичных для сиаллитов (нормосиаллитов) (см. рис. 37, *б*). Единичные точки аргиллитов карлинской свиты и один образец аргиллитов байкибашевской свиты попали в область силитов, что указывает на присутствие в них существенной доли алевритового или песчано-алевритового материала. Один образец аргиллитов старопетровской и один – салиховской свит принадлежат к гидролизатам. Параметр (Na_2O+K_2O) в ТОП венда (4–8%) существенно ниже, чем в ТОП рифея.

Глава 5

ЭЛЕМЕНТЫ-ПРИМЕСИ В ПЕСЧАНИКАХ И ТОНКОЗЕРНИСТЫХ ОБЛОМОЧНЫХ ПОРОДАХ

Информация о содержании и соотношении в песчаниках и тонкозернистых обломочных породах широкого спектра элементов-примесей, как будет показано ниже, позволяет достаточно корректно реконструировать состав пород на палеоводосборах, палеогеодинамические обстановки накопления исходных осадков, рассчитать кларки концентрации и ряд других численных параметров процессов седиментогенеза. В настоящей главе автор не претендует на исчерпывающий анализ всей имеющейся в его распоряжении информации и дает только самое общее представление о геохимических характеристиках песчаников, алевритистых аргиллитов, глинистых сланцев и мелкозернистых глинистых алевролитов рифея и венда Волго-Уральской области.

5.1. ПЕСЧАНИКИ

Содержание элементов-примесей в песчаниках всех литостратиграфических подразделений рифея и венда Камско-Бельского авлакогена и Шкаповско-Шиханской впадины (как в индивидуальных образцах, так и медианные значения) приведены в табл. 12–15. Эти данные сопоставлены нами с данными о содержании элементов-примесей в среднем протерозойском кратонном песчанике (Condie, 1993) и хондрите (Тейлор, МакЛеннан, 1988).

5.1.1. Крупноионные литофильные элементы (Ba, Rb, Sr, Th, U)

В группе крупноионных литофильных элементов содержание Ba и Sr во всех проанализированных образцах песчаников прикамской свиты выше, чем в СПКП (значение соотношения $C_{обр}/C_{СПКП}$ для бария варьируется в пределах 1.36–3.89, для стронция – 1.17–4.09) (рис. 38, *а*). Для Rb амплитуда вариаций несколько больше, но в одном из четырех образцов содержание его ниже, чем в СПКП (0.85–6.40). Торий и уран присутствуют как в большей, так и в меньшей, чем в СПКП, концентрации. Сведений о содержании Cs в песчаниках данного уровня, как и других уровней рифея Камско-Бельского авлакогена, в нашем распоряжении нет.

Концентрация всех входящих в состав рассматриваемой группы элементов может быть в песчаниках надеждинской свиты как больше, так и меньше, чем в СПКП (см. рис. 38, *б*). Примерно такая же картина распределения крупноионных литофильных элементов характерна для псаммитов тукаевской свиты среднего рифея (см. рис. 38, *в*), хотя здесь есть ряд образцов (к примеру, КБА-97, КБА-100) с содержанием и бария, и стронция, существенно превы-

Таблица 12

Содержание элементов-примесей (без РЗЭ) в песчаниках рифея и венда Волго-Уральской области, г/т

Образец	Li	Be	Sc	V	Cr	Co	Ni	Cu	Zn	Ga	Ge	Rb	Sr	Y	Zr	Nb	Mo	Ag	Cd	Sn	Sb	Te	Cs	Ba	Hf	Ta	W	Tl	Pb	Bi	Th	U
Прикамская свита																																
КБА-110	3.59	0.10	0.89	5.40	317.4	1.24	9.76	61.12	7.03	2.44	0.66	25.60	31.67	4.57	44.92	0.67	0.68	0.14	0.01	0.28	0.09	–	0.15	257.7	1.30	0.05	0.78	0.14	4.68	0.00	1.67	0.33
КБА-109	3.04	0.31	3.17	14.14	207.8	3.46	8.31	78.07	15.59	5.80	0.60	55.59	46.48	8.50	169.3	2.47	0.52	0.19	0.10	0.37	0.07	0.001	0.46	454.6	4.49	0.21	0.55	0.34	6.48	0.02	4.42	2.06
КБА-104	2.23	0.10	1.00	2.61	254.9	0.96	7.61	33.87	10.84	3.16	0.65	39.59	46.10	5.87	88.80	1.55	0.59	0.23	0.03	0.41	0.09	–	0.35	411.8	2.47	0.13	0.68	0.98	6.54	0.03	3.05	0.67
КБА-111	60.41	2.32	7.02	140.8	93.95	12.16	26.70	131.5	43.06	32.56	0.99	192.0	110.3	14.08	248.2	7.77	0.20	0.32	0.27	1.73	0.21	0.08	2.83	738.4	10.98	0.69	0.67	0.68	17.85	0.22	8.75	3.87
Надеждинская свита																																
КБА-82	3.65	0.21	0.29	7.29	543.8	2.36	22.15	40.98	20.36	3.86	0.76	42.55	29.03	3.19	78.43	1.74	0.84	0.12	0.02	0.47	0.12	–	0.34	431.1	2.07	0.15	1.14	0.43	4.74	0.01	1.97	0.70
КБА-83	5.18	0.40	3.71	32.57	325.2	2.43	17.02	55.96	14.86	7.67	0.84	69.85	54.25	7.30	114.8	4.52	1.16	0.08	0.05	0.80	0.20	0.01	0.61	530.1	3.36	0.69	1.11	0.33	7.13	0.03	7.17	1.13
КБА-84	4.02	0.40	3.53	33.13	241.4	3.25	16.77	12.89	31.54	8.64	0.91	62.16	57.87	8.05	329.8	5.89	0.78	0.45	0.16	1.49	0.60	–	8.61	537.1	8.84	0.49	0.85	0.39	10.44	0.05	7.58	1.41
КБА-85	1.31	0.07	0.61	5.44	298.7	0.81	9.75	20.97	10.52	1.53	0.71	17.82	12.61	4.34	79.13	1.41	0.70	0.33	0.01	0.36	0.08	–	7.90	140.0	2.20	0.14	0.72	0.11	2.18	0.01	3.00	0.65
Тукаевская свита																																
КБА-88	1.79	0.08	0.48	4.71	479.4	1.47	12.86	42.16	5.20	1.16	0.64	9.33	19.15	3.71	76.17	1.07	0.95	3.35	0.01	0.37	0.10	–	0.06	89.75	2.00	0.09	1.04	0.09	1.35	0.01	2.04	0.44
КБА-93	2.10	0.07	0.30	8.21	310.9	1.38	96.14	57.30	8.99	1.72	0.70	23.87	21.05	6.89	156.0	2.56	0.66	0.41	0.08	0.48	0.13	–	0.18	173.4	4.24	0.22	0.83	0.14	2.83	0.02	3.49	0.78
КБА-94	2.17	0.11	0.50	4.52	132.3	1.86	7.92	32.50	8.89	1.70	0.72	10.70	20.18	3.08	71.54	0.65	0.16	0.13	0.04	0.22	0.06	0.01	0.10	42.32	2.07	0.07	0.41	0.05	1.49	0.01	2.44	0.53
КБА-86	7.01	1.38	4.52	58.71	170.2	8.19	29.23	59.04	41.49	15.11	1.15	73.04	43.09	5.04	299.5	9.06	0.77	0.84	0.15	1.58	0.53	0.01	10.29	421.4	8.22	0.78	1.24	0.68	21.18	0.15	6.08	3.06
КБА-87	2.33	0.06	0.35	2.58	506.7	1.56	14.27	31.49	12.24	0.93	0.58	0.47	79.15	2.50	71.47	0.72	1.05	0.64	0.01	0.35	0.07	–	7.35	8.94	1.94	0.06	1.14	0.14	1.89	0.00	2.10	0.46
КБА-89	4.83	0.32	1.59	16.42	212.2	1.33	7.31	57.15	9.54	4.13	0.83	45.40	40.75	7.75	75.57	1.70	0.54	0.17	0.06	0.40	0.10	0.01	0.44	369.2	2.00	0.17	0.57	0.23	6.83	0.06	2.22	1.26
КБА-90	1.78	0.08	0.79	2.57	145.8	0.69	4.87	26.56	8.78	1.59	0.61	20.93	28.02	2.65	26.33	0.63	0.33	0.14	0.04	0.21	0.16	–	0.16	328.1	0.72	0.06	0.41	0.13	2.84	0.07	1.36	0.30
КБА-91	3.14	0.23	1.12	13.37	425.7	1.94	12.99	81.72	9.56	5.06	0.81	45.18	39.15	4.83	131.6	2.40	0.97	0.20	0.06	0.57	0.13	–	0.49	370.0	3.44	0.21	1.16	0.29	7.12	0.03	2.73	0.89
КБА-92	2.70	0.05	0.94	4.82	242.3	0.90	6.92	66.07	0.33	2.56	0.61	4.89	39.71	4.09	181.1	1.56	0.52	0.20	0.07	0.40	0.07	–	0.00	12.22	4.91	0.13	0.61	0.06	2.39	0.02	2.72	0.61
КБА-95	2.25	0.05	1.17	3.00	403.8	1.49	10.77	27.09	1.74	0.50	0.58	0.81	34.84	9.07	473.5	3.39	0.83	0.34	0.21	0.26	0.11	–	–	11.08	12.43	0.23	1.11	0.03	6.56	0.01	3.68	1.37
КБА-96	3.03	0.05	0.30	2.63	219.2	0.94	6.48	20.15	3.05	0.93	0.57	0.40	48.76	1.38	39.40	0.48	0.46	0.12	0.01	0.22	0.04	–	–	12.54	1.10	0.04	1.11	0.03	1.37	0.02	1.38	0.23
КБА-97	6.21	0.10	0.74	6.63	200.4	1.23	6.54	22.15	25.08	1.37	0.73	13.01	299.7	3.39	30.42	0.69	0.49	0.15	0.01	0.18	0.10	–	0.11	1173.	0.83	0.06	0.48	0.09	1.92	0.02	1.29	0.43
КБА-98	1.84	0.11	1.24	4.72	157.5	0.67	5.64	37.94	9.95	1.40	0.65	15.00	21.75	4.33	61.60	0.76	0.37	0.19	0.04	0.18	0.06	–	0.15	140.5	1.73	0.08	0.48	0.10	2.28	0.01	2.22	0.48
КБА-99	2.57	0.08	0.61	3.12	262.3	0.97	7.65	29.99	5.50	1.09	0.66	10.76	17.97	5.23	123.8	1.00	0.59	0.22	0.08	0.21	0.06	–	0.06	105.3	3.20	0.09	5.13	0.08	1.68	0.02	3.00	1.13

КБА-100	5.09	0.14	1.86	4.95	180.6	0.90	7.66	58.98	23.69	2.10	0.76	34.22	74.74	2.25	27.10	0.82	0.50	0.04	0.02	0.34	0.09	–	0.33	849.3	0.78	0.13	0.56	0.23	5.24	0.04	1.85	0.49
КБА-101	2.41	0.09	1.24	7.40	466.5	2.08	17.07	35.78	6.20	2.15	0.70	18.85	96.49	2.01	20.51	1.23	1.34	0.05	–	0.78	0.10	–	0.18	113.8	0.58	0.22	1.50	0.62	3.11	0.03	7.40	0.73
КБА-102	1.17	0.04	0.50	14.32	201.8	0.95	7.71	16.44	5.57	1.09	0.61	12.73	12.92	1.57	12.10	0.52	1.05	0.07	–	0.36	0.10	0.003	0.10	109.9	0.38	0.08	1.08	0.38	2.70	0.04	1.74	0.72
Ольховская свита																																
КБА-122	18.83	1.25	9.91	81.78	213.1	8.74	16.57	96.50	290.4	12.24	1.62	83.65	192.5	25.61	151.3	17.21	0.62	0.22	0.17	2.35	0.69	0.05	3.76	4852.	6.71	1.28	1.69	0.48	10.70	0.17	10.25	2.57
КБА-123	30.07	0.36	0.99	5.28	435.7	2.02	14.77	44.60	10.96	4.91	0.57	0.55	97.84	7.24	94.26	2.18	0.92	0.36	0.02	0.49	0.11	–	–	34.21	2.50	0.18	1.01	0.39	4.81	0.03	3.25	0.74
Усинская свита																																
КБА-80	3.74	0.10	0.81	3.86	359.0	1.41	13.52	49.14	5.60	2.32	0.53	2.18	75.33	4.04	115.9	2.12	0.72	0.11	0.09	0.56	0.14	0.002	0.04	12.96	3.64	0.18	0.94	0.13	5.19	0.01	2.51	0.53
КБА-78	5.98	0.22	0.33	3.35	489.5	2.20	15.70	54.01	22.30	3.49	0.80	49.44	83.38	4.00	53.86	1.37	1.02	0.15	0.01	0.41	0.12	0.005	0.43	676.8	1.42	0.13	1.26	0.32	4.57	0.01	1.96	1.90
КБА-71	8.09	1.01	0.03	8.17	231.7	4.17	20.56	76.57	26.51	10.15	0.73	53.82	32.74	2.05	86.86	4.17	0.31	0.33	0.05	0.80	0.11	0.01	1.41	198.5	2.29	0.32	0.75	0.46	6.04	0.05	0.87	0.90
КБА-75	12.75	1.34	4.52	15.61	276.6	4.48	12.74	54.84	40.39	8.08	1.11	60.41	900.7	38.90	866.7	9.68	0.54	0.68	0.45	0.93	0.36	0.02	1.00	505.1	22.80	0.92	1.40	0.37	11.56	0.15	16.55	19.18
КБА-81	4.82	0.24	0.19	2.31	327.5	1.60	11.98	25.20	12.97	3.35	0.72	44.05	58.71	6.58	65.36	1.89	0.76	0.14	0.01	0.51	0.12	0.01	0.45	330.6	1.81	0.16	0.95	0.24	4.34	0.02	3.04	0.42
КБА-79	3.04	0.13	1.23	12.74	364.0	2.04	12.54	34.27	6.03	1.96	0.74	7.20	35.09	14.15	620.0	5.99	0.81	0.59	0.34	0.46	0.17	–	0.18	17.93	15.32	0.38	1.19	0.09	2.14	0.03	4.99	1.83
КБА-70	44.36	1.25	3.77	10.89	93.35	1.23	9.43	62.57	8.94	10.32	0.49	0.94	102.3	10.36	116.3	5.54	0.39	0.09	0.06	1.03	0.17	0.001	0.11	63.47	3.23	0.72	0.59	0.04	17.56	0.14	4.71	1.38
КБА-72	8.29	0.61	1.50	4.69	188.2	2.02	15.13	43.74	8.13	5.54	0.52	23.60	89.86	4.93	40.46	2.03	0.51	0.04	0.02	0.41	0.17	–	0.34	113.5	1.20	0.29	0.86	0.18	2.15	0.04	3.26	0.64
КБА-73	1.22	0.09	–	1.89	321.7	0.95	8.97	26.97	3.62	1.69	0.34	27.45	22.15	2.05	21.50	0.62	0.59	0.13	–	0.26	0.05	–	0.18	228.1	0.60	0.05	1.46	0.21	6.80	–	1.10	0.25
КБА-74	6.50	1.98	3.82	14.39	203.3	6.01	22.12	84.08	30.33	11.75	0.63	117.6	264.1	8.37	77.46	4.67	0.55	0.08	0.04	0.86	0.30	–	3.14	601.6	2.20	0.64	0.87	0.72	8.08	0.04	4.56	1.06
КБА-76	5.41	0.33	0.87	3.59	272.6	1.62	18.21	37.78	16.60	3.32	0.61	43.01	337.2	4.40	41.60	1.58	0.72	0.04	0.02	0.42	0.12	0.003	0.46	469.0	1.26	0.23	1.04	0.37	6.09	0.02	2.83	0.58
КБА-77	6.26	0.58	1.76	5.16	348.4	1.90	13.48	48.57	19.98	5.77	0.80	83.18	280.8	8.76	94.72	3.26	0.97	0.07	0.04	0.60	0.17	–	0.82	745.8	2.71	0.51	1.11	0.50	10.26	0.05	4.13	1.30
Леонидовская свита																																
КБА-64	12.04	0.32	0.42	4.05	446.1	1.48	11.78	48.29	13.62	4.45	0.75	26.10	90.90	6.05	75.90	2.05	0.29	0.22	0.06	0.39	0.13	0.02	0.30	273.4	1.96	0.18	0.65	0.18	4.77	0.02	2.86	0.62
КБА-57	3.41	0.04	0.47	3.19	516.3	1.73	18.16	17.05	4.26	1.01	0.60	0.56	58.06	2.00	26.13	0.59	1.17	0.07	–	0.34	0.07	–	0.00	19.04	0.75	0.05	1.65	0.10	1.40	0.01	1.69	0.25
КБА-62	31.43	1.40	5.72	50.16	236.4	8.12	17.15	95.06	69.17	11.89	1.31	72.78	118.2	15.89	158.2	11.75	0.45	0.52	0.11	1.52	0.45	0.03	2.83	915.6	4.28	0.85	1.37	0.63	8.13	0.13	7.84	1.75
КБА-61	1.52	0.07	–	2.10	102.0	0.39	4.13	22.14	14.10	0.65	0.59	0.41	41.94	2.81	59.87	0.67	0.10	0.15	0.07	0.14	0.16	0.01	0.03	7.14	1.58	0.06	0.40	0.08	1.85	0.01	1.54	0.39
КБА-68	29.67	2.20	7.57	71.13	400.3	12.51	23.26	79.72	61.64	17.09	1.48	89.89	111.3	15.28	183.2	15.01	0.32	0.69	0.12	2.11	0.71	0.02	4.51	350.9	5.08	1.11	1.89	0.59	12.35	0.21	7.42	1.84
КБА-67	9.71	0.50	1.33	6.05	302.5	1.13	12.48	42.87	19.13	4.86	0.91	60.85	287.5	10.05	155.9	4.71	0.20	0.61	0.09	0.51	0.13	0.01	0.64	480.1	4.00	0.39	0.71	0.34	7.53	0.09	4.82	0.90
КБА-66	5.93	0.10	–	4.68	280.8	1.18	9.72	50.67	20.09	1.73	0.65	0.89	70.39	3.27	65.71	1.09	0.42	0.25	0.04	0.27	0.06	0.01	0.03	10.97	1.71	0.09	0.72	0.12	1.58	0.02	2.33	0.36
КБА-55	2.30	0.03	0.38	2.57	147.7	0.76	4.56	7.51	6.10	0.40	0.52	0.92	24.61	1.50	17.96	0.41	0.33	0.03	0.01	0.13	0.04	–	0.03	53.91	0.54	0.05	0.56	0.06	1.68	0.02	1.25	0.37

Продолжение табл. 12

Образец	Li	Be	Sc	V	Cr	Co	Ni	Cu	Zn	Ga	Ge	Rb	Sr	Y	Zr	Nb	Mo	Ag	Cd	Sn	Sb	Te	Cs	Ba	Hf	Ta	W	Tl	Pb	Bi	Th	U
Леонидовская свита																																
КБА-56	3.85	0.22	2.66	11.08	289.8	2.00	19.08	52.53	7.62	4.34	0.58	22.85	51.51	3.18	76.85	1.96	0.87	0.04	0.03	0.61	0.09	–	0.24	14.10	2.11	0.24	0.94	0.20	2.61	0.04	6.17	0.60
КБА-58	2.17	0.07	0.58	4.81	154.0	0.78	6.01	29.10	5.53	1.25	0.56	0.88	28.95	1.27	34.08	0.85	0.52	0.02	0.01	0.23	0.06	–	0.02	5.92	0.98	0.11	0.63	0.14	1.57	0.02	1.59	0.34
КБА-59	12.10	0.41	1.68	5.18	348.2	1.12	17.27	24.77	9.33	4.17	0.51	0.52	109.2	7.36	71.59	2.70	1.08	0.08	0.02	0.62	0.12	–	0.02	202.3	2.10	0.40	1.14	0.11	4.36	0.06	4.09	0.82
КБА-60	15.78	0.26	0.91	3.59	159.1	2.20	9.22	29.72	13.40	3.54	0.55	0.76	111.5	4.93	38.49	1.26	0.44	0.04	0.07	0.33	0.08	0.004	0.02	15.51	1.11	0.19	0.61	0.11	4.27	0.03	2.37	0.52
КБА-63	9.69	0.18	1.50	5.72	250.6	1.58	18.27	28.25	7.34	3.84	0.57	0.56	52.99	6.95	51.95	2.44	0.64	0.06	0.02	0.69	0.10	–	0.01	97.51	1.54	0.36	0.88	0.15	11.00	0.06	3.97	0.67
КБА-65	3.58	0.07	1.32	5.06	429.1	1.73	18.76	37.63	8.09	1.25	0.49	0.59	47.17	4.37	29.76	1.37	1.13	0.04	–	1.86	0.10	–	0.02	11.50	0.89	0.20	1.23	0.13	7.41	0.02	2.23	0.48
КБА-69	15.90	0.20	1.39	3.02	173.5	0.68	7.61	19.67	8.10	3.29	0.52	0.64	42.43	4.87	39.81	1.47	0.43	0.03	0.04	0.31	0.08	–	0.04	19.24	1.13	0.23	0.55	0.06	3.36	0.05	2.65	0.48
Приютовская свита																																
КБА-112	10.20	0.41	2.62	22.13	266.7	3.63	13.87	58.30	43.53	7.27	0.85	78.70	61.88	8.55	184.8	3.60	0.62	0.10	0.15	0.78	0.13	0.003	0.99	614.6	6.00	0.30	0.72	0.47	8.53	0.03	4.21	1.67
КБА-114	2.55	0.06	1.08	3.22	304.0	0.85	9.38	37.84	15.83	1.51	0.63	18.47	36.74	3.73	143.7	1.15	0.75	0.09	0.09	0.42	0.10	0.02	0.15	306.1	4.19	0.10	0.59	0.14	1.97	0.02	1.71	0.53
КБА-115	18.34	0.25	3.20	11.74	255.4	5.16	15.44	67.18	42.49	5.01	0.72	40.82	50.37	5.94	156.3	2.89	0.71	0.14	0.16	0.58	0.10	0.02	0.60	531.2	4.68	0.24	0.69	0.26	4.81	0.03	2.56	1.12
КБА-116	3.00	0.05	0.81	6.75	255.5	1.42	9.00	27.29	6.40	2.02	0.67	7.26	31.06	4.85	168.0	2.56	0.54	0.08	0.12	0.33	0.12	0.001	0.10	40.27	5.10	0.16	0.67	0.08	1.56	0.02	2.78	1.02
КБА-118	19.13	1.59	6.46	31.76	149.2	7.29	20.25	96.53	64.93	15.68	1.16	110.9	82.74	18.79	239.0	7.36	0.34	0.14	0.27	1.53	0.31	0.03	2.27	698.4	10.41	0.57	0.75	0.63	13.04	0.07	13.21	2.83
КБА-119	4.92	0.69	3.56	22.82	248.1	3.83	20.98	98.22	46.62	11.10	0.89	93.98	76.76	7.78	143.4	3.56	0.68	0.06	0.12	1.05	0.34	0.02	1.63	716.4	4.47	0.28	0.78	0.57	8.94	0.05	3.71	1.28
КБА-120	30.23	0.86	5.89	32.88	231.3	9.09	22.42	98.89	67.48	10.74	0.96	83.76	83.63	10.20	170.2	5.61	0.70	0.04	0.15	1.23	0.24	0.02	2.09	651.6	5.37	0.44	0.92	0.47	16.84	0.15	6.49	1.30
КБА-121	18.78	0.87	3.55	20.70	215.4	9.96	12.16	50.62	252.7	8.21	0.96	32.49	18.97	4.26	64.87	2.88	0.78	0.62	1.46	0.68	0.34	–	1.06	58.88	1.74	0.21	0.52	0.23	60.57	0.06	4.13	0.72
КБА-117	3.90	0.04	0.53	5.59	214.7	1.01	6.79	17.36	3.50	1.33	0.63	4.31	27.69	4.86	192.4	2.18	0.45	0.20	0.08	0.18	0.08	–	0.02	59.55	5.09	0.14	0.60	0.05	1.99	0.02	3.58	0.88
КБА-113	12.85	0.42	2.38	11.35	363.0	3.63	16.05	45.54	24.82	4.84	0.98	47.26	51.15	7.86	60.59	1.89	1.13	0.06	0.01	0.62	0.18	0.004	0.65	630.2	1.80	0.27	1.26	0.33	9.02	0.06	3.51	0.77
Байкибашевская свита																																
КБА-50	25.23	0.32	4.62	47.96	209.6	9.34	18.71	38.96	74.19	8.51	0.80	27.61	82.57	4.72	63.13	3.28	1.73	0.14	0.14	0.68	0.15	0.02	0.21	694.9	2.06	0.19	0.59	0.23	8.91	0.03	3.88	0.36
КБА-51	28.35	0.35	4.29	36.42	216.6	7.03	21.75	45.83	52.87	10.23	0.81	35.37	82.03	4.51	93.00	2.52	0.43	0.16	0.08	0.63	0.05	0.02	0.43	555.5	2.70	0.19	0.52	0.19	5.90	0.03	5.68	0.56
КБА-52	29.52	0.35	5.05	46.04	238.0	6.80	23.25	29.83	46.88	10.77	0.85	31.01	104.8	5.27	115.7	3.56	0.58	0.11	0.09	0.86	0.07	0.01	0.30	503.3	3.69	0.23	0.59	0.18	8.16	0.02	4.90	0.60
КБА-54	69.65	1.12	0.72	12.10	309.8	1.51	13.51	46.94	16.99	10.82	0.63	1.91	50.88	11.66	271.4	5.95	0.56	0.39	0.15	0.90	0.19	0.02	0.09	22.35	7.06	0.48	1.09	0.11	8.00	0.04	3.80	1.43
КБА-47	29.56	0.44	2.29	50.88	213.5	7.30	22.16	34.24	40.27	11.34	0.99	9.75	72.41	3.55	187.8	5.83	0.30	0.34	0.11	0.70	0.05	0.003	0.41	287.5	4.86	0.35	0.57	0.38	8.10	0.01	10.10	0.87
КБА-44	14.67	0.33	3.16	23.45	224.2	1.59	9.40	25.92	23.95	7.43	0.62	31.35	131.5	3.42	68.05	2.38	0.59	1.97	0.04	0.53	0.06	–	7.36	640.3	1.83	0.14	0.39	0.25	8.29	0.01	2.81	0.30

КБА-45	49.70	1.21	3.15	45.49	155.0	4.97	15.34	39.00	2171.	8.85	0.91	12.68	41.07	6.88	241.8	5.21	0.29	3.23	16.41	0.73	0.45	–	6.20	178.2	6.14	0.38	0.87	0.44	628.6	0.04	4.74	1.36
КБА-46	29.44	0.40	2.66	43.43	187.6	7.38	16.95	13.78	33.05	9.26	0.81	8.85	73.00	3.29	85.54	3.65	0.53	1.66	0.08	0.57	0.06	0.01	6.82	346.4	2.40	0.21	0.48	0.21	13.16	0.03	4.73	0.87
КБА-48	23.20	0.37	3.85	45.60	293.3	8.81	18.17	39.51	52.73	8.30	0.79	19.37	80.04	5.16	82.35	3.43	0.86	0.58	0.12	0.58	0.07	0.01	5.47	753.5	2.19	0.20	0.70	0.58	12.08	0.03	12.65	0.53
КБА-49	22.27	0.32	5.08	43.76	230.2	6.72	15.68	25.72	38.94	8.54	0.78	28.70	86.27	5.11	85.50	3.73	0.69	0.39	0.08	0.54	0.05	0.01	5.77	561.0	2.24	0.20	0.53	0.40	16.77	0.02	4.65	0.40
КБА-53	15.04	0.17	0.94	3.60	392.5	1.75	14.16	30.45	51.12	2.49	0.53	0.43	91.98	6.45	61.92	2.09	1.13	0.07	0.22	0.55	0.13	–	0.02	28.55	1.79	0.31	1.22	0.05	5.16	0.05	2.86	0.68
Старопетровская свита																																
КБА-12	24.60	0.88	4.62	51.68	422.5	5.66	15.76	28.58	34.08	8.39	0.97	39.36	72.69	11.41	62.01	5.59	0.90	0.35	0.01	0.89	0.13	0.04	0.75	522.2	1.85	0.41	1.50	0.23	7.40	0.08	5.98	0.88
КБА-14	24.66	0.87	4.19	30.73	235.6	5.05	11.73	51.68	36.71	8.52	1.01	27.08	78.04	13.13	56.48	5.34	0.55	0.49	0.04	0.82	0.15	–	0.72	98.02	1.60	0.41	0.82	0.16	6.09	0.03	4.15	0.61
КБА-15	31.75	0.68	5.77	45.22	147.3	15.20	38.48	58.64	120.3	12.09	1.07	36.12	118.9	13.22	71.53	4.33	0.99	0.74	0.26	0.92	0.15	–	1.09	1543.	2.05	0.33	0.70	0.35	27.81	0.08	6.87	1.11
КБА-16	20.51	0.84	3.67	34.14	157.2	3.59	8.26	17.57	31.30	7.91	0.88	28.57	76.96	7.90	68.24	5.69	0.39	0.54	0.05	0.76	0.13	0.04	0.75	483.5	1.95	0.43	0.66	0.56	6.02	0.13	3.87	0.70
КБА-17	22.60	1.02	4.70	49.07	288.1	7.84	18.52	44.66	42.59	12.10	1.04	46.37	88.20	8.95	109.9	9.28	0.63	0.69	0.06	1.16	0.15	–	1.10	314.9	3.02	0.69	0.99	0.58	9.41	0.06	3.51	1.00
КБА-18	21.19	0.68	3.47	49.90	287.6	8.08	13.94	18.85	30.92	7.46	0.92	23.65	63.57	5.49	68.77	5.92	0.65	0.64	0.05	0.85	0.12	0.03	0.65	493.6	1.94	0.41	1.09	0.45	7.08	0.09	2.41	0.79
КБА-19	26.24	0.55	5.29	36.98	253.5	5.05	18.67	34.03	35.38	11.02	0.74	32.33	155.1	5.42	107.7	3.58	0.54	0.79	0.06	0.60	0.05	–	0.29	719.9	2.90	0.22	0.66	0.19	8.99	0.03	4.64	0.50
КБА-20	24.19	1.56	8.47	63.51	189.3	9.38	17.76	94.88	56.06	13.59	1.31	71.89	90.15	8.51	171.1	14.24	0.52	1.34	0.08	1.74	0.45	0.01	3.31	313.3	4.77	1.06	1.32	0.52	11.20	0.52	3.93	2.21
КБА-21	44.89	0.47	5.88	45.02	258.6	3.79	18.68	31.40	81.00	7.90	1.21	51.78	107.4	21.83	387.4	6.99	0.34	0.60	0.26	0.72	0.14	0.01	0.94	2226	10.16	0.53	0.78	0.34	17.73	0.06	8.26	1.78
Салиховская свита																																
КБА-38	27.66	1.46	9.66	80.48	198.6	10.44	20.21	41.77	50.42	13.40	1.45	73.57	69.44	26.46	145.3	14.75	0.54	0.61	0.11	1.76	0.44	0.02	2.68	242.9	4.05	1.06	1.82	0.45	11.95	0.31	10.09	2.16
КБА-23	16.96	1.16	5.24	54.12	126.1	9.63	15.98	36.28	38.19	10.74	1.07	68.92	57.55	11.60	90.87	8.93	0.37	0.46	0.04	1.47	0.34	0.02	2.31	290.9	2.63	0.70	1.08	0.48	8.10	0.08	4.75	1.44
КБА-24	29.82	1.22	6.11	60.34	203.2	10.05	20.77	53.54	47.30	11.01	1.00	58.34	66.57	5.12	99.89	12.43	0.57	0.19	0.05	1.49	0.37	0.02	2.49	235.1	3.01	1.62	1.22	0.45	7.53	0.13	3.85	1.66
КБА-26	33.60	1.17	7.50	58.68	245.1	8.06	20.25	44.37	46.83	12.87	1.34	64.70	96.56	12.07	122.3	11.32	0.49	4.55	0.10	1.66	0.31	0.01	2.25	450.8	3.59	0.86	1.18	0.55	17.58	0.11	6.15	1.61
КБА-27	27.61	1.45	5.84	48.70	170.1	10.15	21.20	17.29	33.80	19.63	0.93	44.93	112.0	7.54	222.0	12.53	0.36	0.84	0.12	1.56	0.07	0.01	1.57	480.4	6.13	0.94	0.82	0.93	19.74	0.24	6.29	2.76
КБА-28	12.66	0.94	2.83	32.98	319.9	4.48	12.68	44.59	31.92	8.63	1.00	41.34	78.87	4.13	62.76	7.13	0.77	0.63	0.05	7.15	0.38	0.02	1.62	403.6	1.87	0.57	1.05	0.44	6.42	0.06	1.78	1.04
КБА-29	29.77	2.83	7.99	83.69	109.7	11.11	20.60	86.84	74.41	18.39	1.58	58.33	67.74	13.56	190.7	18.65	0.43	1.41	0.12	2.79	0.65	0.08	6.28	302.2	5.69	1.38	2.08	0.96	14.47	0.31	6.47	3.96
КБА-22	18.28	1.38	4.73	46.58	183.0	7.51	14.93	32.99	41.92	11.03	1.07	51.03	89.96	7.52	135.6	11.84	0.49	1.47	0.08	1.87	0.39	0.01	2.66	399.7	3.93	0.89	1.20	0.52	6.34	0.27	2.63	1.50
КБА-25	16.76	1.17	3.98	42.96	285.4	8.14	19.45	42.19	38.91	11.03	1.16	51.59	38.95	4.78	79.00	8.52	0.69	1.51	0.02	1.46	0.49	–	2.29	185.9	2.37	0.66	1.37	0.49	7.26	0.10	2.38	1.06
КБА-30	30.79	1.01	4.64	42.82	212.8	6.21	13.81	23.72	40.24	9.99	1.25	49.13	75.10	4.63	75.70	8.00	0.57	0.58	0.13	1.16	0.28	–	1.17	383.2	2.25	0.63	1.07	0.38	12.26	0.07	3.32	1.04
КБА-31	33.16	1.73	8.43	77.53	105.9	11.15	19.31	50.39	62.80	15.85	1.28	64.48	95.39	8.40	202.3	13.52	0.32	0.92	0.11	1.94	0.46	–	3.58	361.5	5.80	1.03	1.46	0.56	17.50	0.20	4.35	2.90
КБА-34	20.17	1.06	6.08	42.24	148.6	5.98	12.05	111.2	65.67	9.82	1.07	54.66	131.9	12.95	122.0	10.31	0.36	0.47	0.08	1.63	0.32	–	2.01	2116.	3.46	0.80	1.01	0.40	7.90	0.09	6.49	1.86

Окончание табл. 12

Образец	Li	Be	Sc	V	Cr	Co	Ni	Cu	Zn	Ga	Ge	Rb	Sr	Y	Zr	Nb	Mo	Ag	Cd	Sn	Sb	Te	Cs	Ba	Hf	Ta	W	Tl	Pb	Bi	Th	U
Салиховская свита																																
КБА-35	19.66	0.89	5.60	46.80	135.9	7.86	13.72	47.27	36.60	9.31	1.04	47.18	73.81	12.08	97.44	9.14	0.41	0.37	0.06	1.24	0.31	0.01	1.61	216.3	2.76	0.69	0.88	0.37	6.65	0.05	5.54	1.24
КБА-36	18.67	1.41	6.28	50.90	190.2	8.70	13.48	68.85	54.37	12.70	1.15	62.49	105.2	11.70	87.33	9.05	0.48	0.40	0.09	1.29	0.34	–	2.11	378.2	2.56	0.70	1.19	0.49	7.67	0.17	5.04	1.33
КБА-37	27.88	2.03	7.96	77.96	122.3	12.21	20.72	69.59	59.60	16.98	1.49	70.96	75.73	16.83	189.3	15.77	0.37	0.85	0.13	2.13	0.54	0.03	5.29	247.7	5.46	1.17	1.62	0.79	14.53	0.21	5.28	2.14
КБА-39	18.45	1.40	3.18	44.13	258.8	6.10	16.58	21.56	38.80	11.49	1.02	76.85	74.44	3.34	78.32	9.60	0.87	0.12	0.07	1.28	0.36	0.03	2.69	441.8	2.31	1.30	1.23	0.55	9.08	0.17	2.40	1.29
КБА-40	15.83	0.45	2.64	26.45	277.1	4.15	17.32	23.11	22.28	4.20	0.98	22.45	25.41	6.57	59.47	9.61	0.69	0.14	0.07	0.65	0.17	0.01	0.56	172.4	1.59	1.13	0.93	0.24	2.02	0.07	2.45	0.86
КБА-41	13.48	0.42	3.01	24.45	412.1	4.07	19.19	18.83	18.53	4.22	0.97	25.34	24.74	6.00	74.65	11.41	1.14	0.15	0.05	0.87	0.21	0.02	0.68	130.7	2.04	1.36	1.46	0.16	2.01	0.04	3.36	0.94
КБА-42	15.73	1.15	4.56	46.26	179.2	6.09	12.19	41.93	42.24	10.63	1.12	50.16	107.3	10.84	86.27	8.86	0.51	1.77	0.06	1.21	0.44	–	2.23	573.6	2.47	0.67	1.01	0.44	9.92	0.11	4.69	1.26
КБА-43	20.49	1.34	5.48	58.86	160.1	9.56	17.07	28.96	57.86	14.21	1.05	61.54	94.37	5.86	118.6	10.14	0.46	2.45	0.06	1.61	0.34	0.03	7.69	487.5	3.43	0.77	1.01	0.53	9.07	0.09	2.82	1.81
КБА-32	24.74	0.88	5.52	52.17	309.9	7.10	16.44	48.96	51.04	9.91	1.02	45.98	112.8	12.42	75.49	7.84	0.55	0.52	0.04	1.52	0.31	–	1.42	739.2	2.28	0.64	1.11	0.53	6.65	0.09	5.64	1.30
КБА-33	15.62	0.88	4.61	45.96	385.4	6.61	21.28	32.30	30.73	7.69	1.11	39.64	36.30	8.11	79.55	7.89	0.75	0.70	0.03	1.07	0.30	0.01	1.21	163.6	2.21	0.60	1.40	0.35	5.56	0.06	2.57	0.91
Карлинская свита																																
КБА-6	20.46	1.24	9.13	76.89	253.7	10.48	24.15	74.13	53.72	12.32	1.28	60.90	111.4	22.58	188.3	16.88	0.63	0.37	0.17	2.30	0.35	0.03	1.46	394.2	6.16	1.23	1.32	0.43	37.20	0.13	9.17	2.28
КБА-4	38.23	1.24	10.83	71.77	135.1	10.79	19.28	74.15	61.13	13.57	1.15	62.10	104.2	17.77	122.5	20.50	0.43	0.71	0.06	1.72	0.19	0.02	1.79	402.0	3.43	1.41	1.21	0.29	4.63	0.10	8.94	1.59
КБА-3	23.00	0.91	5.68	42.36	146.7	7.05	13.74	78.29	73.07	9.83	0.93	48.99	98.67	11.14	72.71	10.01	0.43	0.36	0.05	1.15	0.20	0.01	1.55	1398.	2.08	0.70	0.97	0.26	6.27	0.04	5.40	1.15
КБА-2	21.67	1.41	7.45	44.87	170.3	7.05	12.99	73.02	52.84	11.67	1.22	61.28	112.1	28.65	177.5	22.01	0.54	0.81	0.13	1.91	0.29	0.01	1.83	463.9	5.06	1.52	1.29	0.31	8.93	0.12	11.65	1.87
КБА-1	26.31	2.07	11.12	71.98	117.6	11.09	16.98	57.70	61.17	16.90	1.52	111.0	113.1	31.87	201.1	25.14	0.35	0.90	0.12	2.32	0.33	0.02	4.93	390.6	5.46	1.67	1.87	0.52	9.78	0.17	13.23	2.58
КБА-5	69.33	0.69	13.13	122.9	181.6	14.15	35.52	56.46	67.01	9.56	0.81	21.49	59.10	12.10	45.52	5.63	0.57	0.10	0.24	0.95	0.18	0.01	0.81	113.7	1.41	0.75	0.81	0.19	5.25	0.06	3.57	1.18
КБА-7	37.48	0.47	3.13	22.37	114.2	4.62	13.91	60.54	20.08	5.05	0.97	26.09	33.41	6.44	34.89	3.16	0.36	0.15	0.02	0.57	0.13	0.01	0.72	188.1	1.07	0.42	0.58	0.19	3.71	0.04	2.72	0.45
КБА-8	45.45	2.11	12.96	84.05	164.5	13.59	25.62	105.5	60.29	16.66	1.19	95.67	103.6	25.01	127.3	21.44	0.41	0.28	0.09	2.22	0.32	0.01	3.43	458.1	3.87	2.53	1.75	0.54	8.93	0.11	11.51	2.33
КБА-9	12.46	0.35	1.65	12.75	324.0	3.15	18.74	33.42	14.41	3.54	0.78	29.04	28.42	3.82	28.30	2.27	0.95	0.05	0.17	0.49	0.15	–	0.62	187.9	0.87	0.29	1.05	0.21	4.54	0.02	2.28	0.39
КБА-10	34.44	3.38	12.24	72.60	98.49	7.63	14.29	75.04	62.12	19.05	1.34	111.1	98.01	28.36	131.4	23.14	0.28	0.31	0.10	3.25	0.33	0.08	6.73	447.0	5.06	3.12	2.11	0.70	7.26	0.22	21.20	3.96
КБА-11	38.74	1.01	5.69	43.76	239.2	6.93	25.41	95.49	38.61	9.31	1.07	62.12	56.05	11.74	116.2	7.34	0.84	0.13	0.09	1.13	0.20	0.001	1.81	288.4	3.44	0.90	1.14	0.38	8.73	0.06	6.09	1.28

Примечание. Прочерк – содержание элемента не определялось.

Таблица 13

Содержание РЗЭ в песчаниках рифея и венда Волго-Уральской области, г/т

Образец	La	Ce	Pr	Nd	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb	Lu
Прикамская свита														
КБА-110	9.53	18.76	2.06	7.97	1.18	0.26	0.82	0.12	0.85	0.18	0.50	0.07	0.46	0.07
КБА-109	12.64	26.07	2.72	10.60	1.86	0.47	1.60	0.24	1.64	0.35	0.97	0.16	1.06	0.16
КБА-104	9.76	16.41	1.97	7.47	1.21	0.31	0.92	0.15	1.06	0.22	0.67	0.11	0.69	0.11
КБА-111	25.74	50.86	5.99	22.58	3.54	0.91	2.45	0.36	2.57	0.58	1.84	0.30	2.05	0.35
Надеждинская свита														
КБА-82	6.57	12.86	1.39	5.02	0.70	0.16	0.53	0.08	0.57	0.12	0.36	0.05	0.39	0.06
КБА-83	9.18	19.72	2.22	8.66	1.65	0.39	1.65	0.22	1.44	0.30	0.90	0.14	1.00	0.16
КБА-84	21.98	46.98	5.16	19.79	3.24	0.63	2.10	0.27	1.71	0.33	0.99	0.16	1.10	0.18
КБА-85	8.89	19.62	2.14	8.37	1.33	0.23	0.92	0.13	0.83	0.17	0.47	0.08	0.50	0.08
Тукаевская свита														
КБА-88	4.99	10.59	1.13	4.42	0.84	0.17	0.76	0.12	0.74	0.14	0.40	0.06	0.42	0.06
КБА-93	12.43	27.78	2.95	10.97	1.53	0.32	1.41	0.21	1.29	0.27	0.76	0.11	0.75	0.12
КБА-94	6.36	13.44	1.46	5.62	0.94	0.16	0.60	0.09	0.59	0.12	0.34	0.06	0.39	0.06
КБА-86	8.95	21.57	2.73	11.82	2.05	0.35	1.16	0.18	1.35	0.30	0.89	0.15	1.04	0.16
КБА-87	6.95	14.09	1.65	6.44	1.16	0.23	0.84	0.10	0.54	0.09	0.25	0.04	0.28	0.04
КБА-89	9.10	20.57	2.17	8.15	1.86	0.48	2.08	0.29	1.70	0.32	0.82	0.11	0.65	0.10
КБА-90	5.39	11.81	1.33	5.27	0.92	0.18	0.68	0.09	0.56	0.11	0.29	0.04	0.28	0.04
КБА-91	8.99	19.39	2.13	8.11	1.28	0.24	0.88	0.14	0.96	0.19	0.58	0.09	0.65	0.10
КБА-92	8.43	17.34	1.87	6.90	1.15	0.23	0.82	0.12	0.80	0.16	0.47	0.08	0.54	0.08
КБА-95	5.69	11.61	1.42	5.78	1.36	0.27	1.60	0.24	1.56	0.33	0.94	0.16	1.11	0.18
КБА-96	4.30	8.69	0.99	3.88	0.68	0.13	0.46	0.06	0.30	0.06	0.16	0.02	0.17	0.02
КБА-97	6.50	14.09	1.53	5.88	1.13	0.19	1.02	0.13	0.73	0.14	0.38	0.05	0.35	0.05
КБА-98	7.44	16.28	1.67	6.54	1.08	0.20	0.73	0.12	0.83	0.17	0.49	0.07	0.48	0.07
КБА-99	10.66	21.68	2.17	8.09	1.48	0.31	1.25	0.17	0.98	0.19	0.55	0.08	0.54	0.08
КБА-100	6.58	15.05	1.68	6.55	1.18	0.19	0.93	0.09	0.49	0.09	0.26	0.04	0.27	0.04
КБА-101	11.38	25.77	2.56	9.80	1.67	0.30	1.07	0.09	0.47	0.08	0.24	0.04	0.58	0.04
КБА-102	4.07	9.82	1.11	4.37	0.67	0.12	0.47	0.05	0.30	0.06	0.16	0.03	0.19	0.03
Ольховская свита														
КБА-122	35.38	73.94	8.43	32.58	6.39	1.36	5.92	0.84	5.07	1.04	2.85	0.42	2.71	0.42
КБА-123	11.38	23.62	2.70	10.44	1.73	0.36	1.34	0.20	1.37	0.28	0.82	0.13	0.86	0.14
Усинская свита														
КБА-80	8.70	16.63	2.13	8.27	1.33	0.26	0.93	0.12	0.75	0.15	0.45	0.07	0.46	0.08
КБА-78	11.92	23.47	2.92	10.62	1.65	0.30	0.96	0.14	0.84	0.16	0.47	0.08	0.53	0.08
КБА-71	3.36	7.18	0.90	3.44	0.52	0.12	0.44	0.06	0.41	0.09	0.25	0.04	0.22	0.04

Продолжение табл. 13

Образец	La	Ce	Pr	Nd	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb	Lu
Усинская свита														
КБА-75	23.00	47.34	8.75	42.03	9.93	2.16	8.42	1.21	7.94	1.62	4.80	0.72	4.97	0.77
КБА-81	13.20	27.21	3.07	11.68	1.87	0.39	1.47	0.21	1.24	0.25	0.70	0.11	0.71	0.11
КБА-79	10.83	24.74	3.00	11.78	2.60	0.60	2.78	0.52	3.21	0.59	1.66	0.23	1.48	0.23
КБА-70	15.57	39.15	4.02	15.98	2.94	0.68	2.55	0.31	2.05	0.41	1.28	0.20	1.37	0.21
КБА-72	9.93	17.17	2.07	7.38	1.12	0.23	0.91	0.12	0.86	0.19	0.62	0.10	0.69	0.11
КБА-73	1.84	3.20	0.36	1.38	0.34	0.10	0.42	0.06	0.40	0.08	0.24	0.04	0.26	0.04
КБА-74	15.35	28.79	3.18	11.13	1.58	0.34	1.59	0.21	1.49	0.33	1.03	0.16	1.12	0.18
КБА-76	14.33	34.12	3.95	15.63	2.69	0.47	1.94	0.17	0.95	0.19	0.55	0.08	0.61	0.10
КБА-77	15.87	35.92	4.57	18.93	3.66	0.72	2.95	0.31	1.79	0.35	0.98	0.15	1.00	0.15
Леонидовская свита														
КБА-64	12.62	25.01	3.12	11.47	1.87	0.37	1.33	0.19	1.15	0.24	0.71	0.11	0.71	0.11
КБА-57	5.66	11.31	1.31	4.96	0.83	0.17	0.59	0.08	0.40	0.08	0.22	0.03	0.22	0.03
КБА-62	30.02	43.02	6.98	26.56	4.75	0.95	3.85	0.55	3.25	0.62	1.76	0.25	1.74	0.27
КБА-61	4.33	8.66	1.03	3.94	0.70	0.14	0.63	0.09	0.53	0.10	0.27	0.04	0.23	0.04
КБА-68	16.31	32.00	4.01	15.90	3.09	0.68	2.85	0.44	2.87	0.61	1.77	0.27	1.95	0.27
КБА-67	13.50	32.31	3.61	14.40	2.61	0.55	2.08	0.31	1.89	0.38	1.05	0.15	1.04	0.17
КБА-66	7.01	13.79	1.68	6.37	1.08	0.23	0.79	0.10	0.53	0.11	0.32	0.05	0.33	0.05
КБА-55	4.34	9.12	1.05	4.01	0.69	0.11	0.56	0.05	0.31	0.06	0.17	0.02	0.16	0.02
КБА-56	8.92	15.26	1.85	6.57	0.95	0.20	0.83	0.09	0.61	0.12	0.34	0.05	0.34	0.05
КБА-58	7.33	14.35	1.52	5.20	0.67	0.11	0.51	0.05	0.27	0.05	0.14	0.02	0.15	0.03
КБА-59	16.65	28.39	4.32	16.09	2.64	0.48	2.01	0.23	1.37	0.26	0.73	0.10	0.69	0.11
КБА-60	9.38	21.30	2.39	9.15	1.60	0.36	1.47	0.17	0.93	0.18	0.49	0.07	0.49	0.07
КБА-63	12.41	27.96	2.78	10.24	1.73	0.37	1.54	0.20	1.30	0.27	0.81	0.13	0.85	0.14
КБА-65	7.09	14.95	1.74	6.73	1.15	0.22	0.94	0.11	0.77	0.16	0.50	0.08	0.56	0.09
КБА-69	9.90	20.94	2.36	9.19	1.59	0.33	1.32	0.15	0.93	0.19	0.55	0.09	0.63	0.10
Приютовская свита														
КБА-112	10.28	22.99	2.86	11.21	1.99	0.47	1.68	0.25	1.59	0.32	0.93	0.14	0.92	0.15
КБА-114	6.76	13.46	1.51	6.91	0.92	0.17	0.63	0.09	0.60	0.13	0.37	0.06	0.39	0.07
КБА-115	8.53	17.19	1.93	7.45	1.47	0.36	1.40	0.18	1.13	0.22	0.66	0.10	0.67	0.11
КБА-116	10.12	23.48	2.71	10.39	1.85	0.37	1.35	0.18	1.06	0.20	0.51	0.07	0.47	0.07
КБА-118	31.54	66.41	7.72	29.76	5.35	1.09	4.65	0.62	3.87	0.76	2.12	0.32	2.11	0.33
КБА-119	14.94	32.99	3.97	15.79	2.63	0.58	1.86	0.24	1.48	0.31	0.90	0.13	0.91	0.14
КБА-120	18.50	39.74	4.45	16.89	2.70	0.59	2.19	0.32	1.96	0.41	1.16	0.18	1.15	0.18
КБА-121	11.28	26.46	2.76	10.61	1.68	0.28	1.17	0.16	0.97	0.19	0.51	0.08	0.50	0.07
КБА-117	8.49	20.61	2.34	9.61	1.78	0.34	1.30	0.19	1.13	0.20	0.55	0.08	0.53	0.08
КБА-113	13.47	26.73	3.42	14.60	3.16	0.72	3.03	0.30	1.66	0.30	0.81	0.12	0.82	0.12

Продолжение табл. 13

Образец	La	Ce	Pr	Nd	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb	Lu
Байкибашевская свита														
КБА-50	13.08	25.83	2.65	10.33	1.64	0.44	1.31	0.17	1.05	0.21	0.58	0.09	0.57	0.09
КБА-51	15.57	30.50	3.34	12.39	1.86	0.42	1.24	0.14	0.88	0.19	0.55	0.08	0.54	0.08
КБА-52	14.18	28.32	3.05	11.23	1.73	0.43	1.33	0.17	1.03	0.21	0.61	0.09	0.64	0.10
КБА-54	18.97	22.74	4.48	16.99	2.90	0.64	2.49	0.34	2.17	0.45	1.25	0.18	1.15	0.18
КБА-47	19.57	37.66	4.11	14.86	1.85	0.20	0.99	0.12	0.76	0.15	0.44	0.07	0.48	0.07
КБА-44	8.89	19.29	1.90	7.25	1.21	0.33	0.81	0.11	0.69	0.14	0.39	0.06	0.40	0.07
КБА-45	9.96	21.46	2.53	9.64	1.83	0.42	1.58	0.26	1.60	0.31	0.90	0.13	0.86	0.13
КБА-46	13.03	27.21	3.04	11.67	1.87	0.20	1.24	0.15	0.84	0.15	0.41	0.06	0.37	0.06
КБА-48	22.48	52.16	5.30	19.61	3.00	0.44	1.70	0.21	1.23	0.23	0.64	0.10	0.65	0.10
КБА-49	12.52	26.21	2.68	9.86	1.58	0.41	1.09	0.16	1.15	0.23	0.66	0.10	0.68	0.11
КБА-53	9.47	19.18	2.17	8.17	1.38	0.28	1.31	0.17	1.20	0.25	0.68	0.11	0.72	0.11
Старопетровская свита														
КБА-12	20.02	47.01	4.83	18.87	3.49	0.75	2.83	0.40	2.41	0.48	1.32	0.20	1.27	0.19
КБА-14	13.69	31.91	3.48	14.37	3.00	0.81	2.89	0.45	2.76	0.52	1.32	0.20	1.23	0.17
КБА-15	17.18	35.06	4.05	15.64	2.98	0.61	2.51	0.40	2.66	0.51	1.44	0.21	1.34	0.20
КБА-16	9.34	18.82	2.34	9.69	1.91	0.45	1.68	0.25	1.61	0.33	0.94	0.16	1.06	0.16
КБА-17	12.67	25.85	2.75	10.26	2.03	0.47	1.76	0.28	1.79	0.37	1.12	0.17	1.14	0.17
КБА-18	3.49	6.72	0.74	2.98	0.67	0.16	0.71	0.13	1.00	0.23	0.76	0.14	0.94	0.14
КБА-19	10.54	22.99	2.39	9.53	1.74	0.54	1.40	0.18	1.11	0.21	0.66	0.10	0.70	0.10
КБА-20	11.39	17.53	2.39	8.98	1.59	0.32	1.34	0.22	1.61	0.35	1.12	0.19	1.47	0.24
КБА-21	19.38	44.24	5.19	21.81	5.14	1.03	4.76	0.72	4.49	0.89	2.54	0.37	2.54	0.39
Салиховская свита														
КБА-38	74.49	154.78	23.20	87.70	15.10	3.13	11.09	1.30	6.59	1.08	2.60	0.35	2.25	0.35
КБА-23	13.88	22.84	3.28	13.28	2.64	0.53	2.49	0.38	2.39	0.48	1.26	0.20	1.39	0.20
КБА-24	10.57	14.64	2.49	9.69	1.74	0.36	1.68	0.20	1.16	0.21	0.59	0.09	0.63	0.10
КБА-26	19.92	44.11	4.96	19.87	3.66	0.79	2.86	0.41	2.57	0.51	1.41	0.23	1.51	0.23
КБА-27	17.95	36.27	3.88	14.95	2.39	0.49	1.71	0.25	1.62	0.33	0.91	0.14	0.95	0.14
КБА-28	5.25	9.61	1.20	4.65	0.83	0.17	0.71	0.12	0.78	0.17	0.52	0.09	0.60	0.09
КБА-29	18.35	37.22	4.80	19.38	3.80	0.67	3.32	0.47	3.05	0.59	1.68	0.25	1.71	0.27
КБА-22	10.52	21.48	2.56	9.81	1.91	0.37	1.61	0.24	1.55	0.31	0.89	0.14	0.98	0.16
КБА-25	9.19	18.49	2.19	8.61	1.57	0.33	1.19	0.17	1.10	0.21	0.65	0.10	0.71	0.11
КБА-30	9.24	17.61	2.02	7.46	1.39	0.28	1.12	0.16	1.07	0.20	0.57	0.09	0.59	0.09
КБА-31	12.34	23.24	2.68	10.42	1.83	0.38	1.61	0.24	1.65	0.35	1.08	0.17	1.30	0.20
КБА-34	16.86	31.87	4.00	16.21	3.04	0.52	2.58	0.40	2.54	0.54	1.53	0.24	2.43	0.26
КБА-35	13.69	28.89	3.57	14.29	2.83	0.64	2.49	0.38	2.42	0.50	1.43	0.23	1.58	0.23

Окончание табл. 13

Образец	La	Ce	Pr	Nd	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb	Lu
Салиховская свита														
КБА-36	8.70	15.96	2.21	8.61	1.85	0.45	1.73	0.31	2.32	0.49	1.46	0.24	1.59	0.25
КБА-37	16.41	28.25	4.20	16.27	3.24	0.70	2.87	0.45	3.21	0.66	2.03	0.33	2.24	0.36
КБА-39	6.42	8.48	1.24	4.30	0.73	0.15	0.66	0.09	0.63	0.14	0.41	0.07	0.50	0.08
КБА-40	5.45	10.46	1.20	4.56	0.89	0.20	1.01	0.16	1.17	0.25	0.78	0.12	0.79	0.12
КБА-41	3.42	7.04	0.84	3.41	0.69	0.17	0.80	0.14	1.06	0.24	0.79	0.13	0.87	0.13
КБА-42	12.46	22.95	3.11	12.51	2.43	0.55	2.09	0.33	2.15	0.44	1.25	0.19	1.31	0.20
КБА-43	10.04	15.35	2.01	7.33	1.26	0.28	1.05	0.17	1.07	0.23	0.69	0.12	0.94	0.15
КБА-32	16.13	33.40	3.96	16.21	3.17	0.70	2.83	0.41	2.67	0.52	1.42	0.22	1.42	0.21
КБА-33	9.51	18.28	2.17	8.55	1.74	0.40	1.57	0.26	1.70	0.35	1.05	0.18	1.18	0.18
Карлинская свита														
КБА-6	27.98	63.01	7.03	27.43	5.10	1.03	4.88	0.71	4.47	0.91	2.63	0.39	2.58	0.39
КБА-4	17.86	40.08	4.74	18.67	3.79	0.85	3.38	0.56	3.70	0.76	2.18	0.32	2.19	0.33
КБА-3	15.88	34.74	3.96	15.13	2.83	0.57	2.38	0.36	2.31	0.48	1.45	0.22	1.50	0.23
КБА-2	28.70	65.09	7.85	30.07	6.17	1.15	5.58	0.89	5.74	1.19	3.41	0.51	3.42	0.52
КБА-1	47.31	81.32	11.82	44.51	7.57	1.49	6.37	1.00	6.43	1.31	3.78	0.54	3.62	0.54
КБА-5	10.22	24.76	3.16	14.51	3.54	0.89	3.60	0.45	2.72	0.51	1.38	0.20	1.25	0.19
КБА-7	10.62	25.15	3.11	13.10	2.58	0.57	2.39	0.27	1.51	0.27	0.69	0.10	0.62	0.09
КБА-8	33.95	58.36	8.45	32.00	5.76	1.21	5.59	0.77	5.02	1.05	3.06	0.46	3.09	0.47
КБА-9	8.48	18.77	2.01	7.31	1.20	0.28	1.06	0.13	0.82	0.16	0.46	0.07	0.48	0.07
КБА-10	24.26	50.13	5.69	22.12	4.15	0.77	4.21	0.68	5.34	1.23	3.88	0.64	4.34	0.64
КБА-11	16.58	37.21	4.23	16.71	3.19	0.72	3.02	0.40	2.51	0.48	1.40	0.21	1.43	0.22

Таблица 14

Медианное содержание элементов-примесей (без РЗЭ) в песчаниках верхнего докембрия Волго-Уральской области, г/т

Элемент	Свита										
	Прикамская	Надеждинская	Тукаевская	Ольховская[#]	Усинская	Леонидовская	Приютовская	Байкибашевская	Старопетровская	Салиховская	Карлинская
Li	3.32 2.23–60.41	3.842 1.31–5.18	2.41 1.17–7.01	24.45	6.12 1.22–44.36	9.69 1.52–31.43	11.53 2.55–30.23	28.35 14.67–69.65	24.60 20.51–44.89	19.92 12.66–33.60	34.44 12.46–69.33
Be	0.21 0.10–2.32	0.31 0.07–0.40	0.08 0.04–1.38	0.81	0.46 0.09–1.98	0.20 0.03–2.20	0.42 0.04–1.59	0.35 0.17–1.21	0.84 0.47–1.56	1.17 0.42–2.83	1.24 0.35–3.38
Sc	2.09 0.89–7.02	2.07 0.29–3.71	0.79 0.30–4.52	5.45	1.23 0.03–4.52	1.33 0.38–7.57	2.91 0.53–6.46	3.16 0.72–5.08	4.70 3.47–8.47	5.50 2.64–9.66	9.13 1.65–13.13
V	9.77 2.61–140.80	19.93 5.44–33.13	4.82 2.57–58.71	43.53	4.93 1.89–15.61	4.81 2.10–71.13	16.22 3.22–32.88	43.76 3.60–50.88	45.22 30.73–63.51	47.75 24.45–83.69	71.77 12.75–122.9
Cr	231.35 93.95–317.4	311.9 241.4–543.8	219.20 132.3–506.7	324.40	299.15 93.35–489.5	280.80 102.0–516.3	251.75 149.2–363.0	224.20 155.0–392.5	253.50 147.3–422.5	194.40 105.9–412.1	164.50 98.49–324.0
Co	2.35 0.96–12.16	2.40 0.81–3.25	1.33 0.67–8.19	5.38	1.96 0.95–6.01	1.48 0.39–12.51	3.73 0.85–9.96	6.80 1.51–9.34	5.66 3.59–15.20	7.96 4.07–12.21	7.63 3.15–14.15
Ni	9.04 7.61–26.70	16.90 9.75–22.15	7.71 4.87–96.14	15.67	13.50 8.97–22.12	12.48 4.13–23.26	14.66 6.79–22.42	16.95 9.40–23.25	17.76 8.26–38.48	17.20 12.05–21.28	18.74 12.99–35.52
Cu	69.60 33.87–131.5	30.98 12.89–55.96	35.78 16.44–81.72	70.55	48.86 25.20–84.08	29.72 7.51–95.06	54.46 17.36–98.89	34.24 13.78–46.94	34.03 17.57–94.88	42.06 17.29–111.2	74.13 33.4–105.50
Zn	13.22 7.03–43.06	17.61 10.52–31.54	8.89 0.33–41.49	150.68	14.79 3.62–40.39	9.33 4.26–69.17	43.01 3.50–252.70	46.88 16.9–2171.0	36.71 30.92–120.3	42.08 18.53–74.41	60.29 14.41–73.07
Ga	4.48 2.44–32.56	5.77 1.53–8.64	1.59 0.50–15.11	8.58	4.52 1.69–11.75	3.54 0.40–17.09	6.14 1.33–15.68	8.85 2.49–11.34	8.52 7.46–13.59	11.02 4.20–19.63	11.67 3.54–19.05
Ge	0.66 0.60–0.99	0.80 0.71–0.91	0.66 0.57–1.15	1.10	0.68 0.34–1.11	0.58 0.49–1.48	0.87 0.63–1.16	0.80 0.53–0.99	1.01 0.74–1.31	1.07 0.93–1.58	1.15 0.78–1.52
Rb	47.59 25.60–192.0	52.36 17.82–69.85	13.01 0.40–73.04	42.10	43.53 0.94–117.60	0.88 0.41–89.89	44.04 4.31–110.90	19.37 0.43–35.37	36.12 23.65–71.89	53.13 22.45–76.85	61.28 21.49–111.1

Окончание табл. 14

Элемент	Свита										
	Прикамская	Надеждинская	Тукаевская	Ольховская#	Усинская	Леонидовская	Приютовская	Байкибашевская	Старопетровская	Салиховская	Карлинская
Y	7.19 4.57–14.08	5.82 3.19–8.05	3.71 1.38–9.07	16.43	5.76 2.05–38.90	4.87 1.27–15.89	6.86 3.73–18.79	5.11 3.29–11.66	8.95 5.42–21.83	8.26 3.34–26.46	17.77 3.82–31.87
Zr	129.05 44.9–248.2	96.97 78.4–329.8	71.54 12.10–473.5	122.78	82.16 21.50–866.7	59.87 17.96–183.2	162.15 60.59–239.0	85.54 61.92–271.4	71.53 56.48–387.4	94.16 59.47–222.0	122.50 28.30–201.1
Nb	2.01 0.67–7.77	3.13 1.41–5.89	1.00 0.48–9.06	9.70	2.69 0.62–9.68	1.47 0.41–15.01	2.89 1.15–7.36	3.56 2.09–5.95	5.69 3.58–14.24	9.88 7.13–18.65	16.88 2.27–25.14
Mo	0.56 0.20–0.68	0.81 0.70–1.16	0.59 0.16–1.34	0.77	0.66 0.31–1.02	0.44 0.10–1.17	0.69 0.34–1.13	0.58 0.29–1.73	0.55 0.34–0.99	0.50 0.32–1.14	0.43 0.28–0.95
Ag	0.21 0.14–0.32	0.23 0.08–0.45	0.19 0.04–3.35	0.29	0.12 0.04–0.68	0.07 0.02–0.69	0.10 0.04–0.62	0.39 0.07–3.23	0.64 0.35–1.34	0.62 0.12–4.55	0.31 0.05–0.90
Cd	0.07 0.01–0.27	0.04 0.01–0.16	0.04 0.01–0.21	0.10	0.04 0.01–0.45	0.04 0.01–0.12	0.14 0.01–1.46	0.11 0.04–16.41	0.06 0.01–0.26	0.07 0.02–0.13	0.10 0.02–0.24
Sn	0.39 0.28–1.73	0.64 0.36–1.49	0.35 0.18–1.58	1.42	0.54 0.26–1.03	0.39 0.13–2.11	0.65 0.18–1.53	0.63 0.53–0.90	0.85 0.60–1.74	1.51 0.65–7.15	1.72 0.49–3.25
Sb	0.09 0.07–0.21	0.16 0.08–0.60	0.10 0.04–0.53	0.40	0.16 0.05–0.36	0.10 0.04–0.71	0.16 0.08–0.34	0.07 0.05–0.45	0.14 0.05–0.45	0.34 0.07–0.65	0.20 0.13–0.35
Te	0.04 0.00–0.08	–	–	–	0.01 0.001–0.02	0.01 0.004–0.03	0.02 0.001–0.03	0.01 0.003–0.02	0.03 0.01–0.04	0.02 0.01–0.08	0.01 0.001–0.08
Cs	0.41 0.15–2.83	4.26 0.34–8.61	0.16 0.00–10.29	–	0.44 0.04–3.14	0.03 0.01–4.51	0.82 0.02–2.27	0.43 0.02–7.36	0.75 0.29–3.31	2.24 0.56–7.69	1.79 0.62–6.73
Ba	433.2 257.7–738.4	480.6 140.0–537.1	113.8 8.94–1173.0	2443.11	279.3 12.96–745.8	19.24 5.92–915.60	572.90 40.27–716.4	503.30 22.35–753.5	493.6 98.0–2226.0	369.85 130.7–2116	394.20 113.7–1398
Hf	3.48 1.30–10.98	2.78 2.07–8.84	2.00 0.38–12.43	4.61	2.25 0.60–22.80	1.58 0.54–5.08	4.89 1.74–10.41	2.40 1.79–7.06	2.05 1.60–10.16	2.70 1.59–6.13	3.44 0.87–6.16

Ta	0.170.05–0.69	0.320.14–0.69	0.090.04–0.78	0.73	0.31 0.05–0.92	0.20 0.05–1.11	0.26 0.10–0.57	0.21 0.14–0.48	0.41 0.22–1.06	0.83 0.57–1.62	1.23 0.29–3.12
W	0.680.55–0.78	0.980.72–1.14	1.040.41–5.13	1.35	1.00 0.59–1.46	0.72 0.40–1.89	0.71 0.52–1.26	0.59 0.39–1.22	0.82 0.66–1.50	1.19 0.82–2.08	1.21 0.58–2.11
Tl	0.51 0.14–0.98	0.36 0.11–0.43	0.13 0.03–0.68	0.44	0.28 0.04–0.72	0.13 0.06–0.63	0.30 0.05–0.63	0.23 0.05–0.58	0.35 0.16–0.58	0.49 0.16–0.96	0.31 0.19–0.70
Pb	6.51 4.68–17.85	5.94 2.18–10.44	2.70 1.35–21.18	7.76	6.07 2.14–17.56	4.27 1.40–12.35	8.74 1.56–60.57	8.29 5.16–628.60	8.99 6.02–27.81	8.00 2.01–19.74	7.26 3.71–37.20
Bi	0.03 0.02–0.22	0.02 0.01–0.05	0.02 0.01–0.15	0.10	0.04 0.01–0.15	0.03 0.01–0.21	0.04 0.02–0.15	0.03 0.01–0.05	0.08 0.03–0.52	0.11 0.04–0.31	0.10 0.02–0.22
Th	3.74 1.67–8.75	5.09 1.97–7.58	2.22 1.29–7.40	6.75	3.15 0.87–16.55	2.65 1.25–7.84	3.65 1.71–13.21	4.73 2.81–12.65	4.15 2.41–8.26	4.52 1.78–10.09	8.94 2.28–21.20
U	1.37 0.33–3.87	0.92 0.65–1.41	0.61 0.23–3.06	1.66	0.98 0.25–19.18	0.52 0.25–1.84	1.07 0.53–2.83	0.60 0.30–1.43	0.88 0.50–2.21	1.39 0.86–3.96	1.59 0.39–3.96
n	4	4	17	2	12	15	10	11	9	22	11

Примечание. В числителе – медианное содержание; в знаменателе – минимальное и максимальное содержания; # – среднее арифметическое значение по свите; n – количество образцов; прочерк – нет данных.

Таблица 15

Медианное содержание РЗЭ в песчаниках верхнего докембрия Волго-Уральской области, г/т

Элемент	Свита										
	Прикамская	Надеждинская	Тукаевская	Ольховская[#]	Усинская	Леонидовская	Приютовская	Байкибашевская	Старопетровская	Салиховская	Карлинская
La	11.20 9.53–25.74	9.04 6.57–21.98	6.95 4.07–12.43	23.38	12.56 1.84–23.00	9.38 4.33–30.02	10.78 6.76–31.54	13.08 8.89–22.48	12.673.49– 20.02	11.46 3.42–74.49	17.86 8.48–47.31
Ce	22.42 16.41–50.86	19.67 12.86–46.98	15.05 8.69–27.78	48.78	25.98 3.20–47.34	20.94 8.66–43.02	24.97 13.46–66.41	26.21 19.18–52.16	25.85 6.72–47.01	22.16 7.04–154.78	40.08 18.77–81.32
Pr	2.39 1.97–5.99	2.18 1.39–5.16	1.67 0.99–2.95	5.57	3.04 0.36–8.75	2.36 1.03–6.98	2.81 1.51–7.72	3.04 1.90–5.30	2.75 0.74–5.19	2.62 0.84–23.20	4.74 2.01–11.82
Nd	9.29 7.47–22.58	8.52 5.02–19.79	6.54 3.88–11.82	21.51	11.41 1.38–42.03	9.15 3.94–26.56	10.91 6.91–29.76	11.23 7.25–19.61	10.26 2.98–21.81	10.12 3.41–87.70	18.67 7.31–44.51
Sm	1.54 1.18–3.54	1.49 0.70–3.24	1.16 0.67–2.05	4.06	1.76 0.34–9.93	1.59 0.67–4.75	1.92 0.92–5.35	1.83 1.21–3.00	2.03 0.67–5.14	1.88 0.69–15.10	3.79 1.20–7.57
Eu	0.39 0.26–0.91	0.31 0.16–0.63	0.23 0.12–0.48	0.86	0.37 0.10–2.16	0.33 0.11–0.95	0.42 0.17–1.09	0.42 0.20–0.64	0.54 0.16–1.03	0.43 0.15–3.13	0.85 0.28–1.49
Gd	1.26 0.82–2.45	1.29 0.53–2.10	0.88 0.46–2.08	3.63	1.53 0.42–8.42	1.32 0.51–3.85	1.54 0.63–4.65	1.31 0.81–2.49	1.76 0.71–4.76	1.70 0.66–11.09	3.60 1.06–6.37
Tb	0.20 0.12–0.36	0.18 0.08–0.27	0.12 0.05–0.29	0.52	0.19 0.06–1.21	0.15 0.05–0.55	0.22 0.09–0.62	0.17 0.11–0.34	0.28 0.13–0.72	0.26 0.09–1.30	0.56 0.13–1.00
Dy	1.35 0.85–2.57	1.14 0.57–1.71	0.74 0.30–1.70	3.22	1.10 0.40–7.94	0.93 0.27–3.25	1.31 0.60–3.87	1.05 0.69–2.17	1.79 1.00–4.49	1.68 0.63–6.59	3.70 0.82–6.43
Ho	0.290.18– 0.58	0.24 0.12–0.33	0.14 0.06–0.33	0.66	0.22 0.08–1.62	0.18 0.05–0.62	0.26 0.13–0.76	0.21 0.14–0.45	0.37 0.21–0.89	0.35 0.14–1.08	0.76 0.16–1.31
Er	0.820.50– 1.84	0.69 0.36–0.99	0.40 0.16–0.94	1.84	0.66 0.24–4.80	0.50 0.14–1.77	0.74 0.37–2.12	0.61 0.39–1.25	1.12 0.66–2.54	1.07 0.41–2.60	2.18 0.46–3.88
Tm	0.14 0.07–0.30	0.11 0.05–0.16	0.06 0.02–0.16	0.28	0.11 0.04–0.72	0.08 0.02–0.27	0.11 0.06–0.32	0.09 0.06–0.18	0.19 0.10–0.37	0.18 0.07–0.35	0.32 0.07–0.64
Yb	0.88 0.46–2.05	0.75 0.39–1.10	0.48 0.17–1.11	1.79	0.70 0.22–4.97	0.56 0.15–1.95	0.75 0.39–2.11	0.64 0.37–1.15	1.23 0.70–2.54	1.24 0.50–2.43	2.19 0.48–4.34
Lu	0.14 0.07–0.35	0.12 0.06–0.18	0.06 0.02–0.18	0.28	0.11 0.04–0.77	0.09 0.02–0.27	0.12 0.07–0.33	0.10 0.06–0.18	0.17 0.10–0.39	0.19 0.08–0.36	0.33 0.07–0.64
n	4	4	17	2	12	15	10	11	9	22	11

Примечание. **В числителе – медианное значение; в знаменателе – минимальное и максимальное значения;** [#] – среднее арифметическое значение по свите; n – количество образцов.

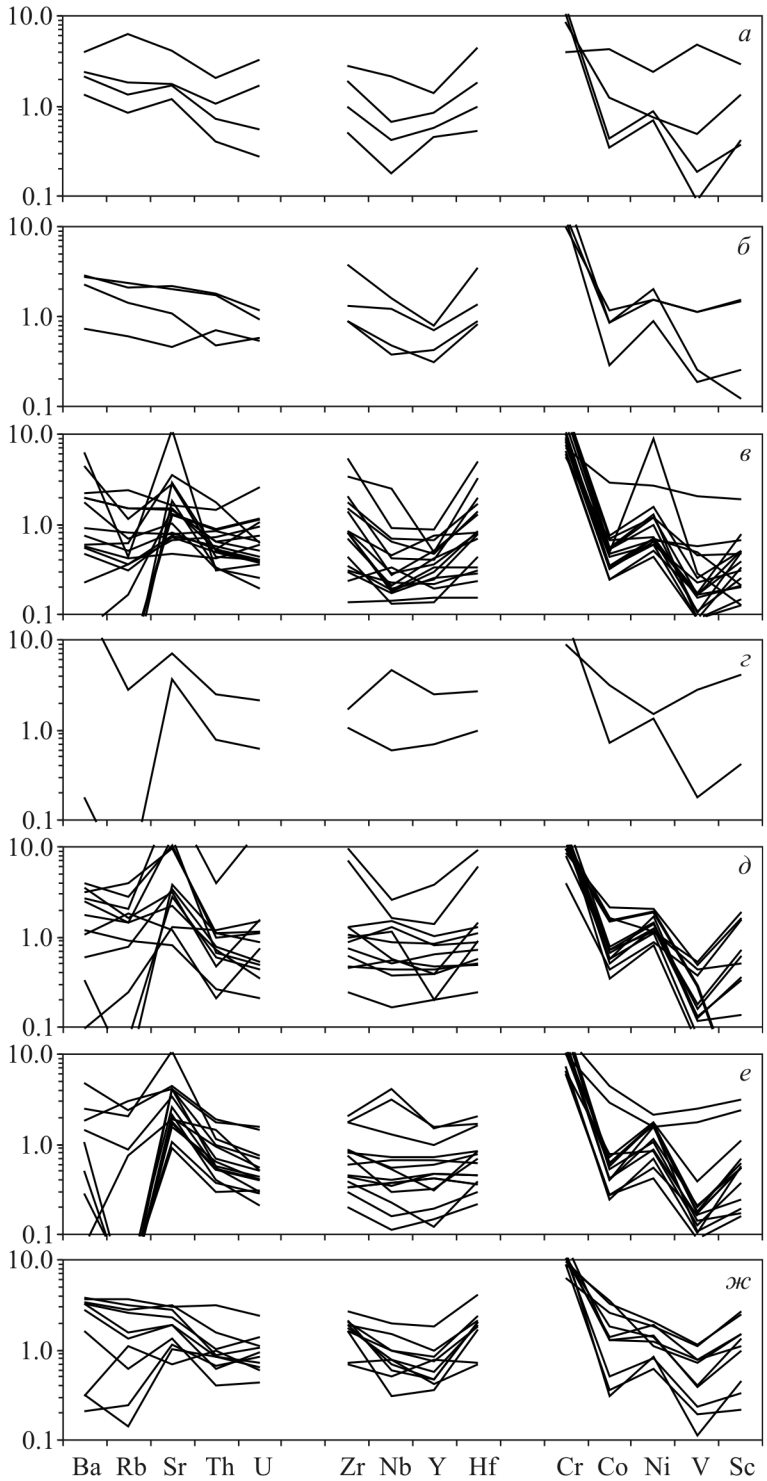


Рис. 38. Содержание крупноионных литофильных, высокозарядных и переходных элементов в песчаниках прикамской (*а*), надеждинской (*б*), тукаевской (*в*), ольховской (*г*), усинской (*д*), леонидовской (*е*) и приютовской (*ж*) свит рифея Камско-Бельского авлакогена, нормированные на их содержание в СПКП

шающим содержание названных элементов в СПКП, тогда как в других образцах при относительно высокой концентрации стронция (2.93…3.57×СПКП) содержание бария составляет всего 0.05…0.60×СПКП. Содержание Th и U в подавляющем числе изученных нами образцов данного уровня рифея ниже, чем в СПКП.

В псаммитах ольховской свиты варьируется содержание не только крупноионных литофильных, но и большинства других элементов-примесей (см. рис. 38, *г*), что может быть следствием как незначительного объема выборки при заметных различиях состава (всего проанализировано 2 образца), так и ряда аналитических проблем.

Песчаники усинской свиты обладают и крайне низкой (на уровне 0.07…0.33×СПКП), и достаточно высокой относительно СПКП (до 3.93×СПКП) концентрацией бария (см. рис. 38, *д*). Содержание Rb в них в целом несколько выше, чем в СПКП, тогда как содержание Sr выше в 11 из 12 проанализированных нами образцов (значение $C_{обр}/C_{СПКП}$ варьируется от 1.21 до 33.36×СПКП). В то же время распределение урана и тория в песчаниках этой свиты напоминает то, что характерно для песчаников тукаевской свиты.

В песчаниках леонидовской свиты Ba присутствует как в большей, так и в меньшей концентрации, нежели в СПКП (см. рис. 38, *е*). Содержание Rb в подавляющей части образцов существенно ниже, чем в СПКП. Для Sr картина обратная. Содержание Th и U в псаммитах данного уровня в целом несколько ниже, чем в среднем протерозойском кратонном песчанике.

Большинство изученных нами образцов песчаников приютовской свиты характеризуется несколько более высоким содержанием Ba, Rb и Sr, чем СПКП, тогда как Th и U распределяются в них примерно так же, как в псаммитах подстилающих уровней рифея (см. рис. 38, *ж*).

Распределение крупноионных литофильных элементов в песчаниках байкибашевской, старопетровской и салиховской свит венда в существенной степени сопоставимо с тем, что отличает песчаники среднего и верхнего рифея Камско-Бельского авлакогена (рис. 39, *а–в*). Подавляющему большинству проанализированных нами образцов псаммитов перечисленных выше свит свойственно значительно более высокое, чем в СПКП, содержание Ba и Sr, тогда как Rb, Th и U могут концентрироваться в них как в большем, так и в меньшем количестве, чем в среднем протерозойском кратонном песчанике. Песчаники карлинской свиты по характеру распределения рассматриваемой группы элементов-примесей, напротив, ближе к псаммитам нижнего рифея (см. рис. 39, *г*): существенный разброс значений $C_{обр}/C_{СПКП}$ для входящих в группу крупноионных литофилов элементов в них отсутствует.

5.1.2. Высокозарядные элементы (Zr, Nb, Y, Hf)

Содержание высокозарядных элементов в большинстве изученных нами образцов песчаников рифея Камско-Бельского авлакогена несколько ниже, чем это указано К. Конди для СПКП (см. рис. 38). При этом наименьшая (по сравнению с СПКП) концентрация Nb и Y характерна для песчаников прикамской, надеждинской и тукаевской свит (кривые распределения элементов группы имеют здесь характерный корытообразный вид), тогда как в псаммитах усинской и леонидовской свит такой феномен, как правило, не наблюдается.

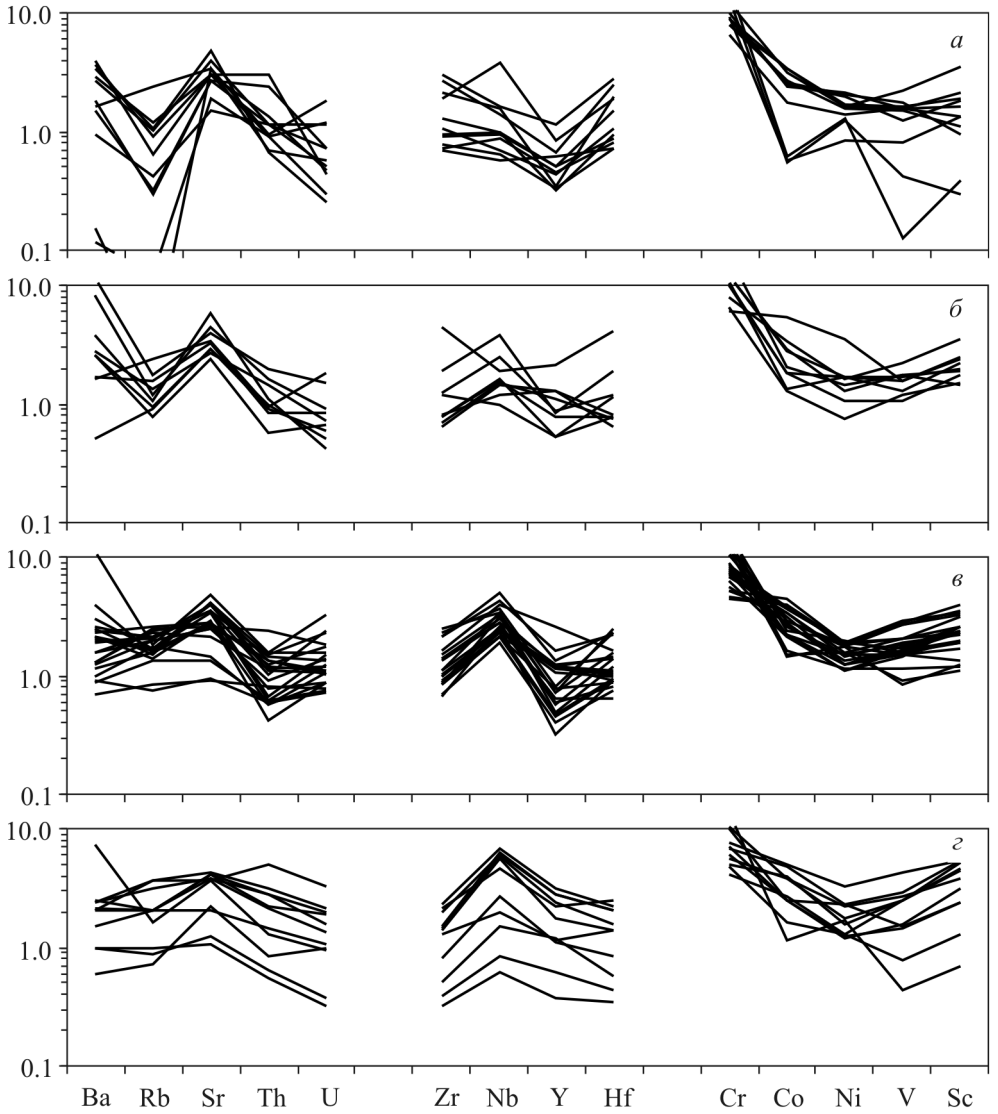


Рис. 39. Содержание крупноионных литофильных, высокозарядных и переходных элементов в песчаниках байкибашевской (*а*), старопетровской (*б*), салиховской (*в*) и карлинской (*г*) свит венда Шкаповско-Шиханской впадины, нормированное на их содержание в СПКП

Анализ соотношений между входящими в состав данной группы элементами (при этом рассматривались в основном песчаники с более высоким, чем в СПКП, их содержанием) свидетельствует, что в имеющейся в нашем распоряжении выборке есть не менее двух типов распределения Zr, Nb и Hf. Для первого из них характерны более высокие значения соотношений $Zr_{обр}/Zr_{СПКП}$ и $Hf_{обр}/Hf_{СПКП}$, чем отношение $Nb_{обр}/Nb_{СПКП}$. Такой тип свойствен песчаникам прикамской (образцы КБА-109, КБА-111), надеждинской (образцы КБА-83,

КБА-84), тукаевской (образцы КБА-91, КБА-92 и др.), приютовской (образцы КБА-118, КБА-119, КБА-117 и др.) и байкибашевской свит, наблюдается он и в части образцов усинского уровня (в частности, КБА-75, КБА-79). Второй тип характеризуется более высокими, чем в двух других соотношениях, значениями $Nb_{обр}/Nb_{СПКП}$ и присутствует в части образцов ольховской (обр. КБА-122), усинской (образцы КБА-71, КБА-74 и др.) и леонидовской свит.

В песчаниках верхнего венда Шкаповско-Шиханской впадины содержание высокозарядных элементов может быть как выше, так и ниже их содержания в СПКП (см. рис. 39). Присущий песчаникам рифея второй тип распределения элементов этой группы ярче всего проявлен в псаммитах старопетровской, салиховской и карлинской свит, тогда как на байкибашевском уровне он наблюдается только в одном из 11 изученных образцов (обр. КБА-49).

5.1.3. Группа переходных металлов (Cr, Co, Ni, V, Sc)

Распределение нормированного на СПКП содержания переходных металлов в песчаниках рифея достаточно однотипно (см. рис. 38): концентрация Cr в них существенно выше, чем в среднем протерозойском кратонном песчанике, содержание Co в основном ниже (кроме нескольких образцов псаммитов приютовской свиты), содержание Ni достаточно близко к тому, что указаны К. Конди для СПКП, тогда как содержание V почти во всех проанализированных нами песчаниках значительно ниже. Сведений о содержании в песчаниках Cu в нашем распоряжении нет, а Sc имеет как более высокую, чем в СПКП, так и более низкую концентрацию. Исключение составляют псаммиты тукаевской свиты, в 16 из 17 изученных нами образцов которых значение соотношения $Sc_{обр}/Sc_{СПКП}$ варьируется в пределах 0.13–0.78.

Общий характер кривых распределения элементов данной группы в песчаниках верхнего венда сопоставим с характером кривых, свойственных песчаникам рифея (ср. рис. 38, 39), однако при этом наблюдается и ряд отличий. Так, в песчаниках рифея содержание Co в основном ниже, чем в СПКП, тогда как в песчаниках венда Co присутствует в сопоставимом с СПКП или же большем количестве. Это же установлено и для V. Концентрация скандия в песчаниках рифея в основном меньше, чем в СПКП, в песчаниках венда содержание этого элемента, напротив, в большинстве случаев выше, чем в СПКП.

5.1.4. Редкоземельные элементы (La, Sm, Gd, Yb, Lu)

Содержание редкоземельных элементов в песчаниках верхнего докембрия Камско-Бельского авлакогена и Шкаповско-Шиханской впадины в подавляющем большинстве проанализированных нами образцов сопоставимо с содержанием редкоземельных элементов (РЗЭ) в СПКП (рис. 40, 41), только концентрация Yb в песчаниках и рифея, и венда несколько выше, чем в СПКП (возможно, вследствие аналитической ошибки). Псаммиты прикамской, надеждинской и байкибашевской свит несколько обеднены тяжелыми лантаноидами, в песчаниках остальных литостратиграфических уровней верхнего докембрия этого на наблюдается.

Спектры распределения нормированного на хондрит (Тейлор, МакЛеннан, 1988) содержания РЗЭ в песчаниках разных свит рифея Камско-Бельского ав-

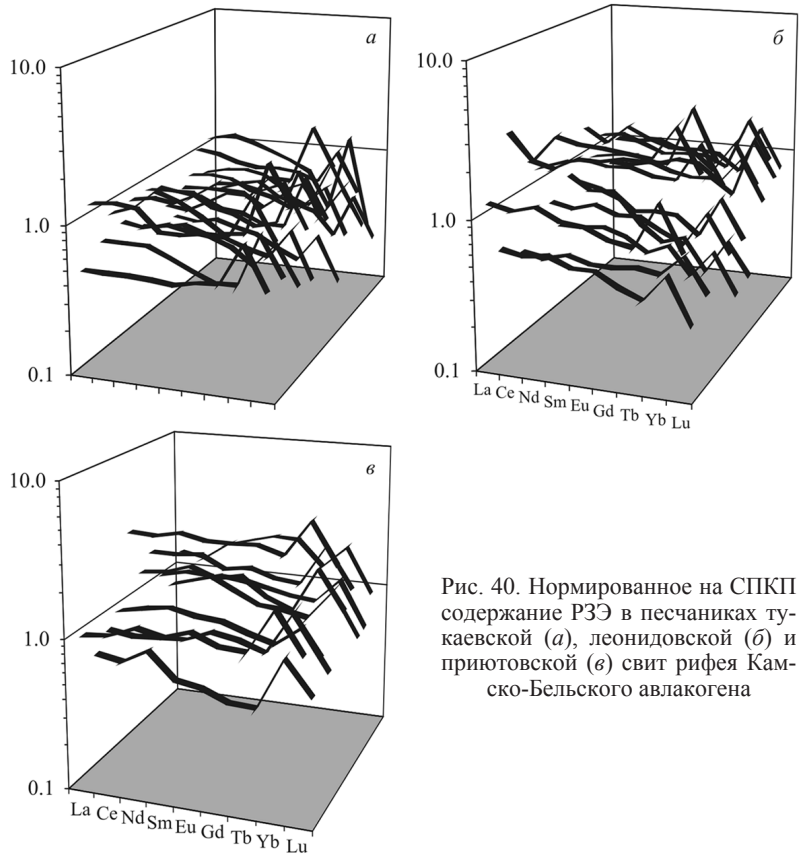


Рис. 40. Нормированное на СПКП содержание РЗЭ в песчаниках тукаевской (*а*), леонидовской (*б*) и приютовской (*в*) свит рифея Камско-Бельского авлакогена

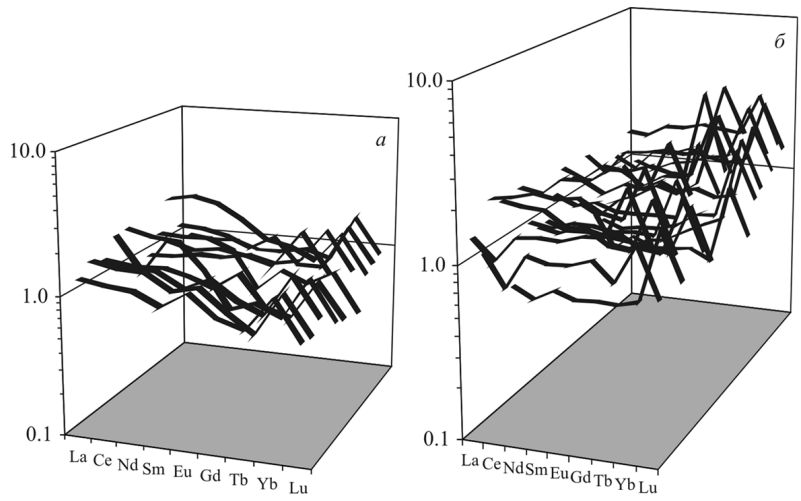


Рис. 41. Нормированное на СПКП содержание РЗЭ в песчаниках байкибашевской (*а*) и салиховской (*б*) свит верхнего венда Шкаповско-Шиханской впадины

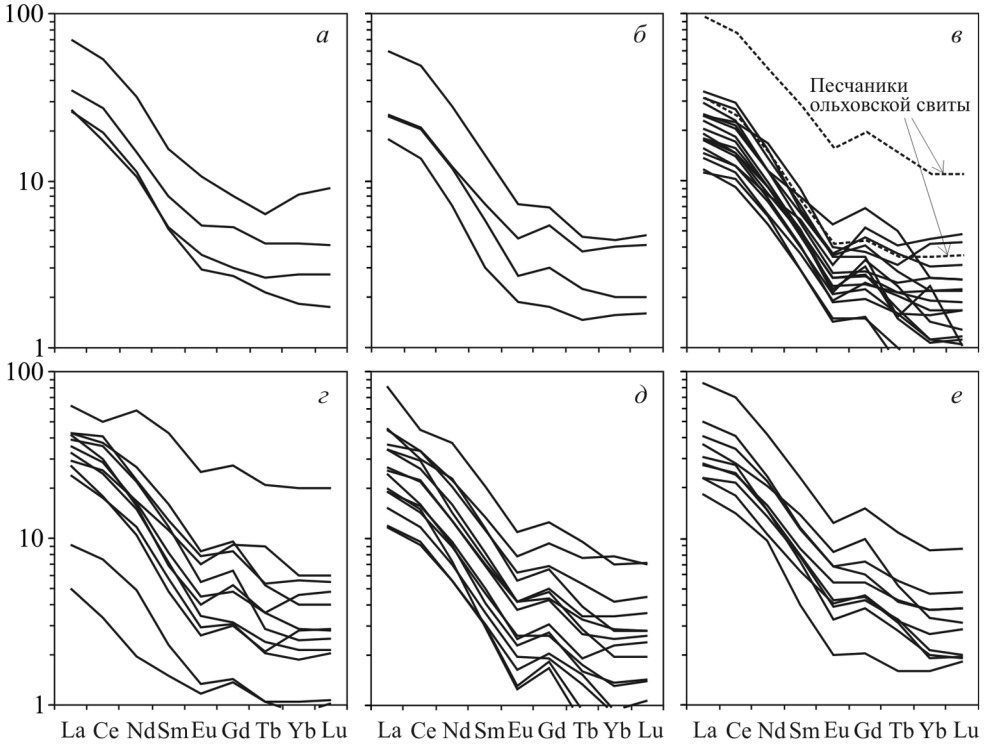


Рис. 42. Нормированные на хондрит спектры распределения РЗЭ в песчаниках разных литостратиграфических подразделений рифея Камско-Бельского авлакогена:
а – прикамская; *б* – надеждинская; *в* – тукаевская; *г* – усинская; *д* – леонидовская; *е* – приютовская

лакогена приведены на рис. 42, в табл. 16 показаны их основные числовые параметры. Значение La_N/Yb_N в песчаниках прикамской свиты варьируется в интервале 8–14, значение Eu/Eu* относительно невелико (0.79–0.95), а параметр Gd_N/Yb_N находится в пределах 0.97–1.46, что почти не отличается от его значений в подавляющем количестве постархейских ТОП. Медианное значение La_N/Yb_N в песчаниках надеждинской свиты несколько выше, чем это свойственно псаммитам прикамского уровня. Однако если минимальное значение данного параметра в песчаниках прикамской свиты составляло ~8, то в надеждинских песчаниках оно равно ~6. Значения параметра Gd_N/Yb_N в псаммитах надеждинского уровня сопоставимы с теми, что характерны и для песчаников прикамской свиты. Это же установлено и для Eu-аномалии, хотя определенное различие медианных величин Eu/Eu* все же есть. Медианное значение La_N/Yb_N в песчаниках тукаевской свиты почти совпадает со значением данного параметра в псаммитах надеждинской свиты (соответственно, 11.19 и 11.73), но отмеченная выше тенденция к снижению минимальных значений La_N/Yb_N вверх по разрезу прослеживается и здесь. Ниже, чем в псаммитах надеждинского уровня, здесь и медианное значение Eu-аномалии (соответственно, 0.69 и 0.73). Пределы же изменения Gd_N/Yb_N в песчаниках тукаевской свиты существенно больше, чем в псаммитах и надеждинского, и прикамского уровней. Песчаники ольховской свиты по параметрам нормированных на хондрит спек-

Таблица 16

Медианное значение параметров нормированных на хондрит спектров распределения РЗЭ в песчаниках верхнего докембрия Волго-Уральской области

Свита	La_N/Yb_N	La_N/Sm_N	Gd_N/Yb_N	Eu/Eu*	n
Прикамская	9.02 8.09–14.12	4.82 4.28–5.07	1.15 0.97–1.46	0.87 0.79–0.95	4
Надеждинская	11.73 6.23–13.48	4.24 3.49–5.93	1.41 1.12–1.55	0.73 0.64–0.82	4
Тукаевская	11.19 3.46–17.10	3.80 2.63–5.10	1.53 0.90–2.85	0.69 0.53–0.74	16
Ольховская#	8.88	3.81	1.51	0.70	2
Усинская	9.94 3.13–15.96	3.71 1.46–6.10	1.51 1.06–2.59	0.71 0.63–0.82	12
Леонидовская	12.52 5.65–33.39	3.97 3.26–6.86	1.97 1.19–2.89	0.69 0.56–0.75	15
Приютовская	10.96 7.59–15.35	3.61 2.69–4.64	1.74 1.29–3.01	0.71 0.62–0.81	10
Байкибашевская	15.00 7.82–27.74	4.72 3.42–6.66	1.69 1.31–2.70	0.75 0.40–1.03	11
Старопетровская	7.49 2.52–10.65	3.61 2.37–4.52	1.52 0.62–1.90	0.73 0.64–1.06	9
Салиховская	6.73 2.65–12.73	3.46 2.96–5.52	1.28 0.75–2.16	0.69 0.57–0.78	22
Карлинская	7.33 3.78–11.99	3.45 1.82–4.45	1.47 0.79–3.11	0.67 0.56–0.76	11

Примечание. В числителе – медианное значение; в знаменателе – минимальное и максимальное значения; # – среднее арифметическое значение по свите; n – количество образцов.

тров распределения РЗЭ почти не отличаются от псаммитов тукаевской свиты (см. рис. 42, *в*).

Минимальное значение La_N/Yb_N в псаммитах усинской свиты составляет ~3, что может рассматриваться как следствие присутствия в них значительного количества продуктов разрушения пород основного состава (максимальное значение приближается к 16). Для песчаников этого уровня рифея характерно также наименьшее (среди всех рассмотренных ранее) медианное значение La_N/Sm_N. Пределы изменения значений Eu/Eu* близки к тем, что выявлены для песчаников надеждинской свиты. Также, как и в песчаниках тукаевской свиты, здесь присутствуют образцы с весьма высокими значениями Gd_N/Yb_N. Песчаники леонидовской свиты демонстрируют максимальный для всей изученной нами выборки верхнедокембрийских песчаников Волго-Уральской области разброс значений La_N/Yb_N (5.65–33.39). Медианное значение отрицательной европиевой аномалии в них достаточно приближено к значениям Eu/Eu* в песчаниках надеждинской, тукаевской, ольховской и усинской свит, а максимальные значения Gd_N/Yb_N даже несколько выше, чем в псаммитах усинского уровня (соответственно, 2.89 и 2.59). Принципиально не отличаются по своей РЗЭ-систематике от псаммитов леонидовской свиты и песчаники приютовского уровня. Интересно, что максимальное значение Gd_N/Yb_N в них состав-

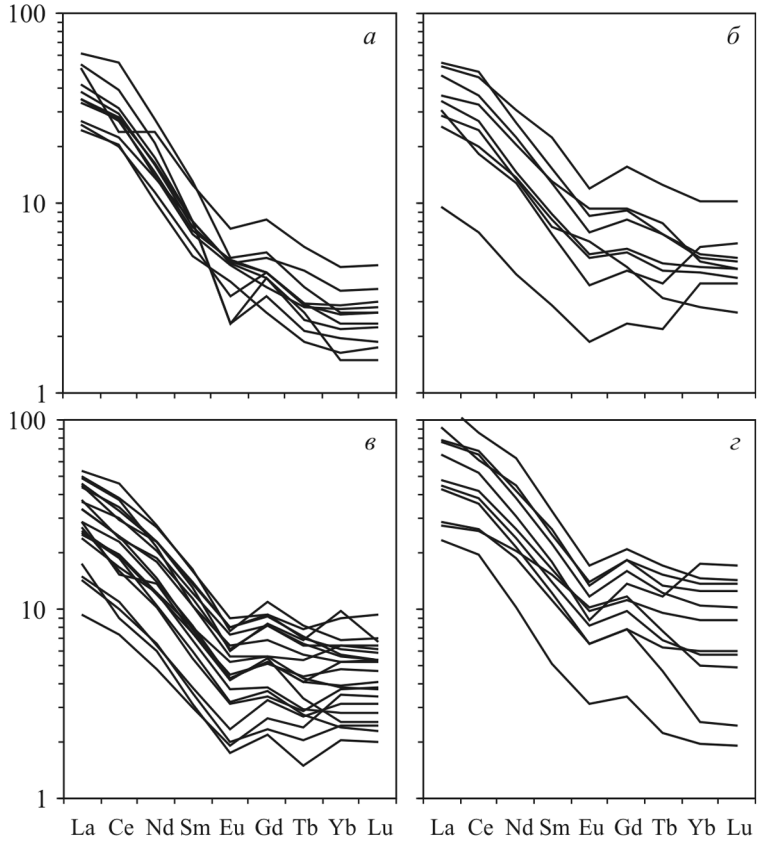


Рис. 43. Нормированные на хондрит спектры распределения РЗЭ в песчаниках разных литостратиграфических подразделений венда Шкаповско-Шиханской впадины:
а – байкибашевская; *б* – старопетровская; *в* – салиховская; *г* – карлинская

ляет 3.01, данный параметр во всей проанализированной нами выборке выше только для образца КБА-7 карлинской свиты.

Спектры распределения нормированного на хондрит содержания РЗЭ в песчаниках разных свит верхнего венда Шкаповско-Шиханской впадины показаны на рис. 43, а их числовые параметры приведены в табл. 16. Анализ этих материалов позволяет утверждать, что РЗЭ-систематика псаммитов байкибашевской свиты в существенной мере отличается от систематики песчаников трех других свит шкаповской и каировской серий. Медианное значение La_N/Yb_N в песчаниках байкибашевской свиты составляет 15 (минимум – 7.8, максимум – 27.7), этот же параметр в псаммитах старопетровской, салиховской и карлинской свит варьируется в пределах 6.7–7.5. Значительно меньше в песчаниках указанных уровней и медианное значение La_N/Sm_N, а пределы изменения значения Gd_N/Yb_N – больше.

На рис. 44 показаны особенности и пределы изменения La_N/Yb_N в песчаниках всего верхнедокембрийского разреза Волго-Уральской области. Хорошо видно, что рифейский интервал подразделяется на две части: в восходящем



Рис. 44. Особенности изменения значений La_N/Yb_N в песчаниках верхнедокембрийского разреза Волго-Уральской области

разрезе от прикамской свиты к тукаевско-усинскому уровню минимальные значения La_N/Yb_N постепенно уменьшаются (что и было отмечено выше), а в усинско-приютовском интервале тенденция имеет обратный характер. Для байкибашевско-карлинского интервала тенденция изменения минимальных значений La_N/Yb_N аналогична той, что выявлена в прикамско-усинском интервале.

Песчаники рифея в целом почти не обладают значениями Gd_N/Yb_N ниже 1.0 (рис. 45), тогда как значительное деплетирование тяжелыми лантаноидами свойственно целому ряду образцов псаммитов тукаевской, усинской, леонидовской и приютовской свит. Такое же распределение элементов присуще псаммитам байкибашевской свиты и (в некоторой степени) песчаникам карлинской свиты. Более же высокие уровни верхнедокембрийского разреза заметно обогащены тяжелыми редкоземельными элементами (ТРЗЭ), что может быть обусловлено присутствием/появлением в их тяжелой фракции существенной доли граната.

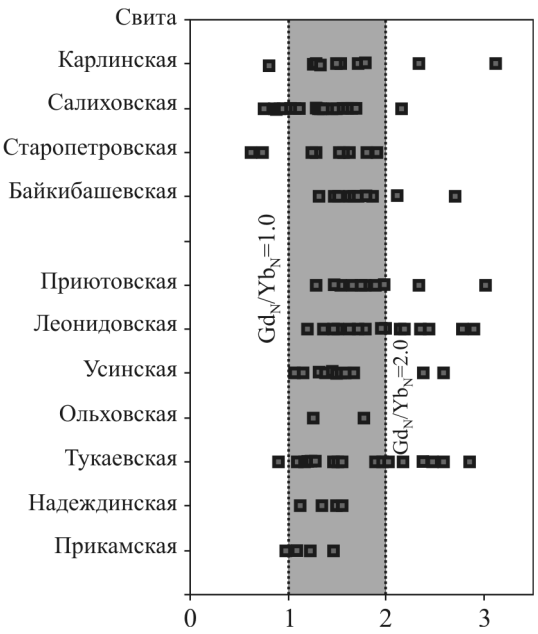


Рис. 45. Вариации Gd_N/Yb_N в песчаниках верхнедокембрийского разреза Волго-Уральской области.
Серым цветом выделена область значений, типичных для пород без деплетирования или обогащения ТРЗЭ

Характер изменения в песчаниках снизу вверх по разрезу рифея и венда Волго-Уральской области значений **Eu/Eu* в существенной мере напоминает** особенности изменения La_N/Yb_N (рис. 46). В псаммитах нижней части разреза рифея интервал значений **Eu/Eu* снижается,** тогда как в песчаниках верхней части рифея наблюдается об-

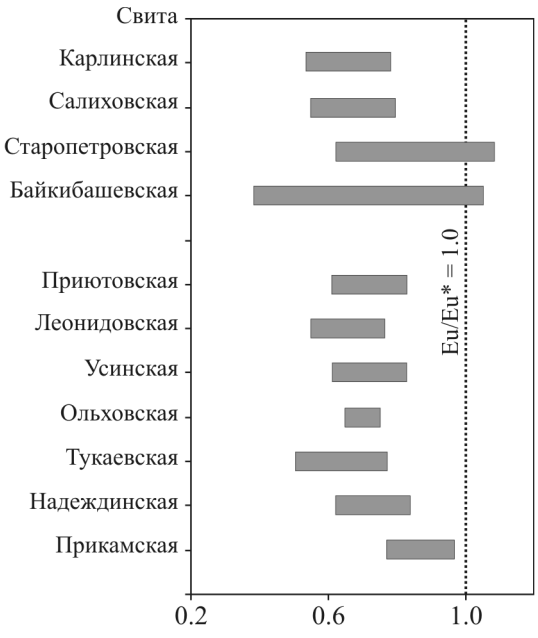


Рис. 46. Особенности изменения значений Eu/Eu* в песчаниках верхнедокембрийского разреза Волго-Уральской области

ратная тенденция. Песчаники байкибашевской свиты венда имеют максимальный разброс значений Eu/Eu* в индивидуальных образцах (0.40–1.06). Максимальное значение европиевой аномалии в песчаниках старопетровской свиты составляет 1.06, минимальное – 0.64, тогда как в псаммитах и салиховской, и карлинской свит значения Eu/Eu* варьируются в более узких пределах (соответственно, 0.57–0.78 и 0.56–0.76).

5.2. ТОНКОЗЕРНИСТЫЕ ОБЛОМОЧНЫЕ ПОРОДЫ

Содержание элементов-примесей в глинистых сланцах и алевритистых аргиллитах всех литостратиграфических подразделений рифея и венда Камско-Бельского авлакогена и Шкаповско-Шиханской впадины (как в индивидуальных образцах, так и медианные значения) приведены в табл. 17–20. Содержание значительной части элементов-примесей в тонкозернистых обломочных породах рифея Камско-Бельского авлакогена варьируется в достаточно широких пределах. Так, медианная концентрация Sc, V и Cr в глинистых сланцах прикамской свиты кырпинской серии составляет 9.6, 85.6 и 76.8 г/т, минимальное содержание названных элементов равно, соответственно, 4.65, 52.62 и 61.52 г/т, а максимальное – 16.87, 123.75 и 138.26 г/т. В ТОП арланской подсвиты калтасинской свиты наибольшие вариации содержания присущи Sr, Y, Zr, Eu, Gd и ряду других элементов. Глинистые сланцы тукаевской свиты характеризуются значительными колебаниями в содержании Sr, Co, Mo, Gd и Th. Так, минимальное содержание в них Sr составляет чуть более 9 г/т, тогда как максимальное превышает 18 г/т. Минимальное содержание Co (7.3 г/т) более чем вчетверо отличается здесь от максимального. В глинистых сланцах ольховской свиты в значительных пределах варьируется содержание Co (9.28–44.52 г/т), Ni (17.09–95.45 г/т), Th (2.18–22.78 г/т) и ряда других элементов. В тонкозернистых обломочных породах приютовской свиты к элементам с почти трехкратным разбросом их минимального и максимального содержания относятся Cr (61.0 и 126.2 г/т), Co (14.3 и 29.5 г/т), Ni (27.5 и 67.3 г/т), Mo (0.3 и 1.2 г/т), Cs (3.7 и 8.4 г/т), La (15.2 и 33.9 г/т), Ce (34 и ~78 г/т), а также Th (9.4 и 19.2 г/т) и U (1.7 и 7.7 г/т).

Таблица 17

Содержание элементов-примесей (без РЗЭ) в ТОП верхнего докембрия Волго-Уральской области, г/т

Образец	Li	Be	Sc	V	Cr	Co	Ni	Cu	Zn	Ga	Ge	Rb	Sr	Y	Zr	Nb	Mo	Ag	Cd	Sn	Sb	Te	Cs	Ba	Hf	Ta	W	Tl	Pb	Bi	Th	U
Прикамская свита																																
ПБ-43	37.5	3.01	11.7	107.2	105.8	18.7	37.7	34.4	41.9	24.3	1.70	74.9	25.5	9.87	134.9	12.9	0.85	0.50	0.01	2.08	0.38	0.02	4.36	125.6	4.96	0.93	1.39	0.80	8.03	0.72	4.74	4.67
ПБ-37	38.4	2.45	13.4	96.7	131.0	21.4	44.4	8.21	37.6	23.9	1.59	53.9	32.7	16.1	170.2	14.1	0.39	0.24	0.00	2.15	0.40	0.01	3.76	197.7	6.28	1.04	1.56	0.68	8.30	0.10	11.5	4.15
ПБ-15	21.4	1.72	16.8	88.3	65.4	30.9	44.5	17.7	42.9	23.7	1.68	91.6	26.7	23.7	131.7	13.4	1.03	1.03	0.03	2.24	0.54	0.02	5.56	256.8	4.49	0.86	1.22	0.78	11.2	1.67	12.2	4.49
ПБ-16	12.5	2.18	11.5	87.5	75.6	16.6	43.4	8.61	53.6	25.0	2.73	88.9	49.5	11.0	100.7	14.2	0.22	0.27	0.01	2.45	0.35	0.01	7.60	255.1	3.50	0.93	1.20	0.80	6.71	0.06	10.0	2.76
ПБ-17	12.3	0.96	6.05	54.4	73.0	23.3	28.4	47.1	34.6	14.9	1.79	37.8	33.5	11.5	164.2	8.28	0.23	0.51	0.01	1.32	0.25	0.01	2.31	281.4	5.51	0.58	0.75	0.49	9.16	0.20	8.92	2.16
ПБ-18	8.02	0.77	7.68	52.6	130.1	16.6	40.5	7.39	42.8	16.4	1.47	65.8	41.9	7.58	146.2	10.1	0.26	0.22	0.01	1.64	0.19	0.02	3.70	338.2	4.87	0.68	0.70	0.61	7.75	0.05	7.12	2.30
ПБ-21	17.9	1.41	12.3	86.0	76.1	13.4	27.0	11.1	41.9	19.3	1.32	82.3	91.5	17.0	147.0	12.2	0.98	0.26	0.01	2.04	0.57	0.02	6.12	308.8	5.01	0.82	1.29	0.70	11.8	0.28	12.9	3.31
ПБ-22	13.0	1.96	13.0	85.1	74.2	17.2	34.5	173.9	45.4	22.9	2.35	100.9	55.4	13.9	133.3	14.5	0.18	0.37	0.01	2.66	0.34	0.01	7.16	341.1	4.61	1.00	1.35	0.84	7.98	0.08	13.7	2.72
ПБ-23	18.8	1.46	10.3	67.8	61.5	15.2	28.2	14.2	41.8	19.1	1.31	86.2	79.8	14.5	152.3	13.3	0.51	0.38	0.02	2.04	0.32	0.03	5.17	231.7	5.30	0.87	1.36	0.73	8.56	0.28	10.2	3.74
ПБ-24	18.6	1.63	4.65	56.7	75.8	15.4	43.2	8.38	37.8	22.2	1.21	34.1	68.7	3.28	132.3	13.0	0.26	0.25	0.01	2.20	0.45	0.03	4.72	124.2	4.66	0.91	1.12	0.68	15.0	0.19	2.86	4.16
ПБ-25	17.1	1.50	4.94	66.4	77.0	14.8	31.6	7.28	32.9	19.5	1.28	29.5	43.2	3.82	196.6	12.7	0.26	0.28	0.01	2.05	0.43	0.03	4.31	135.0	6.87	0.89	1.23	0.66	13.2	0.19	4.85	3.89
ПБ-26	48.9	2.09	8.71	116.8	138.2	18.9	34.4	58.5	51.8	21.4	1.44	37.2	78.4	11.4	193.4	14.0	0.60	0.39	0.02	2.09	0.32	0.03	3.32	232.5	7.12	1.02	1.28	0.64	11.7	0.44	8.11	3.97
ПБ-27	38.0	2.19	6.53	60.8	76.4	18.0	28.4	111.2	42.8	19.8	1.49	41.6	49.3	14.0	169.0	15.4	0.22	0.31	0.00	2.11	0.29	0.02	3.33	218.8	6.53	1.06	1.24	0.65	6.89	0.04	7.87	3.66
ПБ-47	25.1	4.31	12.9	121.3	130.2	18.6	50.9	9.82	65.8	30.9	3.05	74.4	48.3	11.7	117.8	16.3	0.24	0.27	0.01	2.98	0.37	0.01	7.27	276.0	4.33	1.21	1.48	0.91	8.09	0.05	11.2	3.51
ПБ-50	35.8	2.52	8.91	123.7	98.1	19.3	38.7	28.6	39.8	23.1	1.69	81.7	23.4	8.76	116.9	12.8	0.92	0.47	0.02	2.09	0.36	0.03	4.60	125.6	4.16	0.90	1.31	0.72	7.58	0.74	4.61	4.23
ПБ-51	26.6	3.19	7.69	59.1	103.4	21.4	38.0	16.6	42.1	23.1	2.59	104.5	51.7	12.3	180.9	14.2	0.25	0.26	0.01	2.29	0.47	0.01	6.31	338.9	6.29	1.07	1.29	0.86	14.1	0.15	10.8	3.33
Калтасинская свита																																
ПБ-34	58.4	2.77	12.6	83.2	111.0	15.1	27.2	9.33	51.3	22.9	2.78	118.2	95.2	22.0	160.3	14.9	0.20	0.26	0.01	2.32	0.51	0.01	7.96	289.5	5.68	1.13	1.58	0.81	9.56	0.20	14.3	3.35
ПБ-35	71.2	3.36	13.1	99.5	99.4	18.8	30.6	14.3	69.3	25.1	3.16	76.9	70.1	12.7	140.6	13.5	0.20	0.24	0.02	2.35	0.44	0.01	8.78	247.9	4.90	1.01	1.30	0.77	8.54	0.15	11.9	2.95
ПБ-36	63.2	4.45	12.2	121.0	103.3	17.0	32.6	55.0	65.7	29.9	3.70	87.9	46.1	12.0	98.7	14.7	0.21	0.23	0.01	2.86	0.65	0.01	10.3	246.7	3.71	1.13	1.57	0.93	8.53	0.23	10.3	2.90
ПБ-38	64.8	4.21	10.4	113.6	108.4	16.8	32.3	45.9	66.0	28.5	3.57	70.5	46.5	9.90	109.3	15.9	0.20	0.27	0.02	3.06	0.63	0.01	9.34	214.1	4.16	1.22	1.73	0.98	8.53	0.23	9.00	3.00
Надеждинская свита																																
ПБ-1	29.5	2.30	15.1	76.1	153.5	17.0	46.9	91.5	28.3	23.5	1.68	92.0	53.5	20.3	96.7	13.2	1.02	0.32	0.02	2.49	0.25	0.03	4.67	409.5	3.76	1.08	1.52	0.71	20.7	0.16	13.62	3.71
ПБ-42	18.3	2.37	14.0	105.0	86.6	23.1	40.8	7.12	21.5	18.2	1.35	84.6	35.8	22.6	79.3	8.37	2.01	0.37	0.01	1.50	0.39	0.02	2.78	314.6	2.97	0.65	0.97	0.39	14.6	0.12	11.03	2.73
ПБ-53	41.2	1.53	7.40	60.9	107.9	17.0	29.7	28.5	68.7	14.6	1.43	94.4	46.3	13.3	100.7	10.0	0.55	0.19	0.06	1.45	0.34	0.01	3.26	371.8	2.53	0.69	0.96	0.71	12.4	0.23	6.14	2.08
ПБ-49	32.4	3.39	13.9	86.7	107.1	22.3	49.6	18.8	95.1	28.8	1.89	111.8	42.2	19.9	158.2	15.7	0.19	0.25	0.02	2.50	0.18	0.02	4.42	409.7	3.92	1.11	1.20	0.77	7.27	0.08	12.98	2.87

Окончание табл. 17

Образец	Li	Be	Sc	V	Cr	Co	Ni	Cu	Zn	Ga	Ge	Rb	Sr	Y	Zr	Nb	Mo	Ag	Cd	Sn	Sb	Te	Cs	Ba	Hf	Ta	W	Tl	Pb	Bi	Th	U
Тукаевская свита																																
ПБ-3	5.19	1.00	9.03	71.1	66.0	7.30	25.5	4.60	17.2	11.5	0.95	60.6	53.2	21.3	52.7	6.45	2.93	1.20	0.02	1.29	0.52	0.07	3.13	197.0	1.94	0.49	1.28	0.36	12.7	2.75	6.95	4.44
ПБ-14	18.9	1.91	11.1	83.8	106.4	30.41	41.6	12.08	19.7	21.5	2.06	82.9	57.3	20.2	108.9	13.1	1.68	0.63	0.02	2.46	1.13	0.02	4.10	291.0	3.87	0.90	1.47	0.63	22.4	0.46	10.9	2.98
ПБ-39	20.8	2.79	9.88	98.0	100.6	19.37	60.6	7.64	38.3	26.8	1.68	84.7	83.0	11.9	107.0	14.7	0.31	0.23	0.02	2.70	0.38	0.02	5.17	237.3	4.02	1.15	1.48	0.83	9.13	0.13	5.82	4.17
ПБ-40	11.9	4.19	18.3	136.5	119.5	15.81	46.2	8.55	34.3	27.7	2.07	107.8	76.8	19.9	90.6	12.3	2.25	0.22	0.01	2.43	0.70	0.02	5.64	259.4	3.41	0.97	1.55	0.69	11.9	0.24	12.4	4.87
Ольховская свита																																
ПБ-2	40.2	2.00	12.2	65.7	71.0	13.5	47.5	18.7	33.3	20.4	2.53	70.7	66.9	19.2	62.3	11.4	0.35	0.19	0.01	2.15	0.61	0.01	5.63	295.5	2.52	0.95	1.47	0.65	5.30	0.06	12.0	2.58
ПБ-4	37.2	3.86	28.8	162.9	152.9	44.52	95.4	13.2	34.7	44.8	3.67	160.4	195.0	34.26	220.0	32.6	3.72	0.68	0.02	4.71	0.69	0.07	8.24	425.7	8.04	1.94	2.83	1.00	18.7	0.48	22.7	7.48
ПБ-5	24.2	1.12	9.57	53.6	106.7	9.88	27.0	13.4	25.2	12.8	1.75	85.7	39.3	13.5	61.9	7.18	0.29	0.12	0.01	1.40	0.48	0.01	4.21	205.2	1.61	0.51	0.84	0.37	3.98	0.10	7.21	2.00
ПБ-6	37.4	0.97	10.1	49.1	70.0	12.6	25.7	23.5	34.9	12.8	1.74	77.7	121.3	15.5	67.1	7.77	0.40	0.18	0.01	1.40	0.28	0.02	3.74	371.0	2.35	0.50	0.67	0.41	4.97	0.11	7.26	2.19
ПБ-8	9.52	1.71	10.0	65.9	89.5	12.4	38.0	7.51	36.0	20.0	2.08	82.8	163.0	13.8	99.8	12.5	0.44	0.24	0.01	2.26	0.53	0.02	4.93	723.5	3.52	0.87	1.31	0.83	7.73	0.08	8.25	2.52
ПБ-11	10.5	1.91	15.4	77.3	91.3	21.2	43.2	8.31	33.1	22.7	2.17	101.5	204.6	23.1	118.8	13.7	0.36	0.37	0.01	2.43	0.48	0.01	5.76	307.5	4.11	0.94	1.24	0.70	8.16	1.17	12.0	3.08
ПБ-12	10.5	2.16	16.9	84.9	84.4	13.1	83.3	8.96	40.3	24.2	2.50	144.2	205.6	24.3	72.1	13.4	0.41	0.21	0.01	2.50	0.67	0.01	6.87	250.6	2.59	0.91	1.30	0.73	7.30	0.07	12.5	2.66
ПБ-13	14.0	2.34	14.1	101.8	88.3	13.3	38.0	8.25	18.3	25.9	2.26	76.1	81.9	16.2	98.5	13.9	1.03	0.33	0.01	2.70	0.34	0.04	4.76	245.0	3.46	0.97	1.41	0.52	8.43	0.33	11.9	4.24
ПБ-28	17.9	3.03	5.42	99.3	105.9	13.5	42.8	7.16	56.2	28.1	2.02	53.1	76.6	2.22	128.1	18.0	0.90	0.31	0.00	3.04	0.54	0.02	6.51	129.4	4.90	1.35	1.68	1.16	12.1	0.15	2.18	3.46
ПБ-29	19.0	3.29	12.4	87.6	98.0	30.3	49.0	15.5	41.6	25.9	2.38	78.6	129.5	18.1	104.2	15.1	0.40	0.39	0.01	2.71	0.54	0.02	5.56	250.2	4.02	1.16	1.59	0.96	9.47	0.55	10.4	3.00
ПБ-30	68.3	2.40	13.3	89.1	74.0	17.3	38.7	19.4	51.7	20.5	2.92	119.0	74.9	19.1	65.7	11.7	0.80	0.21	0.02	1.93	0.49	0.01	5.14	276.8	2.29	0.76	1.16	0.55	5.93	0.20	9.47	5.54
ПБ-31	110.2	1.67	12.0	53.3	83.6	17.1	34.6	32.5	45.7	16.2	2.73	101.3	113.3	13.8	61.8	7.42	0.67	0.15	0.01	1.32	0.32	0.02	3.75	880.2	2.15	0.49	0.79	0.40	5.28	0.17	7.20	2.26
ПБ-33	49.5	2.63	13.6	128.8	116.7	16.4	46.2	7.72	44.0	23.0	2.88	93.7	46.7	19.5	104.4	14.2	1.32	0.25	0.01	1.93	0.40	0.01	4.69	372.9	3.78	0.99	1.48	0.59	8.80	0.27	11.2	2.95
ПБ-44	68.1	5.75	10.3	101.3	85.4	22.7	59.0	12.0	76.4	39.1	2.37	63.9	211.8	5.22	116.3	17.4	0.47	0.28	0.01	2.87	0.43	0.01	5.64	239.0	4.24	1.22	1.18	0.82	11.1	0.29	5.86	2.71
ПБ-45	58.9	0.70	5.87	36.5	78.6	9.28	17.0	22.7	21.4	7.16	1.55	77.0	162.1	9.82	66.9	3.94	0.59	0.09	0.01	0.62	0.14	0.02	1.73	1841	1.66	0.28	0.44	0.24	3.09	0.11	4.01	1.11
ПБ-46	93.9	2.34	13.8	56.7	95.8	18.1	39.5	28.2	51.8	19.3	2.67	127.1	62.1	12.25	83.5	9.50	0.89	0.17	0.01	1.51	0.44	0.02	5.03	295.6	2.08	0.63	1.30	0.45	8.49	0.30	8.21	2.44
ПБ-48	29.2	2.71	13.6	82.3	80.5	16.0	43.3	12.9	46.0	17.8	3.11	112.5	77.0	16.7	118.6	8.94	1.09	0.22	0.02	1.32	0.47	0.02	4.45	317.1	2.90	0.63	0.99	0.41	9.91	0.09	8.06	2.91
Усинская свита																																
ПБ-19	28.7	1.87	13.1	52.1	80.7	18.2	38.3	29.5	71.6	22.1	1.95	95.6	38.9	23.9	163.2	16.6	0.60	0.31	0.02	2.08	0.48	0.02	5.18	407.5	5.46	1.02	1.23	0.63	11.8	0.16	12.5	3.80
ПБ-20	29.9	1.68	11.4	51.2	79.8	19.6	40.6	30.2	77.8	19.5	1.94	105.9	54.8	20.9	86.4	13.0	0.37	0.25	0.02	1.83	0.31	0.01	4.82	468.7	2.87	0.80	0.93	0.56	9.68	0.20	9.55	2.91
ПБ-41	37.7	5.92	18.9	71.4	101.5	23.2	75.2	13.0	99.8	35.1	1.66	110.3	97.4	23.8	184.8	19.0	0.10	0.31	0.02	3.12	0.17	0.02	6.11	404.2	6.93	1.41	1.28	0.90	7.92	0.11	16.5	3.23
ПБ-52	35.5	6.77	13.7	90.2	89.0	26.8	74.1	11.5	116.4	42.6	1.92	129.9	75.2	18.6	158.7	22.0	0.10	0.35	0.02	4.01	0.19	0.02	7.17	302.7	5.98	1.53	1.36	1.19	8.10	0.08	12.2	3.46

Прютовская свита																																
ПБ-7	45.1	2.80	21.3	75.7	86.3	29.5	67.2	50.5	85.0	35.8	2.16	160.4	157.9	23.1	150.0	18.2	1.21	0.32	0.03	3.05	0.27	0.01	8.35	421.4	5.20	1.25	1.25	1.01	17.0	0.26	19.1	2.97
ПБ-9	18.5	1.79	14.0	100.8	126.2	16.8	35.7	12.2	49.9	24.6	1.50	104.7	124.9	21.3	228.8	12.1	0.32	0.26	0.00	2.06	0.08	0.02	4.44	441.8	7.69	0.85	0.64	0.70	8.08	0.11	16.3	7.73
ПБ-10	32.1	1.52	10.4	62.0	61.0	14.6	27.5	15.6	46.9	18.8	1.36	92.6	88.9	18.0	224.7	11.8	0.29	0.24	0.01	1.76	0.10	0.01	4.16	422.8	7.05	0.76	0.63	0.58	6.69	0.11	11.2	4.27
ПБ-32	55.1	1.81	10.6	51.3	96.4	14.2	31.1	15.8	54.4	19.2	1.33	100.3	99.0	14.2	127.1	10.3	0.96	0.20	0.04	1.60	0.21	0.01	3.67	434.9	4.12	0.69	0.89	0.56	16.4	0.14	9.39	1.65
Байкибашевская свита																																
ИМ-11	15.6	0.61	3.29	24.8	177.1	7.01	23.3	4.51	30.5	7.17	–	22.4	31.9	5.09	94.4	4.53	0.17	–	–	–	–	–	0.59	169.8	1.67	–	0.30	–	4.16	0.04	2.63	0.50
Старопетровская свита																																
ИМ-28	95.4	2.77	17.4	117.0	97.5	21.4	21.7	21.7	73.2	25.6	–	158.1	92.2	28.3	147.7	21.3	0.48	–	–	–	–	–	8.74	529.3	4.48	–	1.89	–	10.8	0.52	13.9	2.24
ИМ-29	143.8	3.00	19.0	136.3	142.8	22.7	26.8	27.1	77.3	28.4	–	145.0	105.7	27.5	169.7	23.5	0.92	–	–	–	–	–	7.75	464.5	4.59	–	2.28	–	11.0	0.32	14.6	1.81
ИШ-14	54.4	3.34	17.7	111.8	77.8	19.8	32.6	28.7	87.6	24.2	–	166.7	79.0	25.5	151.2	16.0	0.19	–	–	–	–	–	9.15	416.4	4.11	–	1.17	–	7.89	0.36	12.7	1.53
ИМ-31	155.5	2.17	16.0	110.7	100.6	27.6	26.7	34.6	64.9	26.0	–	126.1	141.0	35.0	91.5	14.4	2.20	–	–	–	–	–	5.43	505.7	2.57	–	1.36	–	16.8	0.21	14.4	2.21
ИШ 16	87.8	2.09	14.2	104.7	174.7	11.1	29.3	33.7	75.9	22.4	–	126.7	118.5	23.8	251.8	12.4	0.56	–	–	–	–	–	4.80	650.6	6.50	–	0.96	–	12.0	0.25	14.0	2.16
ИШ 17	87.4	2.48	15.6	113.2	126.4	21.3	47.0	43.0	68.0	24.3	–	147.7	107.8	20.1	162.2	14.6	0.71	–	–	–	–	–	6.00	498.8	4.37	–	1.00	–	26.6	0.29	15.2	2.22
Салиховская свита																																
ИМ-1	29.6	2.48	14.2	97.6	33.4	12.1	27.3	18.2	121.0	36.5	–	170.7	77.5	39.6	345.0	23.2	0.63	–	–	–	–	–	9.65	333.6	5.80	–	2.72	–	22.5	0.37	17.8	–
ИМ-2	22.4	2.71	12.5	78.7	6.79	9.42	24.3	18.0	354.0	40.5	–	217.5	63.8	36.8	180.8	22.6	0.40	–	–	–	–	–	11.5	368.2	3.36	–	2.04	–	20.0	0.39	17.1	–
ИМ-3	54.1	3.50	17.2	94.3	–	14.9	43.7	16.3	85.4	19.9	–	166.7	95.4	46.0	221.	25.8	0.92	–	–	–	–	–	7.34	384.2	6.07	–	1.58	–	19.9	0.25	16.7	–
ИМ-4	53.1	3.89	19.0	115.7	–	17.4	54.0	22.9	178.3	24.9	–	205.4	75.7	65.1	265.5	34.1	0.56	–	–	–	–	–	7.74	411.1	7.09	–	2.36	–	15.0	0.31	16.8	–
ИМ-5	43.3	3.24	16.4	95.7	–	12.8	42.3	18.0	148.3	20.6	–	172.3	81.7	46.7	254.0	27.7	0.40	–	–	–	–	–	6.71	394.4	6.87	–	2.15	–	20.7	0.33	17.5	–
ИШ-7	37.4	5.30	19.2	105.5	44.3	27.3	22.3	32.9	82.2	25.1	–	209.5	111.6	120.8	197.1	19.5	3.83	–	–	–	–	–	11.6	404.4	4.99	–	2.26	–	41.6	0.76	18.9	12.8
ИМ-27	106.0	2.50	17.6	113.0	89.7	17.4	20.1	18.5	77.4	25.9	–	147.0	113.4	28.0	158.4	21.4	0.16	–	–	–	–	–	8.09	542.3	4.55	–	1.71	–	10.0	0.16	14.7	2.07
Карлинская свита																																
ИМ-12	11.3	1.13	6.13	40.7	69.0	11.8	29.9	4.92	32.9	10.6	–	54.9	27.1	8.42	46.6	5.28	0.15	–	–	–	–	–	2.62	110.8	0.89	–	0.40	–	2.41	0.10	4.97	0.77
ИМ-13	16.3	0.81	5.23	40.9	91.8	9.26	27.3	5.81	33.4	9.20	–	44.1	26.2	6.85	57.2	5.19	0.21	–	–	–	–	–	1.90	111.3	1.03	–	0.32	–	5.64	0.06	3.66	0.85
ИМ-14	10.2	0.54	3.33	24.1	106.7	6.37	26.2	3.25	20.6	5.82	–	27.7	24.2	5.16	51.3	3.20	0.24	–	–	–	–	–	0.99	95.5	0.97	–	0.29	–	3.93	0.08	2.69	0.56
ИМ-15	15.4	0.75	5.23	39.7	214.4	9.73	27.7	6.14	29.2	8.43	–	37.8	26.9	6.36	61.1	4.84	0.27	–	–	–	–	–	1.39	139.8	1.08	–	0.35	–	4.94	0.04	3.27	0.74
ИМ-16	87.0	2.12	13.9	102.6	167.3	16.2	19.8	16.4	65.6	20.1	–	113.6	77.5	27.7	230.3	20.1	0.71	–	–	–	–	–	5.63	381.7	6.41	–	1.31	–	17.0	0.11	10.5	2.14
ИШ-4	51.7	2.29	13.5	91.9	147.9	12.5	32.4	12.8	66.4	17.8	–	119.1	77.2	30.0	242.5	15.1	0.75	–	–	–	–	–	5.15	330.7	6.48	–	1.28	–	19.0	0.20	11.0	2.07
ИМ-17	45.5	5.52	17.0	105.7	109.6	18.7	16.4	38.43	88.6	30.1	–	249.0	108.5	78.3	465.8	52.1	2.35	–	–	–	–	–	12.6	451.3	13.8	–	2.15	–	20.8	0.18	29.3	3.03
ИМ-18	89.1	2.27	14.4	103.3	176.6	17.4	20.9	18.0	65.0	19.5	–	117.3	75.5	29.7	235.7	21.0	0.26	–	–	–	–	–	5.48	412.3	6.59	–	1.38	–	17.5	0.15	12.7	2.46
ИМ-19	10.1	1.28	3.62	25.5	50.4	6.85	4.44	7.08	30.2	7.69	–	38.3	28.1	6.46	50.2	5.99	0.19	–	–	–	–	–	1.96	123.6	1.05	–	0.50	–	5.41	0.11	4.09	0.87

Примечание. Прочерк – содержание элемента не определялось.

Таблица 18

Содержание РЗЭ в ТОП верхнего докембрия Волго-Уральской области, г/т

Образец	La	Ce	Pr	Nd	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb	Lu
Прикамская свита														
ПБ-43	13.9	24.5	3.55	13.7	2.52	0.46	1.99	0.28	1.82	0.37	1.10	0.18	1.36	0.21
ПБ-37	26.6	39.0	7.09	27.0	4.80	0.94	3.56	0.51	3.33	0.68	1.94	0.29	1.94	0.30
ПБ-15	27.0	58.1	9.43	35.0	6.16	1.19	4.55	0.65	4.14	0.82	2.35	0.34	2.29	0.34
ПБ-16	19.1	40.0	6.77	25.0	4.10	0.79	2.71	0.37	2.25	0.44	1.25	0.18	1.25	0.19
ПБ-17	20.8	31.2	5.18	19.7	3.38	0.63	2.48	0.35	2.19	0.44	1.28	0.19	1.30	0.20
ПБ-18	23.0	32.6	4.49	15.5	2.40	0.50	1.65	0.24	1.55	0.31	0.91	0.14	0.98	0.15
ПБ-21	36.2	52.9	8.29	30.6	5.10	0.92	3.45	0.49	3.09	0.64	1.88	0.28	1.84	0.28
ПБ-22	35.5	46.6	6.56	22.4	3.59	0.72	2.76	0.42	2.66	0.54	1.58	0.24	1.63	0.24
ПБ-23	22.6	48.5	7.99	29.0	4.83	0.87	3.14	0.44	2.81	0.56	1.63	0.24	1.61	0.24
ПБ-24	7.42	11.4	2.01	7.67	1.32	0.27	0.97	0.14	0.87	0.18	0.52	0.08	0.55	0.09
ПБ-25	8.88	13.0	2.40	9.27	1.61	0.31	1.11	0.15	1.00	0.21	0.63	0.10	0.67	0.11
ПБ-26	17.8	37.1	4.07	15.1	2.65	0.51	2.06	0.31	2.05	0.43	1.30	0.20	1.37	0.22
ПБ-27	18.9	27.4	5.29	20.2	3.60	0.59	2.75	0.43	2.86	0.59	1.72	0.25	1.69	0.26
ПБ-47	30.2	38.2	6.10	20.7	3.14	0.64	2.33	0.37	2.41	0.49	1.43	0.21	1.44	0.22
ПБ-50	14.6	27.2	3.63	14.1	2.59	0.46	1.99	0.26	1.56	0.30	0.84	0.13	0.98	0.15
ПБ-51	28.2	46.4	6.27	22.9	3.68	0.68	2.56	0.37	2.38	0.47	1.40	0.21	1.45	0.22
Калтасинская свита														
ПБ-34	39.9	58.9	9.94	36.9	6.30	1.19	4.50	0.64	4.01	0.79	2.23	0.33	2.21	0.34
ПБ-35	25.6	34.3	6.07	22.4	3.87	0.76	2.76	0.40	2.49	0.49	1.43	0.22	1.49	0.23
ПБ-36	27.5	30.9	5.75	20.3	3.42	0.67	2.49	0.38	2.43	0.49	1.40	0.21	1.38	0.21
ПБ-38	24.1	36.0	4.73	16.4	2.67	0.54	2.04	0.31	2.07	0.42	1.21	0.18	1.20	0.18
Надеждинская свита														
ПБ-1	32.2	71.0	11.9	45.3	7.94	1.59	5.29	0.70	4.30	0.82	2.30	0.33	2.23	0.33
ПБ-42	31.7	50.8	8.28	32.1	5.92	1.19	4.54	0.69	4.37	0.86	2.39	0.34	2.22	0.33
ПБ-53	11.9	33.2	3.23	12.9	2.70	0.61	2.48	0.38	2.41	0.48	1.38	0.20	1.31	0.20
ПБ-49	57.2	92.9	14.2	52.5	8.02	1.47	4.90	0.61	3.88	0.77	2.27	0.34	2.39	0.36
Тукаевская свита														
ПБ-3	24.2	34.6	6.19	25.6	6.44	1.46	6.32	0.84	4.57	0.79	2.03	0.26	1.62	0.23
ПБ-14	32.0	42.9	7.72	28.3	4.79	0.89	3.54	0.56	3.70	0.74	2.12	0.31	2.00	0.30
ПБ-39	18.3	34.0	5.01	19.7	3.81	0.82	3.05	0.42	2.49	0.49	1.36	0.20	1.35	0.21
ПБ-40	37.1	51.4	8.68	31.7	5.52	1.13	4.13	0.61	3.92	0.78	2.18	0.31	2.03	0.31

Продолжение табл. 18

Образец	La	Ce	Pr	Nd	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb	Lu
Ольховская свита														
ПБ-2	27.6	59.8	9.99	37.1	5.62	1.06	4.01	0.61	3.98	0.79	2.24	0.33	2.16	0.32
ПБ-4	46.3	103.6	16.2	56.9	8.06	1.40	4.78	0.86	6.22	1.31	3.87	0.59	3.92	0.60
ПБ-5	23.6	33.3	5.50	20.9	3.92	0.74	2.94	0.42	2.57	0.50	1.39	0.20	1.29	0.19
ПБ-6	22.2	30.8	5.19	19.7	3.51	0.68	2.77	0.41	2.60	0.52	1.52	0.22	1.45	0.22
ПБ-8	17.1	35.6	6.19	23.2	4.06	0.81	2.89	0.41	2.59	0.51	1.49	0.22	1.45	0.21
ПБ-11	25.4	57.0	9.17	34.5	6.06	1.14	4.46	0.66	4.18	0.84	2.40	0.35	2.25	0.34
ПБ-12	30.4	66.1	10.3	37.6	6.47	1.24	4.85	0.71	4.42	0.85	2.36	0.34	2.18	0.32
ПБ-13	33.8	43.8	7.76	26.8	3.66	0.62	2.35	0.41	2.96	0.62	1.82	0.28	1.85	0.27
ПБ-28	3.13	6.30	1.00	4.02	0.72	0.14	0.57	0.10	0.71	0.16	0.49	0.08	0.54	0.08
ПБ-29	29.5	42.4	7.85	29.7	5.19	0.97	3.79	0.55	3.66	0.74	2.14	0.31	2.10	0.32
ПБ-30	17.7	38.7	6.65	25.4	4.97	1.02	3.83	0.55	3.41	0.67	1.86	0.27	1.79	0.27
ПБ-31	18.7	38.5	6.10	22.3	3.78	0.82	2.83	0.40	2.48	0.49	1.35	0.19	1.25	0.19
ПБ-33	33.1	48.0	7.73	28.6	5.05	1.05	3.89	0.56	3.63	0.73	2.04	0.30	1.97	0.29
ПБ-44	27.0	39.5	7.51	27.1	4.13	0.69	1.69	0.19	1.21	0.24	0.75	0.12	0.90	0.14
ПБ-45	12.5	29.0	3.09	11.9	2.27	0.64	1.92	0.29	1.78	0.35	0.97	0.14	0.90	0.14
ПБ-46	26.4	39.1	6.20	22.9	3.93	0.78	2.74	0.36	2.21	0.43	1.19	0.17	1.18	0.18
ПБ-48	31.6	45.5	7.23	27.1	4.82	1.12	3.93	0.54	3.33	0.63	1.73	0.25	1.59	0.23
Усинская свита														
ПБ-19	30.8	62.2	10.1	36.7	6.03	1.20	4.39	0.65	4.13	0.84	2.44	0.36	2.41	0.36
ПБ-20	47.4	93.0	16.2	59.8	8.62	1.60	4.87	0.64	3.94	0.75	2.05	0.29	1.87	0.27
ПБ-41	45.4	95.5	16.6	66.8	9.43	1.57	4.83	0.69	4.62	0.94	2.74	0.42	2.92	0.44
ПБ-52	46.9	84.6	16.9	65.6	8.41	1.37	4.03	0.53	3.58	0.71	2.06	0.30	2.06	0.32
Приютовская свита														
ПБ-7	33.8	77.9	11.2	42.0	7.26	1.46	5.05	0.70	4.27	0.84	2.41	0.36	2.32	0.36
ПБ-9	25.7	53.1	8.05	28.5	4.86	1.02	3.93	0.60	3.78	0.75	2.17	0.32	2.10	0.32
ПБ-10	19.4	42.9	6.78	25.4	4.49	0.93	3.20	0.47	3.03	0.61	1.79	0.27	1.84	0.28
ПБ-32	15.2	34.0	5.57	20.9	3.63	0.78	2.54	0.38	2.40	0.49	1.43	0.21	1.48	0.23
Байкибашевская свита														
ИМ-11	7.95	17.8	2.23	9.14	1.75	0.43	1.55	0.23	1.27	0.25	0.69	0.1	0.61	0.09
Старопетровская свита														
ИМ-28	37.1	81.0	9.37	34.5	6.27	1.26	5.45	0.83	5.02	1.00	2.87	0.43	2.85	0.44
ИМ-29	45.4	89.0	10.9	40.3	7.05	1.43	5.9	0.88	5.05	1.01	2.85	0.43	2.79	0.43

Окончание табл. 18

Образец	La	Ce	Pr	Nd	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb	Lu
Старопетровская свита														
ИШ-14	35.8	71.5	8.2	28.8	5.19	1.08	4.37	0.7	4.34	0.86	2.48	0.38	2.54	0.38
ИМ-31	59.8	121.1	14.5	57.1	11.9	2.59	10.4	1.40	6.81	1.28	2.86	0.38	2.32	0.34
ИШ 16	47.9	90.1	10.0	35.0	6.12	1.23	4.59	0.71	4.18	0.82	2.33	0.34	2.17	0.32
ИШ 17	50.6	96.1	10.9	37.8	6.03	1.17	4.32	0.61	3.54	0.71	2.03	0.30	1.92	0.29
Салиховская свита														
ИМ-1	65.1	130.6	16.26	65.0	11.9	1.97	9.37	1.44	8.22	1.62	4.67	0.69	4.29	0.65
ИМ-2	45.6	96.72	11.4	46.3	9.00	1.42	7.23	1.17	6.84	1.49	4.28	0.61	3.72	0.52
ИМ-3	39.0	84.4	9.28	34.8	7.20	1.47	7.13	1.16	7.21	1.60	4.34	0.66	4.41	0.70
ИМ-4	125.7	255.1	30.70	113.7	20.6	3.49	16.7	2.18	11.0	2.18	5.52	0.79	5.11	0.79
ИМ-5	54.6	117.6	13.4	51.0	10.2	1.84	9.06	1.34	7.63	1.60	4.25	0.64	4.19	0.65
ИШ-7	95.2	217.4	26.6	106.0	24.2	4.59	23.3	3.48	18.7	3.48	8.42	1.16	6.93	1.01
ИМ-27	41.0	81.1	9.25	33.2	6.03	1.28	5.21	0.82	4.79	1.02	2.82	0.42	2.76	0.45
Карлинская свита														
ИМ-12	14.9	31.6	3.91	15.6	2.91	0.61	2.6	0.38	2.01	0.40	1.02	0.15	0.91	0.14
ИМ-13	12.5	26.3	3.41	13.0	2.48	0.51	2.12	0.32	1.72	0.34	0.9	0.13	0.79	0.11
ИМ-14	7.6	17.2	2.23	9.46	1.76	0.42	1.61	0.24	1.31	0.26	0.68	0.09	0.57	0.08
ИМ-15	11.5	24.3	3.08	12.3	2.27	0.51	1.99	0.3	1.56	0.31	0.8	0.11	0.68	0.10
ИМ-16	33.6	67.8	8.3	30.9	5.89	1.2	5.28	0.83	5.00	1.05	2.89	0.44	2.93	0.42
ИШ-4	32.3	69.8	8.08	30.5	5.98	1.18	5.26	0.84	5.12	1.05	2.91	0.46	2.92	0.45
ИМ-17	53.4	120.5	14.6	52.7	11.5	1.58	11.7	2.08	13.00	2.76	7.16	1.03	6.64	0.99
ИМ-18	37.8	79.6	9.27	34.9	6.7	1.38	5.77	0.91	5.19	1.10	2.98	0.46	2.99	0.48
ИМ-19	9.36	21.2	2.46	9.91	1.97	0.36	1.70	0.26	1.56	0.33	0.91	0.13	0.84	0.12

Таблица 19

Медианное содержание некоторых элементов-примесей в тонкозернистых обломочных породах рифея Камско-Бельского авлакогена, г/т

Элемент	Свита						
	Прикамская	Калтасинская	Надеждинская	Тукаевская	Ольховская	Усинская	Приютовская
Sc	9.63 4.73–16.97	12.52 10.59–13.13	14.06 7.44–15.26	10.52 9.04–18.63	12.41 5.44–28.78	13.57 11.45–18.90	12.48 10.45–21.34
V	85.64 52.65–123.83	106.67 83.35–121.14	81.45 61.60–105.07	90.93 71.14–136.66	82.35 36.64–162.89	61.85 51.26–90.33	68.93 51.42–100.83
Cr	76.88 61.54–138.36	105.92 99.53–111.15	107.53 86.77–153.86	103.68 66.03–119.55	88.32 70.05–153.60	84.91 79.83–101.66	91.45 61.04–126.22
Co	18.41 13.41–30.94	17.05 15.28–18.94	19.73 17.40–23.62	17.66 7.34–30.54	16.16 9.37–44.53	21.48 18.38–26.48	15.72 14.32–29.45
Ni	37.95 27.10–50.93	31.55 27.27–32.66	43.98 29.84–49.77	43.95 25.53–60.57	42.84 17.51–95.58	57.44 38.53–75.32	33.52 27.52–67.35
Rb	74.74 29.51–104.64	82.42 70.52–118.62	93.25 84.64–111.79	83.83 60.65–107.88	85.70 53.14–160.48	108.24 95.66–129.98	102.50 92.71–160.44
Sr	48.97 23.52–91.57	58.33 46.72–95.63	44.34 35.84–53.55	67.15 53.34–83.90	113.40 39.36–211.89	65.14 38.39–97.24	112.08 89.03–157.59
Y	11.63 3.35–23.73	12.44 9.94–22.05	20.10 13.43–22.65	20.13 11.69–21.24	16.34 2.25–34.38	22.46 18.66–23.94	19.79 14.23–23.32
Zr	146.74 100.71–196.73	125.03 98.47–160.36	98.83 79.38–158.93	98.81 52.73–108.98	98.54 61.96–220.71	161.08 86.47–184.39	187.48 127.61–228.49
Nb	13.4 8.32–16.35	14.90 13.64–15.59	11.73 8.46–15.87	12.76 6.74–14.85	12.54 3.99–32.68	17.98 13.09–22.04	12.05 10.34–18.33
Mo	0.3 0.23–1.07	0.21 0.23–0.25	0.88 0.25–2.06	1.91 0.39–2.49	0.68 0.35–3.76	0.22 0.16–0.65	0.65 0.34–1.24
Cs	4.7 2.32–7.67	9.10 8.05–10.46	3.89 2.83–4.77	4.61 3.61–5.46	5.04 1.72–8.26	5.71 4.83–7.24	4.32 3.73–8.44
Ba	243.93 124.33–341.25	247.39 214.41–289.66	390.79 314.64–409.67	248.85 197.17–291.31	295.61 129.54–1841.77	405.98 302.77–468.82	428.98 421.42–441.59
La	21.7 7.43–36.25	26.62 24.14–39.95	32.05 12.05–57.23	28.13 18.53–37.22	26.57 3.11–46.37	46.20 30.86–47.44	22.61 15.24–33.95
Ce	37.7 11.44–58.28	35.28 30.39–58.95	61.08 33.52–92.92	38.82 34.04–51.52	39.53 6.38–103.56	88.82 62.26–95.63	48.00 34.03–77.95
Pr	5.7 2.03–9.48	5.93 4.47–9.97	10.18 3.62–14.37	6.96 5.04–8.57	7.23 1.03–16.35	16.52 10.27–16.89	7.45 5.64–11.35
Nd	20.5 7.73–35.05	21.49 16.49–36.95	38.74 12.95–52.68	27.01 19.73–31.58	26.84 4.08–56.59	62.80 36.75–66.87	27.01 20.92–42.16
Sm	3.55 1.32–6.26	3.76 2.73–6.37	6.95 2.75–8.80	5.11 3.81–6.47	4.17 0.78–8.14	8.55 6.04–9.47	4.76 3.68–7.34
Eu	0.63 0.32–1.27	0.73 0.57–1.22	1.34 0.64–1.68	1.03 0.83–1.57	0.83 0.15–1.44	1.52 1.24–1.67	1.03 0.83–1.54
Gd	2.51 1.03–4.67	2.61 2.04–4.55	4.73 2.57–5.93	3.84 3.05–6.33	2.92 0.64–4.97	4.64 4.06–4.98	3.61 2.57–5.18
Dy	2.38 0.94–4.15	2.59 2.19–4.06	4.19 2.41–4.47	3.89 2.56–4.64	3.03 0.75–6.38	4.04 3.69–4.66	3.48 2.34–4.37

Окончание табл. 19

Элемент	Свита						
	Прикамская	Калтасинская	Надеждинская	Тукаевская	Ольховская	Усинская	Приютовская
Ho	0.54 0.22–0.85	0.52 0.47–0.87	0.82 0.54–0.97	0.71 0.53–0.89	0.63 0.24–1.39	0.81 0.74–0.69	0.72 0.52–0.85
Er	1.37 0.53–2.46	1.45 1.24–2.27	2.35 1.45–2.46	2.14 1.45–2.29	1.78 0.56–3.97	2.33 2.13–2.77	2.04 1.41–2.46
Yb	1.42 0.63–2.36	1.44 1.22–2.27	2.25 1.34–2.47	1.83 1.35–2.40	1.68 0.57–3.94	2.25 1.93–2.95	2.04 1.52–2.33
Lu	0.23 0.14–0.35	0.21 0.26–0.35	0.31 0.24–0.64	0.31 0.23–0.34	0.21 0.15–0.67	0.31 0.36–0.45	0.31 0.22–0.44
Hf	5.01 3.53–7.15	4.59 3.76–5.78	3.47 2.54–3.97	3.69 1.97–4.30	2.96 1.63–8.12	5.77 2.97–6.98	6.16 4.12–7.77
Th	9.56 2.98–13.77	11.13 9.08–14.43	12.04 6.12–13.66	8.92 5.87–12.35	8.25 2.24–22.85	12.49 9.64–16.63	13.85 9.49–19.26
U	3.78 2.24–4.77	3.02 2.79–3.44	2.87 2.13–3.75	4.38 2.79–4.19	2.75 1.13–7.56	3.44 2.92–3.87	3.66 1.57–7.79
n	16	4	4	4	12	4	4

Примечание. В числителе – медианное значение; в знаменателе – минимальное и максимальное значения; n – количество образцов.

Таблица 20

Медианное содержание элементов-примесей в ТОП венда Шкаповско-Шиханской впадины, г/т

Элемент	Свита			
	Байкибашевская	Старопетровская	Салиховская	Карлинская
Sc	3.29	16.76 14.29–19.02	17.20 12.51–19.21	6.13 3.33–17.05
V	24.86	112.55 104.72–136.37	97.60 78.70–115.75	40.94 24.10–105.70
Cr	177.18	113.57 77.85–174.71	38.86 6.79–89.75	109.63 50.41–214.41
Co	7.01	21.38 11.17–27.62	14.94 9.42–27.36	11.83 6.37–18.77
Ni	23.30	28.11 21.78–47.03	27.31 20.16–54.04	26.20 4.44–32.47
Rb	22.42	146.37 126.11–166.77	172.32 147.01–217.50	54.98 27.72–249.09
Sr	31.93	106.80 79.08–141.02	81.79 63.88–113.40	28.17 24.20–108.59
Y	5.09	26.53 20.14–35.08	46.09 28.08–120.83	8.42 5.16–78.32
Zr	94.48	156.75 91.50–251.89	221.07 158.43–345.40	61.11 46.63–465.83
Nb	4.53	15.33 12.48–23.56	23.27 19.50–34.10	5.99 3.20–52.10

Окончание табл. 20

Элемент	Свита			
	Байкибашевская	Старопетровская	Салиховская	Карлинская
Mo	0.17	0.63 0.19–2.20	0.56 0.16–3.83	0.26 0.15–2.35
Cs	0.59	6.88 4.80–9.15	8.09 6.71–11.61	2.62 0.99–12.62
Ba	169.81	502.31 416.43–650.64	394.46 333.66–542.30	139.89 95.57–451.39
La	7.95	46.69 35.80–59.89	54.60 39.01–125.72	14.96 7.60–53.44
Ce	17.87	89.57 71.51–121.14	117.65 81.16–255.15	31.62 17.28–120.52
Pr	2.23	10.50 8.20–14.56	13.40 9.25–30.75	3.91 2.23–14.62
Nd	9.14	36.46 28.82–57.19	51.09 33.28–113.79	15.69 9.46–52.75
Sm	1.75	6.19 5.19–11.93	10.26 6.03–24.26	2.91 1.76–11.53
Eu	0.43	1.24 1.08–2.59	1.84 1.28–4.59	0.61 0.36–1.58
Gd	1.55	5.02 4.32–10.41	9.06 5.21–23.33	2.60 1.61–11.79
Dy	1.27	4.68 3.54–6.81	7.63 4.79–18.74	2.01 1.31–13.02
Ho	0.25	0.93 0.71–1.28	1.60 1.02–3.48	0.40 0.26–2.76
Er	0.69	2.66 2.03–2.87	4.34 2.82–8.42	1.02 0.68–7.16
Yb	0.61	2.43 1.92–2.85	4.29 2.76–6.93	0.91 0.57–6.64
Lu	0.09	0.36 0.29–0.44	0.65 0.45–1.01	0.14 0.08–0.99
Hf	1.67	4.43 2.57–6.50	5.80 3.36–7.09	1.08 0.89–13.85
Th	2.63	14.23 12.78–15.26	17.19 14.70–18.92	4.97 2.69–29.39
U	0.50	2.18 1.53–2.24	7.47 2.07–12.87	0.87 0.56–3.03
n	1	6	7	9

Примечание. В числителе – медианное значение; в знаменателе – минимальное и максимальное содержания; n – количество образцов.

5.2.1. Крупноионные литофильные элементы (Cs, Ba, Rb, Sr, Th, U)

Почти все элементы данной группы, исключая Th, U и – в одном случае – Ba (ольховская свита), присутствуют в тонкозернистых обломочных образованиях рифея Камско-Бельского авлакогена в значимо меньшем количестве, чем в PAAS (рис. 47). Особенности распределения элементов данной группы для большинства уровней достаточно схожи, хотя выявлены и некоторые различия. Так, различаются по содержанию Ba алевритоглинистые породы тукаевской и надеждинской свит. Кроме калтасинского уровня, в ТОП нормированное на PAAS содержание Cs существенно ниже, чем Ba.

Содержание рассматриваемых элементов в аргиллитах старопетровской и салиховской свит незначительно ниже тех значений, что характерны для PAAS. В большинстве же аргиллитов карлинской свиты концентрация их меньше, чем в среднем постархейском австралийском сланце (рис. 48).

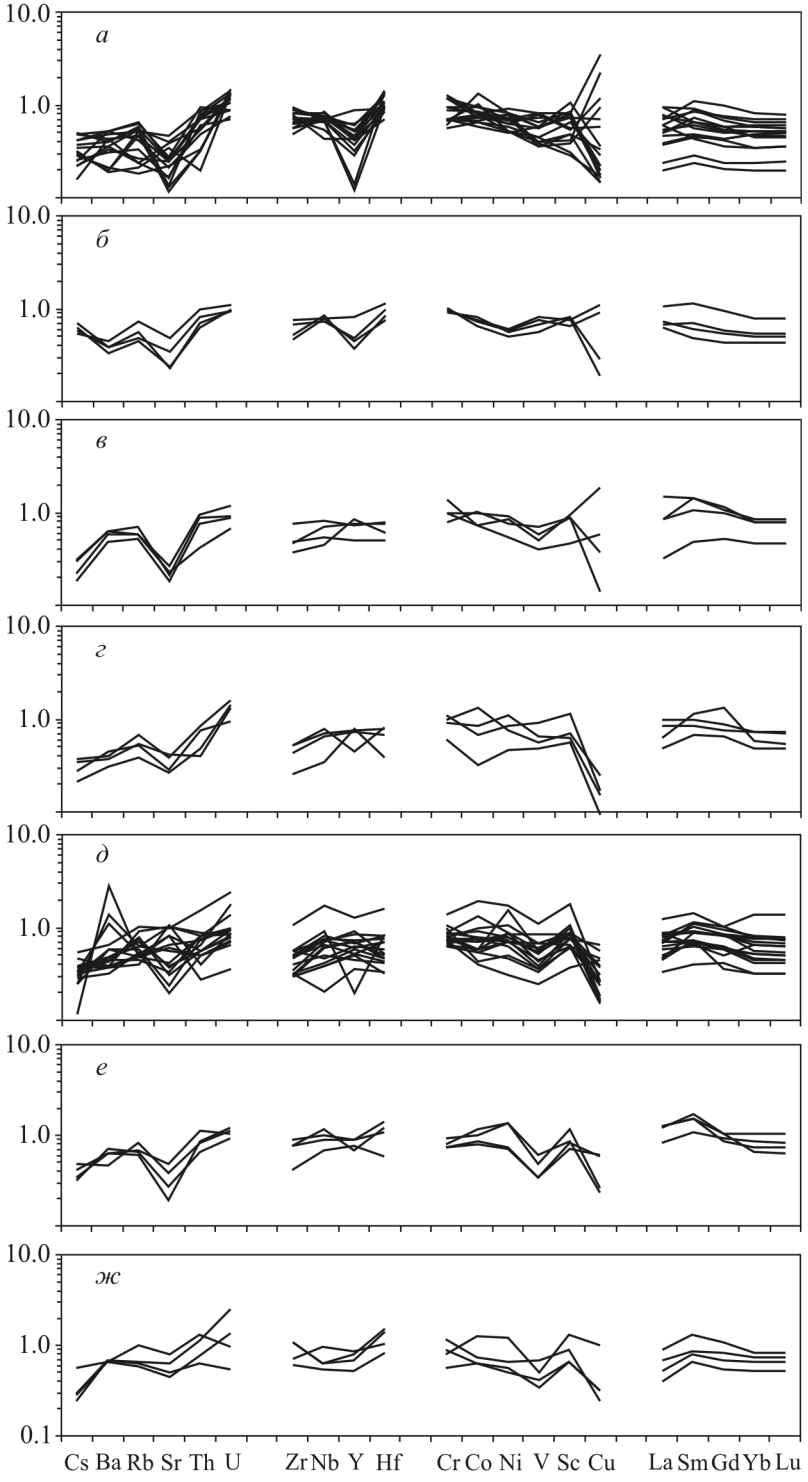
5.2.2. Высокозарядные элементы (Zr, Nb, Y, Hf)

Входящие в состав этой группы элементы имеют тенденцию накапливаться преимущественно в кислых породах. Вместе с РЗЭ они служат достаточно хорошими индикаторами состава пород источников сноса. Хотя содержание почти всех элементов данной группы во многих случаях близко к концентрации их в PAAS, но оно все-таки ниже. Максимальные (почти на порядок) вариации присущи Y и наблюдаются в глинистых сланцах и алевроаргиллитах прикамской и ольховской свит. В тонкозернистых обломочных породах прикамского, калтасинского, усинского и приютовского уровней содержание Hf достаточно близко к его содержанию в PAAS.

В алевритистых аргиллитах старопетровской свиты содержание высокозарядных элементов почти соответствует тому, что свойственно PAAS. В ТОП салиховской свиты содержание Y и Nb выше, чем в PAAS, а содержание Zr и Hf примерно одинаково. Аргиллиты карлинской свиты по содержанию высокозарядных элементов распадаются на три группы. В первой из них (образцы ИМ-12, ИМ-14, ИМ-19, ИМ-15, ИМ-13), представленной преимущественно породами из верхней части свиты, содержание элементов данной группы существенно ниже, чем в PAAS. Во второй группе (образцы ИМ-16, ИШ-4, ИМ-18) содержание Zr, Nb, Hf и Y примерно сопоставимо с тем, что характерно для PAAS, а к третьей группе принадлежит образец ИМ-17, для которого, как мы увидим ниже, установлена наиболее резкая отрицательная европиевая аномалия. Сопоставление содержания Zr в аргиллитах разных литостратиграфических подразделений верхнего венда Шкаповско-Шиханской впадины не выявляет их роста снизу вверх по разрезу, что согласуется со сделанным выше выводом о петрогенной (*first cycle*) природе рассматриваемых образований.

Рис. 47. Нормированное на PAAS содержание крупноионных литофильных и высокозарядных элементов, переходных металлов и ряда РЗЭ в тонкозернистых терригенных породах разных литостратиграфических подразделений рифея Камско-Бельского авлакогена:

а – прикамская; *б* – калтасинская; *в* – надеждинская; *г* – тукаевская; *д* – ольховская; *е* – усинская; *ж* – приютовская


10.0
1.0
0.1
а
б
в
г
д
е
ж
Cs Ba Rb Sr Th U
Zr Nb Y Hf
Cr Co Ni V Sc Cu
La Sm Gd Yb Lu

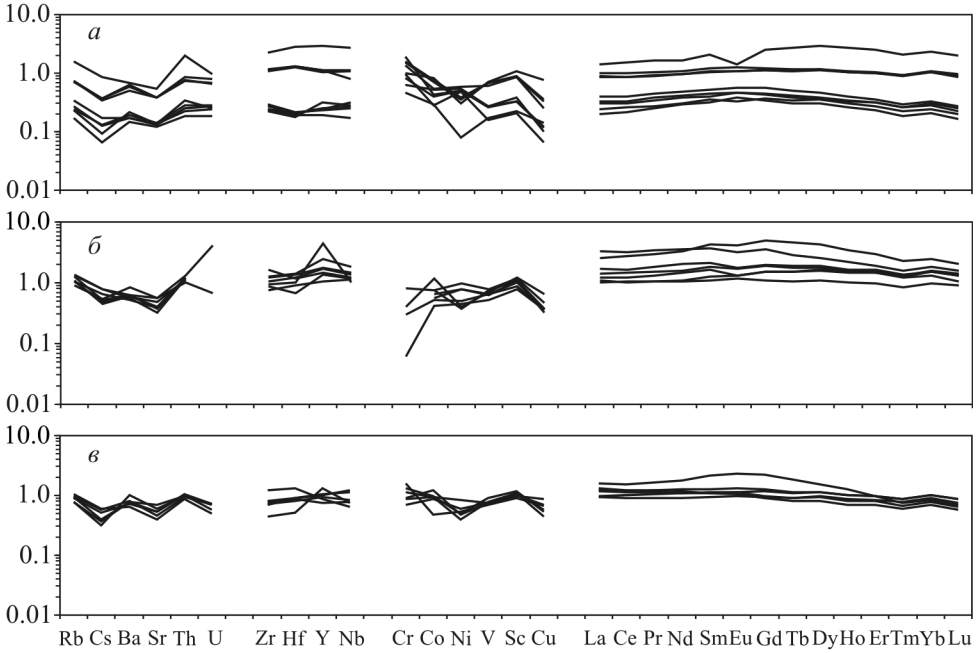


Рис. 48. Соотношение содержания элементов-примесей в аргиллитах карлинской (*а*), салиховской (*б*) и старопетровской (*в*) свит и PAAS

5.2.3. Группа переходных металлов (Cr, Co, Ni, V, Sc, Cu)

Содержание элементов из группы транзитных металлов в большинстве проанализированных образцов ТОП рифея Камско-Бельского авлакогена несколько ниже, чем в PAAS. Наибольшими различиями минимальной и максимальной концентрации характеризуется Cu, причем самые значительные вариации присущи преимущественно глинистым сланцам и алевритистым аргиллитам нижнего рифея. ТОП среднего и верхнего рифея имеют заметный дефицит Cu (0.09–0.65×PAAS), и только в одном образце алевритистых аргиллитов приютовской свиты содержание Cu почти точно такое же, как в PAAS.

В аргиллитах старопетровской свиты содержание элементов данной группы сопоставимо с тем, что выявлено для PAAS (кроме ряда образцов, в которых наблюдается пониженная концентрация Ni). По сравнению с PAAS содержание большинства элементов в аргиллитах салиховской свиты чуть ниже, а содержание Cr и Cu в ряде образцов ниже примерно вдвое. В аргиллитах карлинской свиты содержание переходных металлов в большинстве образцов существенно ниже, чем в PAAS, исключая Cr (см. рис. 48). Особенно низким содержанием по сравнению с PAAS характеризуются в некоторых образцах Ni, V и Cu.

5.2.4. Редкоземельные элементы (La, Sm, Gd, Yb, Lu)

Содержание Gd, Yb и Lu в большинстве образцов ТОП рифея Камско-Бельского авлакогена несколько ниже, чем в PAAS. Для La и Sm вариации соотношения их концентрации в изученных породах и PAAS составляют, соответственно, 0.20–1.51 и 0.23–1.68. Только в одном случае (надеждинский уровень нижнего рифея) содержание La (относительно PAAS) значительно ниже.

Содержание РЗЭ в аргиллитах старопетровской свиты весьма близко к тому, что типично для PAAS. Исключение составляет образец ИМ-31 из верхней части нижней трети разреза свиты, в котором наблюдается повышенное (относительно PAAS) содержание средних РЗЭ. В аргиллитах салиховской свиты содержание РЗЭ существенно выше, чем в PAAS (максимальное – в образцах ИШ-7, ИМ-4). В то же время в образце ИМ-27, отобранном из базальных горизонтов свиты, содержание РЗЭ сопоставимо с его содержанием в PAAS и теми значениями, что типичны для тонкозернистых обломочных пород залегающей ниже по разрезу старопетровской свиты. Аргиллиты карлинской свиты по содержанию РЗЭ распределяются по трем группам. Максимально высокое (относительно PAAS) содержание РЗЭ характерно для образца ИМ-17. Сопоставимое с PAAS содержание РЗЭ отличает образцы ИШ-4, ИМ-18 и ИМ-16, тогда как в образцах ИМ-12, ИМ-13, ИМ-14, ИМ-15 и ИМ-19 содержание РЗЭ ниже, чем в PAAS. Интересно отметить, что эти группы сопоставимы с теми, что выделены на данном уровне, и по содержанию в аргиллитах высокозарядных элементов.

Анализ коэффициентов парной корреляции между некоторыми петрогенными оксидами (Al_2O_3, TiO_2, K_2O и P_2O_5) и содержанием легких (ЛРЗЭ) и тяжелых (ТРЗЭ) редких земель, Yb и ряда малых элементов (табл. 21) в аргиллитах разных литостратиграфических подразделений верхнего венда Шкаповско-Шиханской впадины показывает следующее. В аргиллитах старопетровской свиты ЛРЗЭ связаны преимущественно с глинистой фракцией и фосфатной фазой, то же характерно и для ТРЗЭ. Малые элементы частично связаны с глинистой фракцией, частично – с Ti-содержащими минералами. В аргиллитах салиховской свиты носителями ЛРЗЭ выступают глинистая фракция, фосфатная фаза и Ti-содержащие минералы. Тяжелые РЗЭ ассоциируют здесь с глинистой фракцией и с фосфатной фазой. Sc и V связаны с глинистой фракцией и (в некоторой мере) с фосфатной фазой, Ni – в основном с Ti-содержащими минералами. В аргиллитах карлинской свиты РЗЭ ассоциируют преимущественно с глинистой фракцией, носителями некоторой их части служат также Ti-содержащие минералы. Содержание Sc и V контролируется в определенной степени глинистой фракцией, частично – Ti-содержащими минералами. К носителям Cr не относятся ни глинистая фракция, ни фосфатная фаза, ни Ti-содержащие минералы; с двумя последними компонентами связана и относительно небольшая часть Ni.

Для получения наглядного представления об особенностях химического состава исходно глинистых образований рифея Камско-Бельского авлакогена нами выполнено нормирование содержания ряда элементов-примесей (Th, Ba, Rb, Hf, Ta, Y, Yb, La, Eu, Sc, Co, Cr и Ni) в индивидуальных образцах на содержание их в PAAS и архейском кратонном сланце (Sh_{AR}), согласно данным в (Condie, 1993). В табл. 22, 23 приведены медианные значения соотношений

Таблица 21

Коэффициенты парной корреляции ЛРЗЭ, ТРЗЭ, Cr, Ni, Sc, V с некоторыми петрогенными оксидами в ТОП венда Шкаповско-Шиханской впадины

Оксид	ЛРЗЭ	ТРЗЭ	Cr	Ni	Sc	V
Карлинская свита						
Al_2O_3	0.58	0.59	–0.30	–0.28	0.51	0.47
K_2O	0.58	0.69	–0.46	–0.36	0.42	0.32
P_2O_5	–0.03	–0.02	–0.54	0.14	–0.05	–0.11
TiO_2	0.43	0.30	0.08	0.17	0.48	0.51
Салиховская свита						
Al_2O_3	0.33	0.42	–	–0.34	0.67	0.88
K_2O	0.44	0.73	–	0.21	0.64	0.44
P_2O_5	0.48	0.87	–	–0.44	0.52	0.08
TiO_2	0.51	–0.02	–0.57	0.70	–0.41	–0.12
Старопетровская свита						
Al_2O_3	0.89	0.43	0.05	0.29	–0.60	–0.42
K_2O	0.24	–0.46	0.28	0.83	–0.77	–0.58
P_2O_5	0.86	0.90	–0.32	–0.26	–0.10	–0.16
TiO_2	–0.65	–0.44	–0.06	0.07	0.73	0.76

Примечание. Прочерк – коэффициент корреляции не определялся.

$C_{обр}/C_{PAAS}$ и $C_{обр}/C_{ShAR}$, а также минимальные и максимальные значения этих соотношений. Нормированное на PAAS содержание указанных выше малых элементов в ТОП прикамской свиты и арланской подсвиты калтасинской свиты подчинено ряду достаточно сходных между собой закономерностей (рис. 49, *а*, *б*). В обоих случаях отмечено более низкое, чем в PAAS, содержание как Th, Ba и Rb, так и Y, Yb, La, Eu, Sc, Cr и Ni. В тонкозернистых обломочных породах надеждинского уровня (см. рис. 49, *в*) большинство перечисленных выше элементов присутствует в несколько более высокой концентрации. То же характерно и для глинистых сланцев и алевритистых аргиллитов тукаевского уровня (см. рис. 49, *г*). Здесь только Ba выявлен примерно в том же количестве, что и в близких к тукаевскому по гранулометрическому составу породах калтасинского и прикамского уровней. В целом же спектр распределения нормированного на PAAS содержания элементов-примесей в ТОП тукаевской свиты ровнее, нежели это свойственно глинистым сланцам прикамской и калтасинской свит. Это же можно сказать и об особенностях распределения микроэлементов в ТОП ольховского, усинского и приютовского уровней (см. рис. 49, *д–ж*).

В целом, учитывая особенности распределения нормированного на PAAS содержания Th, Ba, Rb, Hf, Ta, Y, Yb, La, Eu, Sc, Co, Cr и Ni в тонкозернистых

Таблица 22

Нормированное на PAAS содержание некоторых элементов-примесей в тонкозернистых обломочных породах рифея Камско-Бельского авлакогена

Элемент	Свита						
	Прикамская	Калтасинская	Надеждинская	Тукаевская	Ольховская	Усинская	Приютовская
Th	0.65 0.20–0.94	0.76 0.62–0.99	0.82 0.42–0.93	0.61 0.40–0.85	0.61 0.27–1.56	0.85 0.65–1.14	0.95 0.64–1.31
Ba	0.38 0.19–0.52	0.38 0.33–0.45	0.60 0.48–0.63	0.38 0.30–0.45	0.46 0.32–2.83	0.62 0.47–0.72	0.66 0.65–0.68
Rb	0.47 0.18–0.65	0.52 0.44–0.74	0.58 0.53–0.70	0.52 0.38–0.67	0.56 0.40–1.00	0.68 0.60–0.81	0.64 0.58–1.00
Hf	1.00 0.70–1.42	0.91 0.74–1.14	0.67 0.51–0.78	0.73 0.39–0.80	0.55 0.32–1.61	1.14 0.57–1.39	1.22 0.82–1.54
Ta	0.77 0.48–1.00	0.94 0.84–1.02	0.74 0.54–0.93	0.78 0.41–0.96	0.74 0.23–1.61	1.01 0.67–1.28	0.67 0.57–1.04
Y	0.43 0.12–0.88	0.46 0.37–0.82	0.75 0.49–0.84	0.74 0.44–0.79	0.61 0.19–1.27	0.83 0.69–0.89	0.73 0.53–0.86
Yb	0.50 0.20–0.82	0.51 0.43–0.79	0.79 0.47–0.86	0.65 0.48–0.72	0.60 0.32–1.40	0.80 0.67–1.04	0.70 0.53–0.83
La	0.57 0.20–0.95	0.70 0.64–1.05	0.84 0.31–1.51	0.74 0.48–0.98	0.70 0.33–1.22	1.22 0.81–1.25	0.59 0.40–0.89
Eu	0.58 0.25–1.08	0.65 0.49–1.08	1.21 0.56–1.44	0.92 0.75–1.33	0.81 0.57–1.27	1.34 1.09–1.46	0.89 0.71–1.33
Sc	0.60 0.29–1.05	0.78 0.66–0.82	0.88 0.46–0.95	0.66 0.56–1.15	0.81 0.37–1.80	0.84 0.72–1.18	0.77 0.65–1.33
Co	0.80 0.58–1.34	0.74 0.66–0.82	0.86 0.74–1.01	0.76 0.32–1.32	0.71 0.40–1.94	0.93 0.79–1.17	0.68 0.62–1.28
Cr	0.70 0.56–1.26	0.96 0.90–1.01	0.98 0.79–1.40	0.94 0.60–1.09	0.79 0.64–1.39	0.77 0.73–0.92	0.83 0.55–1.15
Ni	0.69 0.49–0.93	0.57 0.50–0.59	0.80 0.54–0.90	0.80 0.46–1.10	0.75 0.31–1.74	1.04 0.70–1.37	0.61 0.50–1.22
n	16	4	4	4	12	4	4

Примечание. В числителе – медианное содержание; в знаменателе – минимальное и максимальное содержания; n – количество образцов.

Таблица 23

Нормированное на средний архейский кратонный сланец содержание некоторых элементов-примесей в ТОП рифея Камско-Бельского авлакогена

Элементы	Свита						
	Прикамская	Калтасинская	Надеждинская	Тукаевская	Ольховская	Усинская	Приютовская
Th	1.12 0.34–1.62	1.31 1.06–1.69	1.41 0.72–1.60	1.05 0.69–1.47	0.97 0.26–2.68	1.46 1.12–1.95	1.63 1.10–2.26
Ba	0.53 0.27–0.75	0.54 0.47–0.64	0.86 0.69–0.90	0.54 0.43–0.64	0.65 0.28–4.04	0.89 0.66–1.03	0.94 0.92–0.97
Rb	0.67 0.27–0.94	0.74 0.64–1.07	0.84 0.76–1.01	0.76 0.55–0.97	0.77 0.48–1.45	0.97 0.86–1.17	0.92 0.83–1.45
Hf	1.11 0.78–1.58	1.01 0.82–1.26	0.75 0.56–0.87	0.81 0.43–0.89	0.64 0.36–1.79	1.27 0.64–1.54	1.36 0.92–1.71
Ta	1.10 0.69–1.43	1.35 1.20–1.45	1.05 0.78–1.33	1.12 0.58–1.37	1.08 0.33–2.31	1.44 0.95–1.83	0.96 0.82–1.49
Y	0.42 0.12–0.85	0.44 0.35–0.79	0.72 0.48–0.81	0.72 0.43–0.76	0.58 0.08–1.22	0.80 0.66–0.86	0.70 0.51–0.83
Yb	0.58 0.22–0.94	0.59 0.49–0.91	0.91 0.54–0.99	0.75 0.55–0.84	0.65 0.22–1.61	0.92 0.77–1.20	0.81 0.61–0.95
La	0.71 0.24–1.18	0.87 0.79–1.30	1.04 0.39–1.86	0.92 0.60–1.21	0.86 0.10–1.51	1.51 1.00–1.55	0.73 0.50–1.10
Eu	0.57 0.24–1.06	0.64 0.48–1.06	1.19 0.55–1.42	0.90 0.74–1.30	0.73 0.12–1.25	1.32 1.07–1.43	0.87 0.70–1.30
Sc	0.46 0.22–0.80	0.59 0.50–0.63	0.67 0.35–0.72	0.50 0.43–0.87	0.59 0.26–1.37	0.64 0.54–0.90	0.59 0.50–1.01
Co	0.59 0.43–1.00	0.55 0.49–0.61	0.64 0.55–0.75	0.57 0.24–0.98	0.52 0.30–1.44	0.69 0.59–0.87	0.51 0.46–0.95
Cr	0.15 0.12–0.27	0.21 0.20–0.22	0.21 0.17–0.30	0.20 0.13–0.24	0.17 0.14–0.30	0.17 0.16–0.20	0.18 0.12–0.25
Ni	0.17 0.12–0.23	0.14 0.12–0.15	0.20 0.13–0.22	0.20 0.12–0.27	0.19 0.08–0.43	0.26 0.17–0.34	0.15 0.12–0.30
n	16	4	4	4	12	4	4

Примечание. В числителе – медианное значение; в знаменателе – минимальное и максимальное значения; **n – ко**личество образцов.

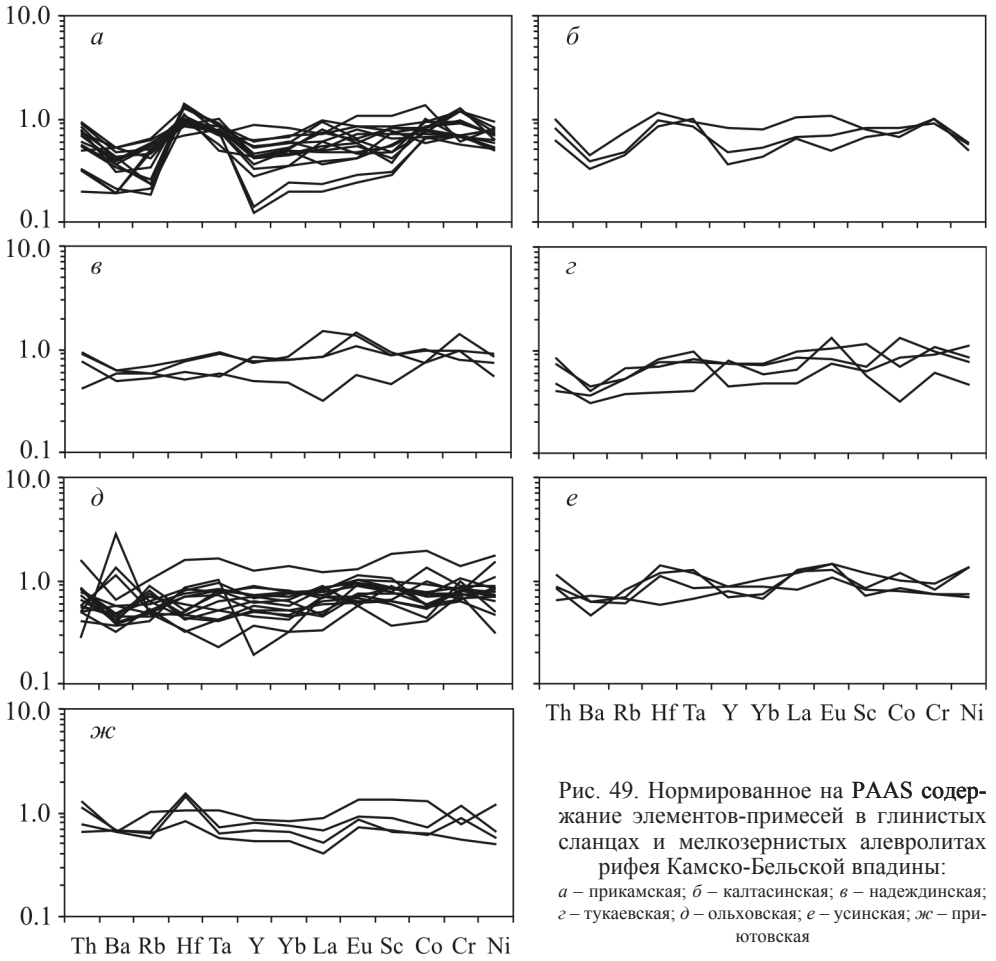


Рис. 49. Нормированное на PAAS содержание элементов-примесей в глинистых сланцах и мелкозернистых алевролитах рифея Камско-Бельской впадины:
а – прикамская; *б* – калтасинская; *в* – надеждинская; *г* – тукаевская; *д* – ольховская; *е* – усинская; *ж* – приютовская

обломочных породах рифея, можно сделать вывод, что наибольшей близостью к постархейскому среднему австралийскому сланцу характеризуются глинистые сланцы и алевритистые аргиллиты надеждинского, тукаевского, усинского и приютовского уровней, тогда как совпадающие с ними по гранулометрическому составу образования прикамской и калтасинской свит имеют отчетливо более низкое, чем в PAAS, содержание Ba, Rb, Y и Yb.

По сравнению с Sh_{AR} ТОП всех литостратиграфических единиц рифея Камско-Бельского авлакогена характеризуются почти на порядок более низким содержанием Cr, Ni, а в ряде случаев (прикамская и ольховская свиты) – и Y (рис. 50). Большинство других микроэлементов в ТОП прикамской, калтасинской, надеждинской, тукаевской и ольховской свит присутствуют в несколько меньшем, чем в Sh_{AR}, количестве (~0.6–0.8). В глинистых сланцах и алевритистых аргиллитах усинской свиты содержание Th, Hf, Ta, La и Eu выше, чем в Sh_{AR}, а в тонкозернистых обломочных образованиях приютовского уровня оно выше, чем содержание Th, Hf и Ta в архейском кратонном сланце.

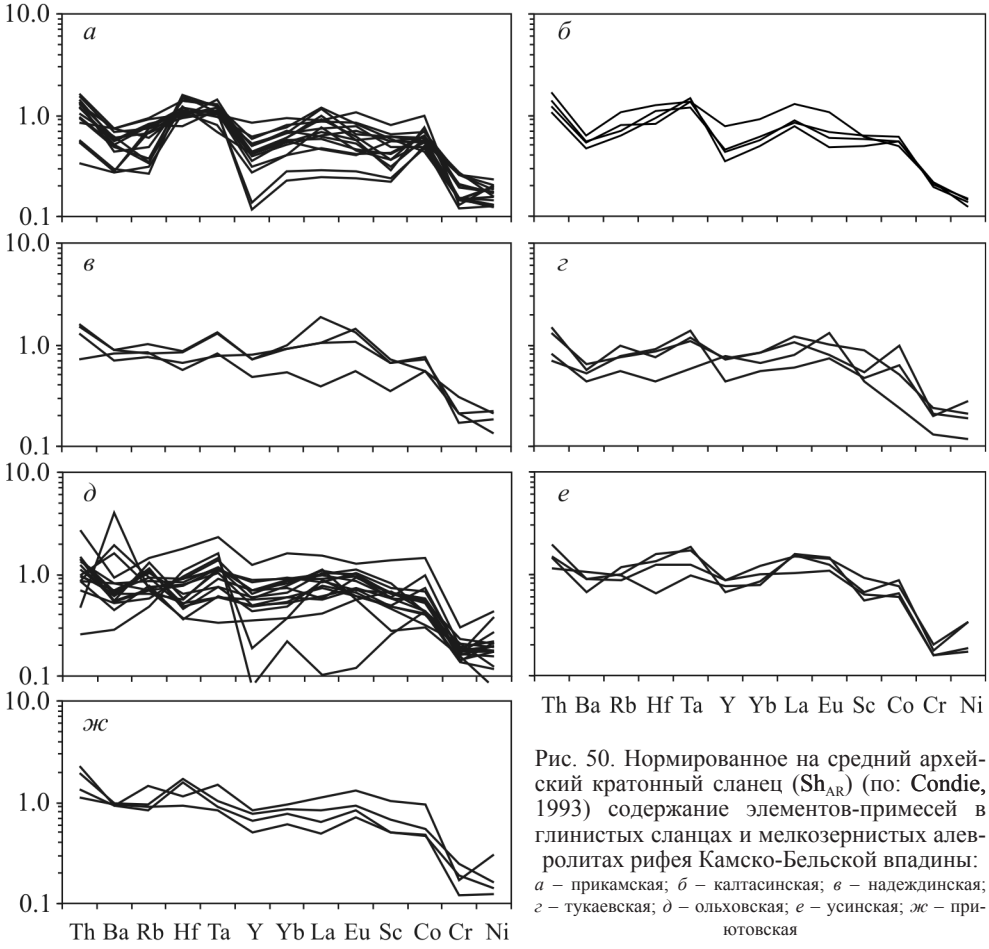


Рис. 50. Нормированное на средний архейский кратонный сланец (Sh_{AR}) (по: Condie, 1993) содержание элементов-примесей в глинистых сланцах и мелкозернистых алевролитах рифея Камско-Бельской впадины:
а – прикамская; *б* – калтасинская; *в* – надеждинская; *г* – тукаевская; *д* – ольховская; *е* – усинская; *ж* – приютовская

В целях сопоставления состава ТОП рифея Камско-Бельского авлакогена с составом пород кристаллического фундамента Восточно-Европейской платформы выполнено также нормирование содержания указанных выше элементов-примесей на их медианное содержание в биотитовых и биотит-гранат-силлиманитовых плагиогнейсах (образцы последних любезно предоставлены В.Г. Изотовым и Л.М. Ситдиковой, Казанский государственный университет). В результате оказалось возможным предположить существование ряда тенденций изменения содержания элементов-примесей в глинистых сланцах и алевритистых аргиллитах снизу вверх по разрезу (рис. 51). Так, содержание Th, Hf, La, Eu, Cr в тонкозернистых обломочных породах на протяжении почти всего рифея остается существенно ниже, чем это типично для плагиогнейсов. Содержание Rb, Ta, Y, Yb, Co, Ni в исходно глинистых породах растет от начала раннего рифея к началу каратавия. Наконец, концентрация Ba в ТОП прикамской и усинской свит во всех проанализированных образцах ниже, чем в плагиогнейсах, а в породах ольховской свиты выявлено как более низкое, так и более высокое, нежели в кристаллических породах фундамента,

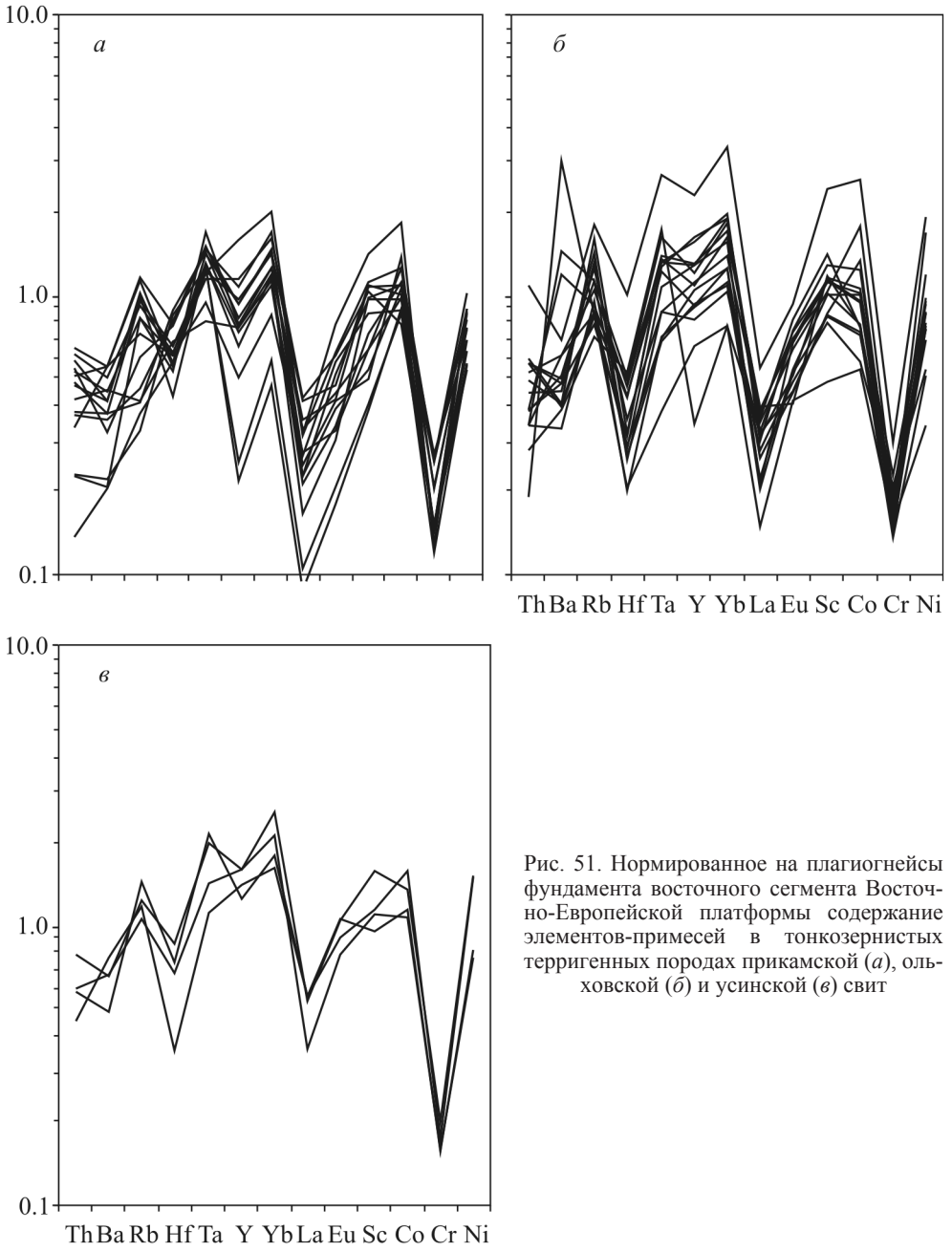


Рис. 51. Нормированное на плагиогнейсы фундамента восточного сегмента Восточно-Европейской платформы содержание элементов-примесей в тонкозернистых терригенных породах прикамской (*а*), ольховской (*б*) и усинской (*в*) свит

содержание Ba. Скандий в глинистых сланцах и алевритистых аргиллитах всех трех рассматриваемых нами уровней присутствует как в большем, так и в меньшем количестве, чем в плагиогнейсах. Однако в целом, несмотря на указанные достаточно выразительные детали, облик нормированных на плагиогнейсы спектров элементов-примесей в тонкозернистых обломочных породах всего разреза рифея Камско-Бельского авлакогена почти одинаков и определяется отчетливыми минимумами содержания Th, Hf, La и Cr.

Раздел 2

ОСНОВНЫЕ ЧЕРТЫ ФОРМИРОВАНИЯ ОСАДОЧНЫХ ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОСТЕЙ ВЕРХНЕГО ДОКЕМБРИЯ ВОЛГО-УРАЛЬСКОЙ ОБЛАСТИ (по результатам литогеохимического изучения)

Второй раздел монографии открывается специальной главой, в которой освещены методические основы проведенных нами исследований; затем речь идет о природе поступавшего в рифейские и вендский бассейны алюмосиликокластического материала (как песчаного, так и алеврито-глинистого). Эта проблема имеет принципиальное значение, так как преобладание или существенная доля в разрезах рециклированного (многократно переотложенного или литогенного) материала не позволяют корректно судить на основе имеющейся литогеохимической информации не только о палеоклимате на водосборах и составе размывавшихся на них пород, но и многих других факторах, контролировавших накопление осадочных толщ. Здесь же приведены сведения, позволяющие сравнить литогеохимические характеристики песчаников и ТОП рифея и венда Волго-Уральской области, а также выполнено сопоставление некоторых параметров тонкозернистых обломочных пород для ряда коррелируемых уровней рифея Камско-Бельского авлакогена и Башкирского мегантиклинория. Важное место во втором разделе отведено гл. 9, в которой автор обращается к основным особенностям формирования осадочного выполнения Камско-Бельского авлакогена и Шкаповско-Шиханской впадины, реконструированным по результатам литогеохимического изучения.

Глава 6

ЛИТОГЕОХИМИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ ПЕСЧАНИКОВ И ТОНКОЗЕРНИСТЫХ ОБЛОМОЧНЫХ ПОРОД КАК ИСТОЧНИК ИНФОРМАЦИИ ОБ УСЛОВИЯХ ФОРМИРОВАНИЯ ОСАДОЧНЫХ ТОЛЩ

Как песчаники, так и тонкозернистые обломочные породы в своих литогеохимических характеристиках несут интегральную информацию о ряде факторов, контролирующих процессы их формирования. К этим факторам относятся палеогеодинамический режим, палеоклимат, состав размывавшихся на палеоводосборах пород, а также некоторые палеогеографические характеристики (Eh придонных вод и др.). Полученные таким образом сведения никоим образом не отменяют необходимость детальных литологических наблюдений, но существенным образом (при правильном применении) их дополняют.

6.1. ПЕСЧАНИКИ

Большинство современных зарубежных публикаций, посвященных комплексной расшифровке обстановок формирования терригенных последовательностей, не обходится без использования одной или нескольких дискриминантных диаграмм, позволяющих более или менее обоснованно судить о *палеогеодинамической природе* осадочных толщ, прежде всего участвующих в их сложении песчаников. Отечественные исследователи в последние 10–12 лет постепенно также обращаются к подобному подходу, хотя он, как будет показано ниже, имеет и свои плюсы, и свои минусы.

Песчаники, образовавшиеся в разных тектонических палеогеодинамических обстановках (в пределах платформ, на пассивных окраинах континентов, в обстановках предгорных прогибов, островодужных областях или у подножья континентальных склонов), характеризуются существенными различиями в содержании и соотношении петрогенных оксидов. Обобщение большого фактического материала по грауваккам и субграувакковым песчаникам ряда современных тектонических обстановок позволило М. Бхатиа (Bhatia, 1983) провести корреляцию между особенностями химического состава песчаников и тектоническими режимами бассейнов их седиментации. В результате разработаны критерии разграничения песчаников, сформировавшихся в разных геодинамических обстановках, и на их основе создано несколько генетических диаграмм: (Fe_2O_3*[14]+MgO)–K_2O/Na_2O, (Fe_2O_3*+MgO)–Al_2O_3/SiO_2, (Fe_2O_3*+MgO)–Al_2O_3/(CaO+Na_2O), (Fe_2O_3*+MgO)–TiO_2.

[14]Здесь Fe_2O_3* представляет собой суммарное железо в пересчете на Fe_2O_3.

На указанных диаграммах достаточно отчетливо выражена тенденция изменения химических составов песчаников в ряду от псаммитов океанических (юных) островных дуг к псаммитам зрелых островных дуг, породам активных и пассивных континентальных окраин: снижение TiO_2 и Fe_2O_3*+MgO, а также Al_2O_3/SiO_2; рост значений K_2O/Na_2O и $Al_2O_3/(CaO+Na_2O)$ при уменьшении параметра Fe_2O_3*+MgO. Песчаники юных островных дуг характеризуются, по данным в (Bhatia, 1983), высокими значениями Fe_2O_3*+MgO (8–14%), Al_2O_3/SiO_2 (0.24–0.33) и имеют содержание TiO_2 ~0.8–1.4%. Значения соотношений K_2O/Na_2O и $Al_2O_3/(CaO+Na_2O)$ составляют в них, соответственно, 0.2–0.4 и 1.0–2.0. Песчаники зрелых дуг отличаются от обломочных пород, ассоциирующих с океаническими дугами, более низкими значениями Fe_2O_3*+MgO (5–8%), TiO_2 (0.50–0.70) и Al_2O_3/SiO_2 (0.15–0.20), а также более высокими значениями K_2O/Na_2O и $Al_2O_3/(CaO+Na_2O)$ (0.4–0.8 и 0.5–2.5 соответственно). Пескам и песчаникам активных континентальных окраин присущи еще более низкие значения Fe_2O_3*+MgO (2–5%), TiO_2 (0.25–0.45) и Al_2O_3/SiO_2 (0.10–0.20%), чем это типично для псаммитов зрелых островных дуг, и, напротив, более высокое значение K_2O/Na_2O. Средний состав песчаников данной геодинамической обстановки соответствует аркозам, но значение K_2O/Na_2O в них выше, тогда как Al_2O_3/SiO_2 ниже, чем в типичных аркозовых песчаниках пассивных тектонических обстановок (Интерпретация…, 2001). Пески и песчаники пассивных окраин характеризуются значительными вариациями химического состава с существенным разбросом значений соотношений K_2O/Na_2O и $Al_2O_3/(CaO+Na_2O)$. По сравнению с песчаниками активных континентальных окраин у них несколько ниже значения Fe_2O_3*+MgO и Al_2O_3/SiO_2 и выше – K_2O/Na_2O, что указывает на преобладание в них кварца и незначительное содержание полевых шпатов и обломков пород. В целом, как свидетельствует в том числе и наш опыт (Маслов, Гареев, 1992, 1994, 1996; Маслов и др., 2010б), приведенные выше дискриминантные диаграммы применимы в основном к песчаникам, формирующимся в приостроводужных бассейнах осадконакопления.

В (Bhatia, 1983; Bhatia, Crook, 1986) для идентификации геодинамических обстановок накопления палеозойских граувакк Австралии предложена также факторная дискриминантная диаграмма F1–F2, в состав факторов которой входит большинство петрогенных оксидов.

Для разграничения геодинамических обстановок формирования терригенных отложений Б. Розер и К. Корш (Roser, Korsch, 1986) разработали диаграмму SiO_2–K_2O/Na_2O с полями 1) пассивных континентальных окраин, 2) активных континентальных окраин и 3) океанических островных дуг. Данная диаграмма достаточно широко используется в практике палеогеодинамических реконструкций, хотя, как и диаграммы М. Бхатиа, не позволяет получить однозначные выводы относительно природы всех (любых) песчаниковых ассоциаций. Ранее в этих же целях была предложена диаграмма K_2O/Na_2O–SiO_2/Al_2O_3 (Maynard et al., 1982), где показаны всего два классификационных поля песчаников – пассивных и активных континентальных окраин.

За годы, прошедшие со времени опубликования указанных диаграмм, которые теперь можно с определенным основанием считать стандартными, накопилась достаточно противоречивая информация о степени их «достоверности» (Haughton, 1988; Holail, Moghazi, 1998; Shao et al., 2001; Toulkeridis et al., 1999; van de Kamp, Leake, 1985; Winchester, Max, 1989; и др.). Одной из наиболее яр-

ких иллюстраций служит в этом отношении, на наш взгляд, публикация (Armstrong-Altrin, Verma, 2005), в которой рассматривается соответствие составов неогеновых песчаников и песков, сформированных в обстановках пассивных и активных континентальных окраин и океанических островных дуг, их положению на диаграммах М. Бхатиа, Б. Розера и К. Корша. Авторы этой работы установили, что на диаграмме (Fe_2O_3*+MgO)–TiO_2 ни один из нескольких сотен проанализированных ими образцов псаммитов пассивных окраин не попал в соответствующее им поле. Для песчаников активных окраин «процент соответствия» составил ~5, а для псаммитов океанических островных дуг – приблизительно 15. Эти же показатели для диаграммы (Fe_2O_3*+MgO)–Al_2O_3/SiO_2 равнялись 2, 7 и 23%. Несколько выше (14, 15 и 17%) оказались «проценты соответствия» для диаграммы F1–F2. На диаграмме SiO_2–K_2O/Na_2O в поле песчаников пассивных окраин оказалось локализовано более 50% реально отвечавших данной обстановке образцов. Такой же «процент соответствия» характерен для псаммитов, накапливавшихся в пределах активных континентальных окраин; для песков и песчаников, образцы которых отбирались по периферии океанических островных дуг, он был ниже (~30%). Наилучшим же совпадением с теоретическими полями на диаграмме SiO_2–K_2O/Na_2O обладали усредненные для тех или иных выборок данные (Armstrong-Altrin, Verma, 2005).

К оценке «достоверности» ряда охарактеризованных выше диаграмм можно подойти и иначе, а именно использовав имеющиеся в специальной литературе сведения о химическом составе заведомо платформенных песчаных комплексов, в частности алевропесчаных образований осадочного чехла Русской плиты (Ронов и др., 1995). На диаграмме (K_2O/Na_2O)–(SiO_2/Al_2O_3) точки алевропесчаных пород почти всех стратиграфических подразделений осадочного чехла Русской плиты сосредоточены в поле составов, характерных для песчаников пассивных континентальных окраин (рис. 52, *а*). Исключением служат лишь песчаники верхней перми, значения отношений K_2O/Na_2O и SiO_2/Al_2O_3 в которых составляют, соответственно, меньше 1 и меньше 5, что «сдвигает» их среднюю фигуративную точку в поле псаммитов активных континентальных окраин. В поле пассивных континентальных окраин расположены на рассматриваемой диаграмме и средние точки составов платформенных песчаных отложений разного возраста. На диаграмме SiO_2–(K_2O/Na_2O) большинство точек составов алевролитов и песчаников осадочного чехла Русской плиты также представлены в классификационном поле отложений пассивных континентальных окраин (см. рис. 52, *б*). Точка песчаников верхней перми и здесь попадает в иное поле, а именно поле океанических островных дуг, тогда как в поле активных континентальных окраин локализованы точки составов алевропесчаных пород верхнего карбона, триаса и средней юры (?), а также средняя точка состава мезокайнозойских песчаных пород платформ. На диаграмме (Fe_2O_3*+MgO)–(Al_2O_3/SiO_2) к полю песчаников пассивных континентальных окраин принадлежит уже меньшая часть из имеющихся средних точек песчаников разных стратиграфических подразделений палеозоя и мезозоя чехла Русской плиты (см. рис. 52, *в*). Но показательным считаем даже не это, а то, что все три средние точки состава песчаных пород платформ разного возраста (верхнего протерозоя, палеозоя и мезо-кайнозоя) тяготеют к классификационному полю активных пассивных окраин. К полю океанических островных дуг приближена здесь не только средняя точка состава алевропесчаных пород

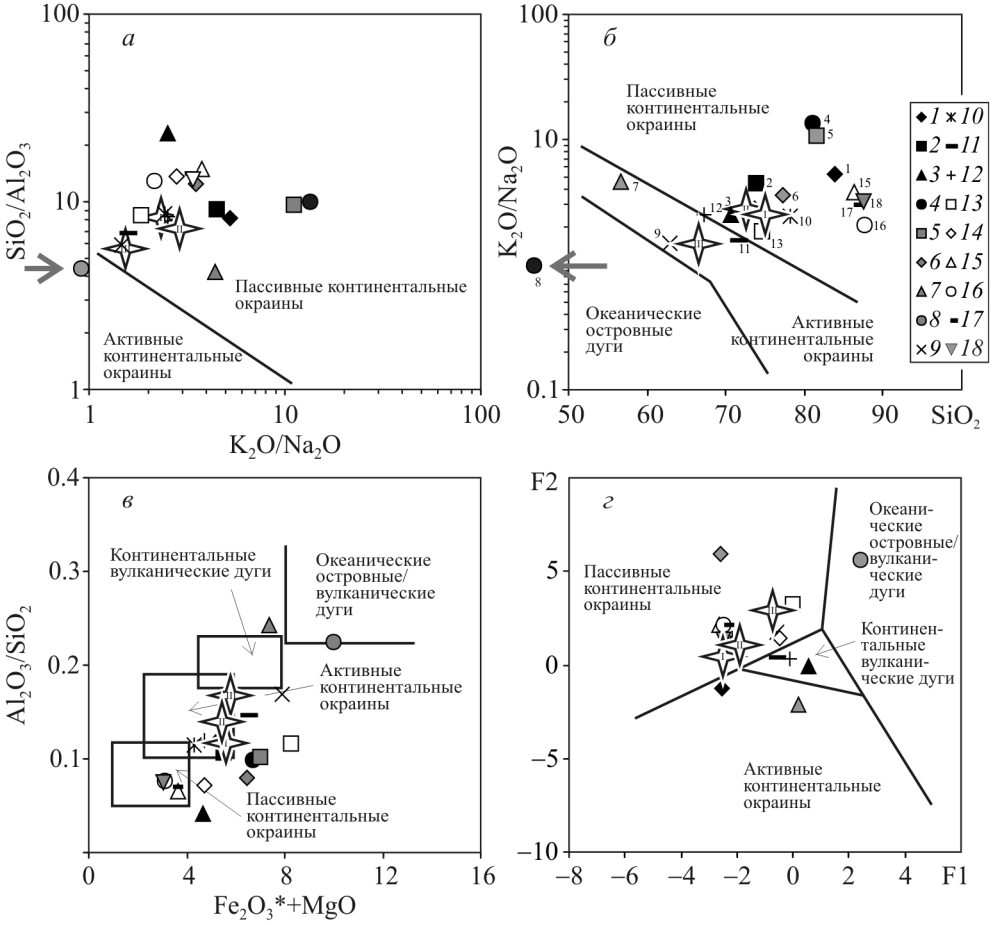


Рис. 52. Положение фигуративных точек составов алевропесчаных пород разных стратиграфических подразделений палеозоя, мезозоя и кайнозоя осадочного чехла Русской плиты (по: Ронов и др., 1995) на дискриминантных геодинамических диаграммах:

1 – кембрий; *2* – ордовик; *3* – силур; *4* – средний девон; *5* – верхний девон; *6* – нижний карбон; *7* – верхний карбон; *8* – верхняя пермь; *9* – триас; *10* – нижняя юра; *11* – средняя юра; *12* – верхняя юра; *13* – нижний мел; *14* – верхний мел; *15* – палеоген; *16* – неоген; *17* – третичный период; *18* – четвертичный период.

Звездочками с цифрами указан средний химический состав платформенных песчаных отложений разного возраста: I – верхний протерозой; II – палеозой; **III – мезозой и кайнозой (по: Ронов и др., 1990)**

верхней перми, что характерно для двух рассмотренных выше диаграмм, но и средняя точка алевролитов и псаммитов верхнего карбона. Наконец, на диаграмме F1–F2 большинство средних точек алевропесчаных пород чехла Русской плиты, как и средние для песчаных пород верхнего протерозоя, палеозоя и мезокайнозоя точки, сосредоточены в поле составов пассивных континентальных окраин (см. рис. 52, *г*). Иное положение занимают на данной диаграмме вновь песчаники верхней перми (поле океанических островных дуг), силура, а также средней и верхней юры (поле континентальных вулканических дуг)

и псаммиты кембрия и верхнего карбона (поле активных континентальных окраин). Средняя точка состава алевропесчаных пород ордовика в избранные нами границы факторов не попала, так как значения ее F1 и F2, соответственно, ~13.0 и ~13.4. Это обусловлено достаточно большим «весом» содержания P_2O_5 в формулах обоих факторов, поскольку среднее содержание оксида фосфора для песчаников ордовика Русской плиты составляет ~1.95% (Ронов и др., 1995). Все это свидетельствует, что фигуративные точки составов алевролитов и песчаников заведомо (по геологическим данным) платформенного генезиса почти со 100-процентной вероятностью локализованы в соответствующих им классификационных полях только на диаграммах (K_2O/Na_2O)–(SiO_2/Al_2O_3) и SiO_2–(K_2O/Na_2O). На двух других диаграммах наблюдается существенно более широкий их разброс, и в поле пассивных континентальных окраин, которое можно рассматривать как поле, отвечающее песчаникам из обстановок с минимальной тектонической активностью, попадает иногда меньшая часть точек составов той или иной выборки. Последнее особенно хорошо прослеживается как в случае с алевропесчаными породами разных стратиграфических интервалов фанерозоя Русской плиты, так и в случае со средними составами песчаников верхнего протерозоя, палеозоя и мезокайнозоя этой же структуры, точки составов которых нанесены на диаграмму (Fe_2O_3*+MgO)–(Al_2O_3/SiO_2) (см. рис. 52, *в*). На диаграмме SiO_2–(K_2O/Na_2O) средние точки песчаных пород верхнего протерозоя и палеозоя Русской платформы отвечают полю пассивных континентальных окраин, тогда как точка аналогичных по гранулометрическому составу пород мезозоя и кайнозоя локализована в поле активных континентальных окраин. Возможно, это вызвано особенностями методики, на основе которой выполнялся расчет среднего химического состава песчаников анализируемого возраста. Подводя итог сказанному, можно сделать вывод о том, что для реконструкции палеогеодинамических обстановок формирования псаммитов платформенного и субплатформенного типа (кварцевых, полевошпат-кварцевых, субаркозовых и аркозовых) более приемлемы дискриминантные диаграммы Дж. Мейнарда с соавторами (K_2O/Na_2O–SiO_2/Al_2O_3) и Б. Розера и К. Корша (SiO_2–K_2O/Na_2O), тогда как для граувакковых и близких к ним по составу песчаников периостроводужных бассейнов – разные диаграммы М. Бхатиа.

Проанализировав особенности распределения РЗЭ в граувакковых песчаниках Австралии, накапливавшихся в разных геодинамических обстановках (океанические и континентальные островные дуги, активная и пассивная континентальные окраины), М. Бхатиа и К. Крук (Bhatia, Crook, 1986) обнаружили систематическое увеличение содержания ЛРЗЭ (La, Ce, Nd), Th, Nb и значений отношений Ba/Sr, Rb/Sr, La/Y, Ni/Co, а также уменьшение содержания V, Sc и значений отношений Ba/Rb, K/Th, Th/U в ряду от псаммитов океанических островных дуг к песчаникам пассивной континентальной окраины. На основе геохимических характеристик песчаников эти авторы предложили несколько диаграмм для реконструкции условий формирования осадочных последовательностей La–Th, Ti/Zr–La/Sc, La/Y–Sc/Cr, La–Th–Sc, Th–Co–Zr/10. Граувакки океанических островных дуг характеризуются очень низким содержанием La, Th, U, Zr, низкими значениями отношения Th/U и высокими значениями отношений La/Sc, La/Th, Ti/Zr, Zr/Th. Для граувакк зрелых островных дуг типично повышенное содержание La, Th, U, Zr, Nb. Отложения, накапливавши-

еся в обстановках активной и пассивной континентальных окраин, хорошо различаются на диаграммах Th–Sc–Zr/10 и Th–Co–Zr/10, однако на парных диаграммах Th/Zr и Th/Sc образуемые ими поля достаточно сильно перекрываются. В песчаниках пассивной континентальной окраины выше концентрация Zr и значения отношения Zr/Th при низком по сравнению с песчаниками активной континентальной окраины содержании Ba, Rb, Sr, а также низком значении Ti/Zr (Интерепретация…, 2001).

6.2. ТОНКОЗЕРНИСТЫЕ ОБЛОМОЧНЫЕ ПОРОДЫ

Сведения о валовом химическом составе и значениях ряда индикаторных отношений элементов-примесей в тонкозернистых обломочных породах позволяют получить представление об особенностях выветривания на палеоводосборах, составе размывавшихся на них пород и ряде других параметров процессов осадконакопления (Тейлор, МакЛеннан, 1988; Интерпретация…, 2001; Маслов, 2005). Так, реконструкция *палеоклимата* по литохимическим данным основана на определении степени зрелости тонкой алюмосиликокластики, поступавшей с палеоводосборов в бассейн осадконакопления. Считается, что характер процессов выветривания в областях питания может быть оценен по значениям ГМ и АМ, а также индексов CIA, CIW и IVC. При этом породы с более высокими значениями ГМ и АМ рассматриваются как состоящие из компонентов, испытавших на палеоводосборах более сильное выветривание (Юдович, 1981; Юдович, Кетрис, 2000; Интерпретация…, 2001). Не измененные процессами выветривания магматические породы характеризуются, по сведениям, приведенным в (Nessbit, Young, 1982; Visser, Young, 1990), значениями CIA порядка 50, в сильно измененных при выветривании образованиях значение этого индекса может достигать ~100. В качестве границы между отложениями гумидного, аридного или нивального климата обычно принимается значение CIA, равное 70. Значения CIW также возрастают с ростом степени разложения пород на палеоводосборах: для слабоизмененных базальтов и гранитов они варьируются в пределах 59–76 (Harnois, 1988) (ср.: в корах выветривания этих же пород они достигают 94–98). Тонкозернистые терригенные образования с высоким содержанием неглинистых силикатных минералов имеют значения IVC выше единицы, зрелые же глинистые породы характеризуются значениями IVC ниже единицы (Cox et al., 1995).

Один из эффективных методов реконструкции *состава пород на палеоводосборах* – анализ присущих тонкозернистым терригенным образованиям ряда индикаторных отношений элементов-примесей (в частности, La, Th, Co, Sc, Cr, Ni, V, Zr), так как считается, что их содержание и соотношение в глинистых породах существенно не меняются в процессах литогенеза и метаморфизма. Перечисленные элементы слабо растворимы в воде, вследствие чего почти без потерь перемещаются из областей сноса в бассейны осадконакопления (Тейлор, МакЛеннан, 1988; Nesbitt, 1979; Davis, 1980; Wronkiewicz, Condie, 1987; McLennan, 1989; Condie, Wronkiewicz, 1990; Condie, 1993; Girty et al., 1994; Cullers, 1995; Bierlein, 1995; Jahn, Condie, 1995; Panahi, Young, 1997; Bhat, Ghosh, 2000). Указанный подход основан на представлениях о том, что для кислых магматических образований (граниты, гранодиориты) характерны на

один-два порядка более высокие, нежели для базитов, значения отношений Th/Sc, La/Sc, La/Co, Th/Co, Th/Cr и V/Ni (Интерпретация…, 2001) и, наоборот, основные магматические породы имеют на один-два порядка более высокие значения Cr/Zr, Cr/V и некоторых других индикаторных соотношений. Использование названных соотношений позволяет реконструировать и особенности изменения состава пород на палеоводосборах с течением времени. Этот метод наиболее эффективен при изучении достаточно мощных тонкообломочных осадочных последовательностей, не содержащих песчаников, гравелитов и конгломератов.

Составом пород источников сноса и типом размывавшейся верхней континентальной коры в определенной степени контролируется и разнообразие нормированных на хондрит спектров распределения РЗЭ в постархейских осадочных породах (McLennan et al., 1990). Так, магматические породы основного состава характеризуются низким соотношением ЛРЗЭ/ТРЗЭ (< 4–5) и не имеют достаточно выраженной отрицательной Eu-аномалии (Eu/Eu* > 0.85–0.90), тогда как кислым породам свойственны высокое соотношение ЛРЗЭ/ТРЗЭ (> 8.0) и отчетливая отрицательная (< 0.85) Eu-аномалия (Тейлор, МакЛеннан, 1988; McLennan, Taylor, 1991). Значение La_N/Yb_N, выше или равное 20, указывает на преобладание на палеоводосборах гранитоидов (Wronkiewicz, Condie, 1990). По данным К. Конди (Condie, 1993), для среднего состава архейской коры характерны следующие значения интересующих нас соотношений: 15.68 – La_N/Yb_N, 2.04 – Gd_N/Yb_N, 0.83 – Eu/Eu* (для раннепротерозойской коры, соответственно, 11.50, 1.78, 0.72). Несколько иные оценки тех же параметров для архейской верхней коры (соответственно, 6.76, 1.38 и 0.99) представлены в (Taylor, McLennan, 1995).

Анализ докембрийских пелитов Каапвальского кратона показывает (Condie, Wronkiewicz, 1990), что соотношение Cr/Th представляет собой значительно более чувствительный индикатор состава пород источников сноса, чем Eu/Eu*, La/Yb или Th/U. Однако следует иметь в виду, что содержание Cr в осадках может варьироваться под влиянием процессов выветривания и переотложения, поэтому только при положительной корреляции между Cr/Th и Sc/Th отношение Cr/Th действительно служит индикатором состава пород в областях разлива. Отсутствие существенных изменений в тонкозернистых обломочных породах величины Cr/Th на протяжении достаточно длительного времени рассматривается и как показатель стабильности тектонического режима, способствующего эффективному перемешиванию тонкой алюмосиликокластики на путях переноса. Присутствие в областях сноса пород ультраосновного состава заметно снижает значение соотношения Cr/Ni в тонкозернистых обломочных осадках (до 1.4–1.5). При значениях же Cr/Ni выше 2.0 можно сделать вывод о существенной трансформации тонкой терригенной взвеси ультраосновного состава на путях переноса (Garver et al., 1996). Наш опыт позволяет утверждать, что наиболее информативны для реконструкции состава пород источников сноса и их изменения с течением времени результаты анализа соотношений Th/Sc, Th/Co, Cr/Zr, Cr/V, La/Sc, V/Ni, Th/Cr (Маслов и др., 2000, 2004а, 2004б, 2004г).

В качестве *показателя окислительно-восстановительных особенностей придонных вод* бассейнов седиментации в отечественной литературе рассматривается преимущественно соотношение Mo/Mn (Холодов, Недумов, 1991;

Таблица 24

Значения отношений малых элементов, используемых для разграничения различных по редокс-параметрам зон бассейна

U/Th	Аутигенный U	V/Cr	Ni/Co
Бескислородная зона			
1.25	12.0	4.25	7.0
Дизокисная зона			
0.75	5.0	2.0	5.0
Окисная зона			

Холодов, Пауль, 1999; Гаврилов и др., 2002; Маслов и др., 2003; Бяков, Ведерников, 2007). Считается, что в бассейнах с сероводородным заражением соотношение Mo/Mn варьируется от 0.0n до 0.n, тогда как в хорошо аэрируемых водоемах оно существенно менее 0.00n. В зарубежных публикациях спектр подобных индикаторов шире: Ni/Co, V/Cr, V/(V + Ni), Re/Mo, Mo/Co, V/Co, U/Th (Jones, Manning, 1994; Hatch, Leventhal, 1992; Rachold, Brumsack, 2001; Rimmer, 2004; Turgeon, Brumsack, 2006) (табл. 24), – однако одновременное применение их не всегда дает согласующиеся между собой результаты (подробнее см.: Маслов и др., 2003).

Для реконструкции *палеосолености* с определенными оговорками используются соотношения в тонкой (< 0.001 мм) глинистой фракции B, Ga, Rb (см., к примеру (Degens et al., 1957, 1958; Walker, Price, 1963; Валиев, 1977; Мележик, 1992)) или парные соотношения ряда других элементов в валовых пробах. В частности, по мнению Э.Н. Янова (1971), для тонкозернистых обломочных образований наиболее информативны при определении палеосолености величины Al/Ti, V/Zr и Zr/Cu (значение соотношения Al/Ti в континентальных аргиллитах варьируется в пределах 70–120, тогда как в морских – всего 15–60; значение Zr/Cu в морских аргиллитах составляет 1–3.5, в континентальных оно возрастает до 3.5–8), однако корректность полученных при этом выводов у многих исследователей вызывает сомнения.

Индикатором *наличия в осадках продуктов подводных эксгаляций* служит соотношение (Fe + Mn)/Ti (титановый модуль; подробнее см.: Страхов, 1976). Значение его в осадках современных водоемов, в которых гидротермальная деятельность заведомо отсутствует, варьируется, как правило, в интервале 7.7–17. При значении (Fe+Mn)/Ti выше 25 можно предполагать присутствие в осадках гидротермального материала (Страхов, 1976; Бутузова, 1998). Другим индикатором подобного рода выступает алюминиевый модуль Бострема – Al/(Al+Fe+Mn) (Bostrom, 1973). Для осадков, содержащих эксгалятивные компоненты, его значение не превышает 0.4. В последние годы предложен и ряд иных геохимических индикаторов присутствия в осадочных образованиях продуктов подводных эксгаляций, к примеру, Zr/Hf (Стрекопытов и др., 1995) (в обычных терригенных отложениях названный параметр составляет ~33–35, тогда как в осадках с примесью гидротермального материала – 50 и более), а также индекс HTSIX (Peter, 2003) и др.

Я.Э. Юдович с соавторами (1984, 1986) для диагностики присутствия вулканогенного материала в ТОП, лишенных его отчетливых литологических

признаков и сильно преобразованных в катагенезе (так называемая камуфлированная пирокластика), использовали литохимические критерии. К их числу отнесены аномально высокие или, напротив, аномально низкие значения TiO_2/Al_2O_3, повышенные значения $(Fe_2O_3+FeO+MnO)/(TiO_2+Al_2O_3)$, содержание Na_2O выше 3% и Na_2O+K_2O выше 5% , значения K_2O/Al_2O_3, превосходящие мусковитовую норму (0.31), а также значимые корреляционные связи между K_2O, TiO_2, MgO и др.

Глава 7

РЕЦИКЛИНГ ПЕСЧАНОГО И ТОНКОГО ТЕРРИГЕННОГО МАТЕРИАЛА В ПРОЦЕССЕ ФОРМИРОВАНИЯ ОТЛОЖЕНИЙ ВЕРХНЕГО ДОКЕМБРИЯ ВОЛГО-УРАЛЬСКОЙ ОБЛАСТИ

Привнесение в область осадконакопления, с одной стороны, непереотложенной (так называемой *first cycle*, или петрогенной) кластики и рециклированного (литогенного) материала, с другой, есть основные процессы, в самом общем виде контролирующие формирование обломочных образований (Тейлор, МакЛеннан, 1988; Юдович, Кетрис, 2000; Veizer, 1984; Veizer, Jansen, 1985; Cox, Lowe, 1995; Cox et al., 1995; Geochemistry..., 2003; и др.). Длительное переотложение способствует заметному обогащению кластических осадков химически и механически зрелыми компонентами (такими, к примеру, как кварц и иллит) и ведет к появлению в разрезах литогенных песчаников, алевролитов и глинистых пород (Юдович, Кетрис, 2000). Обломочные породы *first cycle* (или породы петрогенные), образованные за счет размыва областей сноса с доминированием гранитоидов, также содержат существенное количество кварца, но наряду с ним среди слагающих их обломочных компонентов в значительном количестве присутствуют и полевые шпаты. Находящиеся в ассоциации с песчаниками указанного состава тонкозернистые обломочные образования, как и в случае литогенных глин, характеризуются повышенной концентрацией калия и алюминия, однако величина соотношения K_2O/Al_2O_3 в них в целом выше, чем в многократно переотложенных осадках.

Разграничение литогенных и петрогенных пород обычными петрографическими методами представляет собой достаточно трудную задачу. Значительно помогают в ее решении литогеохимические методы. Так, Я.Э. Юдович и М.П. Кетрис (2000) на основе анализа особенностей соотношения главных химических компонентов обломочных пород сформулировали ряд критериев распознавания литогенных и петрогенных образований. Согласно их наблюдениям, в петрогенных породах, как правило, сохраняются исходные (т.е. существовавшие в магматических породах) корреляции между основными петрогенными оксидами и петрохимическими модулями. Так, между титановым (ТМ) (TiO_2/Al_2O_3) и железным (ЖМ) ((Fe_2O_3+FeO+MnO)/(TiO_2+Al_2O_3)) модулями наблюдается положительная корреляция, а между модулями общей щелочности (НКМ) ((Na_2O+K_2O)/Al_2O_3) и ГМ – отрицательная.

По данным Р. Кокса с соавторами (Cox, Lowe, 1995; Cox et al., 1995), в многократно переотложенных ТОП значение соотношения K_2O/Al_2O_3 ниже 0.3. Напротив, в глинах *first cycle* калий содержится преимущественно в тонкодисперсных полевых шпатах, поэтому соотношения K_2O/Al_2O_3 в этих образованиях выше 0.4. Вследствие длительного переотложения они обеднены наиболее растворимыми компонентами (содержание, к примеру, U и Sr вверх по разрезу снижается), тогда как содержание минимально растворимых элементов (Th,

Таблица 25

Медианные для свит значения ряда индикаторных отношений и содержаний некоторых элементов-примесей в тонкозернистых обломочных породах рифея Камско-Бельского авлакогена

Элементы и соотношения	Свита						
	Прикамская	Калтасинская	Надеждинская	Тукаевская	Ольховская	Усинская	Приютовская
Th	10.16	11.13	12.38	8.92	9.52	12.49	13.85
Y	11.76	12.44	21.56	20.13	18.16	22.46	19.79
U	3.36	2.92	3.27	4.38	3.04	3.34	3.66
Sr	49.63	58.33	44.75	67.15	121.43	65.14	112.08
ЛРЗЭ/ТРЗЭ	11.14	10.06	9.35	8.76	8.58	14.41	8.79
Eu/Eu*	0.68	0.70	0.72	0.71	0.67	0.72	0.74
K_2O/Al_2O_3	0.46	0.31	0.37	0.41	0.52	0.48	0.52
n	16	4	4	4	12	4	4

Примечание. n – количество образцов.

Y и др.) несколько увеличивается с течением времени. Процессы рециклинга ведут также к постепенному увеличению ЛРЗЭ/ТРЗЭ при почти неизменной величине Eu-аномалии, так как при переотложении не происходит фракционирования Eu относительно других редких земель (Cox, Lowe, 1995).

Обратимся теперь к анализу основных особенностей изменения в разрезе рифея Камско-Бельского авлакогена медианных для свит и индивидуальных значений K_2O/Al_2O_3, Eu/Eu* и ЛРЗЭ/ТРЗЭ, а также содержания Th, Y, U, Sr в тонкозернистых обломочных породах. Для всей изученной нами выборки ТОП рифея медианное значение K_2O/Al_2O_3 – интегральный индикатор степени рециклирования тонкой алюмосиликокластики – составляет 0.46. Медианные значения K_2O/Al_2O_3 для свит и некоторых подсвит варьируются от 0.31 (арланская подсвита калтасинской свиты) до 0.52 (ольховская и приютовская свиты) (табл. 25). В восходящем разрезе (рис. 53, *а*) в нижней части рифейской мегапоследовательности Камско-Бельского авлакогена наблюдается резкое снижение K_2O/Al_2O_3 (0.46–0.31), а затем от надеждинского уровня (верхи нижнего рифея) вплоть до приютовского уровня (середина верхнего рифея) на протяжении примерно 500–550 млн лет фиксируется постепенный рост значений рассматриваемого параметра (0.48–0.52). Показательно, что экскурс медианной величины K_2O/Al_2O_3 на отрезке прикамская свита–калтасинская свита в область низких значений не сопровождается симбатным снижением ни ГМ, ни CIA. Это предполагает отсутствие взаимосвязи данного явления с процессами преобразования кластики, процессами выветривания на палеоводосборах и указывает на подавленность процессов интенсивного химического выветривания в областях сноса, а также преобладание климата, близкого к аридному. Так как минимальные значения K_2O/Al_2O_3 наблюдаются в ТОП нижней части разреза, можно считать, что аридизация климата с течением времени имела тенденцию к нарастанию.

Анализ изменения величины K_2O/Al_2O_3 с использованием результатов изучения индивидуальных образцов также показывает, что низкие, подобные

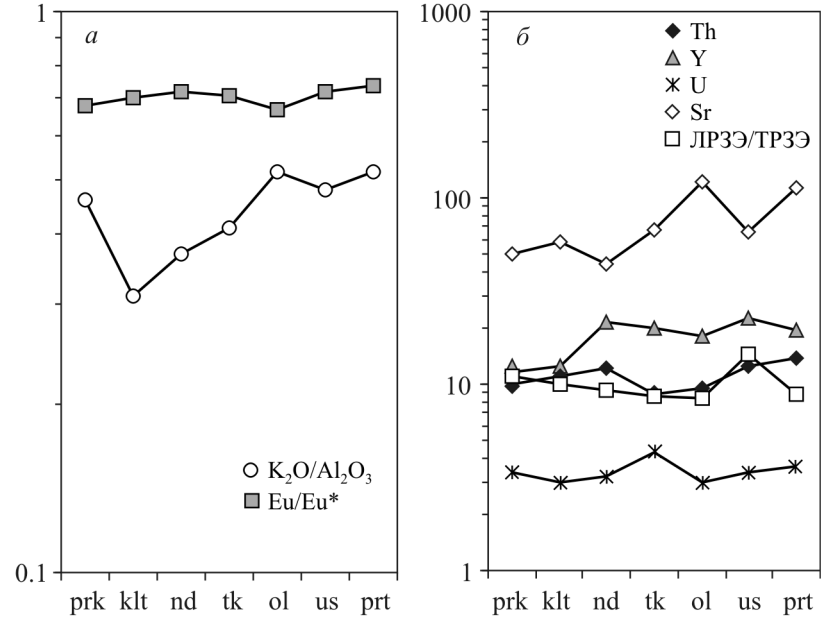


Рис. 53. Вариации медианных для свит рифея Камско-Бельского авлакогена значений K_2O/Al_2O_3 и **Eu/Eu*** (*а*), величины ЛРЗЭ/ТРЗЭ и содержания (г/т) **U, Sr, Th и Y** (*б*):
prk – **прикамская**; **klt – калтасинская**; **nd – надеждинская**; **tk – тукаевская**; **ol – ольховская**; **us – усинская**; **prt – приютовская**

тем, что, по данным (Cox, Lowe, 1995; Cox et al., 1995), свойственны литогенным глинам, значения рассматриваемого параметра характерны только для алевритистых аргиллитов и глинистых сланцев второй снизу подсвиты прикамской свиты и арланской подсвиты калтасинской свиты. Тонкозернистые обломочные породы остальных литостратиграфических единиц рифейского разреза характеризуются значением K_2O/Al_2O_3, выше или равным 0.35–0.40, и обнаруживают устойчивую тенденцию к его увеличению вверх по разрезу (рис. 54). С учетом сказанного можно предполагать, что значительная часть тонкозернистой алюмосиликокластики в разрезе рифея Камско-Бельского авлакогена имеет петрогенную природу. Алевроаргиллиты и глинистые сланцы калтасинской и прикамской свит (последние вообще ассоциируют с аркозовыми, полевошпат-кварцевыми и кварцевыми псаммитами), как представляется, также суть образования *first cycle*, а свойственные им низкие значения K_2O/Al_2O_3 обусловлены, видимо, формированием исходных осадков в обстановках, близких к гумидным (значение CIA в ТОП прикамской свиты составляет 68, в аргиллитах калтасинской свиты оно равно 70; выше по разрезу CIA варьируется в пределах 53–65, т.е. оказывается несколько ниже).

Еще одним аргументом в пользу этого вывода служит наличие положительной (однако достаточно слабой) корреляции между ТМ и ЖМ (r = 0.21), с одной стороны, и отрицательной между НКМ и ГМ (r = –0.32), с другой, во всей выборке образцов глинистых сланцев и аргиллитов рифейской мегапоследовательности, что, по мнению Я.Э. Юдовича и М.П. Кетрис (2000), указывает на петрогенный характер тонкой алюмосиликокластики. Вместе с

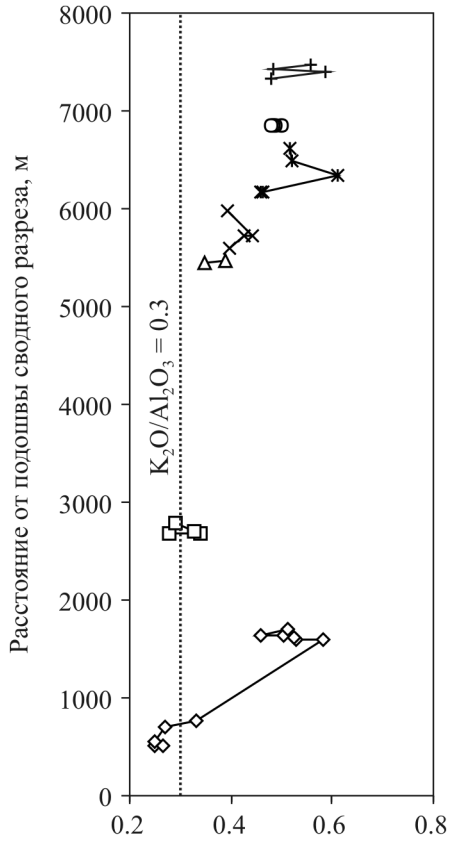


Рис. 54. Вариации значений K_2O/Al_2O_3 в тонкозернистых терригенных породах сводного разреза рифея Камско-Бельского авлакогена.
Условные обозначения см. на рис. 31

тем при обращении к анализу корреляционных связей между этими модулями в выборках для каждой из свит мы наблюдаем существенно более сложную картину. Так, алевритистые агриллиты и глинистые сланцы прикамской свиты (n = 16) характеризуются отрицательной корреляцией между обоими парами модулей и, следовательно, не могут рассматриваться на основе данного критерия как петрогенные образования. Глинистые сланцы калтасинского уровня нижнего рифея (n = 4) обладают значимой отрицательной корреляцией между модулями ТМ и ЖМ (r = –0.66), причем корреляция между модулями НКМ и ГМ в них значимая положительная (r = 0.94). Из сказанного следует, что и ТОП данного уровня относятся к литогенным образованиям. Для глинистых сланцев надеждинской свиты (n = 4) соотношения между анализируемыми нами парами модулей отвечают критериям, характеризующим петрогенные тонкозернистые алюмосиликокластические образования: корреляция между ТМ и ЖМ сильная положительная (r = 0.95), между НКМ и ГМ – сильная отрицательная (r = –0.81). К петрогенным образованиям принадлежат также глинистые сланцы и аргиллиты ольховского уровня среднего рифея (n = 17). Напротив, тонкозернистые обломочные породы усинской и приютовской свит верхнего рифея на основе соотношений между ТМ и ЖМ, НКМ и ГМ с учетом критериев, предложенных Я.Э. Юдовичем и М.П. Кетрис (2000), видимо, следует классифицировать как породы литогенные.

Медианное для свит содержание U не обнаруживает какой-либо ясно выраженной тенденции к росту или снижению снизу вверх по всему разрезу рифея Камско-Бельского авлакогена (см. табл. 25, рис. 53, *б*): в алевритистых аргиллитах и глинистых сланцах прикамской свиты кырпинской серии рассматриваемый параметр составляет 3.33 г/т, в глинистых сланцах надеждинской свиты той же серии – 3.22 г/т, в ТОП ольховской свиты среднего рифея – 3.00, а в аргиллитах приютовской свиты верхнего рифея – 3.62 г/т. Тенденции к росту или снижению содержания урана в тонкозернистых обломочных породах не наблюдается и при рассмотрении результатов анализа индивидуальных образцов (рис. 55, *а*), однако необходимо отметить значимые вариации концентрации U в образцах глинистых и алевритоглинистых пород тукаевской, ольховской и

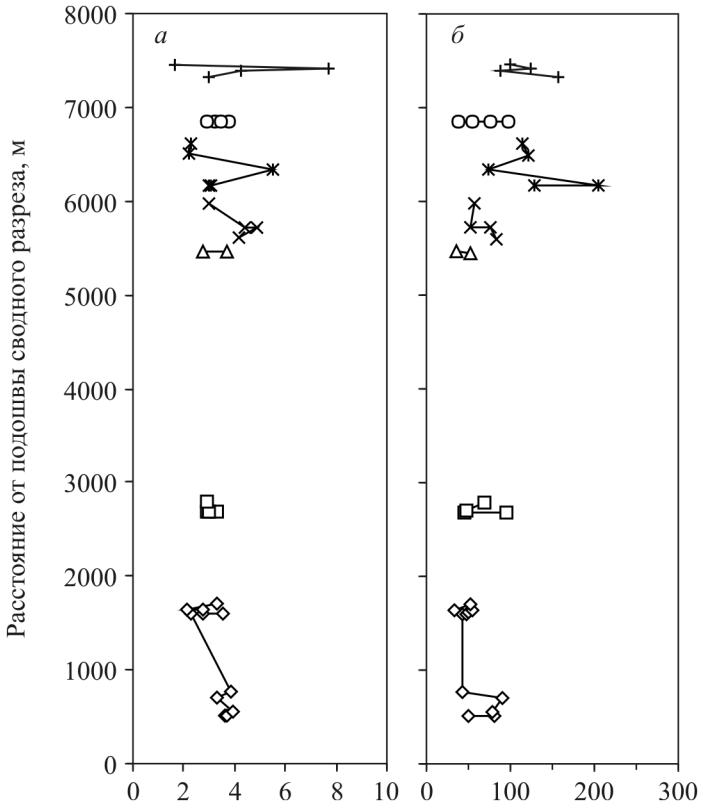


Рис. 55. Вариации содержания (г/т) U (*а*) и Sr (*б*) в индивидуальных образцах глинистых сланцев и аргиллитов рифея Камско-Бельского авлакогена.
Условные обозначения см. на рис. 31

прикамской свит, что выражается и в достаточно больших значениях стандартных отклонений.

Медианное для свит содержание в ТОП рифея Камско-Бельского авлакогена Sr, элемента, как и U, обладающего относительно высокой растворимостью, напротив, характеризуются вполне ясно выраженной тенденцией к росту вверх по разрезу. Так, в породах прикамской, калтасинской и надеждинской свит нижнего рифея его медианное содержание составляет, соответственно, 49.6, 58.3 и 44.7 г/т, тогда как выше по разрезу (в алевритистых аргиллитах и глинистых сланцах серафимовской и абдулинской серий) они повышаются до 65–120 г/т. Изучение приведенных в табл. 25 сведений позволяет утверждать, что с учетом величин стандартных отклонений тонкозернистые обломочные породы ольховской и приютовской свит значимо отличаются от аналогичных им по гранулометрическому составу пород других литостратиграфических единиц рифейского разреза. Анализ содержания Sr в индивидуальных образцах показывает, что его поведение в вертикальном разрезе почти симбатно поведению U (см. рис. 55, *б*): в глинистых сланцах и алевритистых аргиллитах прикамской, калтасинской, надеждинской и тукаевской свит содержание стронция варьируется в пределах 33–95 г/т, тогда как в ТОП более высоких уровней разреза разброс содержания Sr увеличивается до 39–205 г/т. Таким образом, снизу вверх по разрезу рифея каких-либо определенных изменений

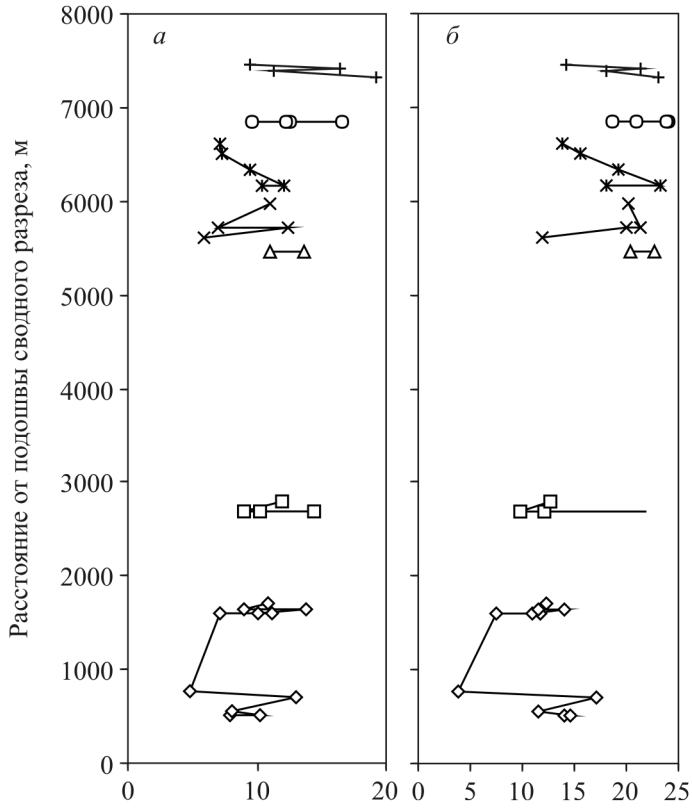


Рис. 56. Вариации содержания (г/т) Th (*а*) и Y (*б*) в индивидуальных образцах глинистых сланцев и аргиллитов рифея Камско-Бельского авлакогена. Условные обозначения см. на рис. 31

U не выявлено, тогда как для Sr наблюдается тенденция к постепенному росту его содержания.

Медианное для свит содержание Th, элемента из группы слаборастворимых, снизу вверх по разрезу рифея Камско-Бельского авлакогена характеризуется тенденцией к слабому росту (см. рис. 53, *б*). В глинистых сланцах и алевритистых аргиллитах прикамской и калтасинской свит кырпинской серии значение рассматриваемого параметра, соответственно, 10.07 и 11.12 г/т, а в близких к ним по гранулометрическому составу образованиях усинской и приютовской свит абдулинской серии – 12.44 и 13.82 г/т. Вместе с тем значительная в последнем случае величина стандартного отклонения не позволяет принять указанную тенденцию как статистически значимую. Анализ особенностей изменения снизу вверх по разрезу рифея Камско-Бельского авлакогена содержания Th в индивидуальных образцах (рис. 56, *а*) приводит нас к выводу, что в тонкозернистых обломочных породах кырпинской и серафимовской серий пределы вариаций данного параметра почти одинаковы (прикамская свита – 4.8–13.7 г/т, калтасинская свита – 9–14.4, надеждинская свита – 11.0–13.6, тукаевская свита – 5.8–12.5, ольховская свита – 7.2–12.1 г/т). В глинистых сланцах и аргиллитах усинской и приютовской свит содержание Th чуть выше, пределы вариаций составляют, соответственно, 9.5–16.6 и 9.4–19.2 г/т.

Иттрий, также считающийся относительно нерастворимым элементом, обнаруживает несколько иной тип изменения медианного для свит содержания снизу вверх по разрезу (см. рис. 53, *б*). Минимальное медианное его содержание характерно для двух свит из основания рифейской мегапоследовательности – прикамской и калтасинской (соответственно, 11.7 и 12.4 г/т). Выше (почти во всем надеждинско–приютовском интервале, т.е. на протяжении примерно 500 млн лет) медианное содержание Y в ТОП увеличивается в интервале от 18.1 (ольховская свита) до 22.4 г/т (усинская свита). При анализе содержания Y в индивидуальных образцах (см. рис. 56, *б*) тенденция к росту концентрации вверх по разрезу проявлена отчетливее. Особенно наглядно это при сопоставлении пределов вариации содержания Y в индивидуальных образцах разных литостратиграфических подразделений (прикамская свита – 3.8–17.1 г/т, калтасинская свита – 9.9–22.0, тукаевская свита – 12–21.4, ольховская свита – 13.9–23.2, приютовская свита – 14.2–23.2 г/т). Резюмируя сказанное, отметим, что для обоих относительно слабо растворимых элементов наблюдается тенденция к некоторому увеличению их содержания вверх по разрезу рифея Камско-Бельского авлакогена (как медианных для свит, так и в индивидуальных образцах).

Для ЛРЗЭ/ТРЗЭ по медианным для свит значениям в первом приближении намечается тенденция к постепенному снижению значений снизу вверх по разрезу рифея Камско-Бельского авлакогена (см. табл. 25): в глинистых сланцах и алевритистых аргиллитах прикамского уровня значение ЛРЗЭ/ТРЗЭ$_{медиана}$ составляет 11.1, в тонкозернистых обломочных породах надеждинской свиты – 9.3, в глинистых сланцах и аргиллитах ольховской свиты – 8.5. Примерно такое же значение ЛРЗЭ/ТРЗЭ$_{медиана}$ характерно для тонкозернистых алюмосиликокластических образований приютовской свиты (8.7). Исключением в этом ряду оказываются глинистые сланцы усинской свиты с медианным значением ЛРЗЭ/ТРЗЭ, равным 14.3. Тенденция к постепенному уменьшению вверх по разрезу величины ЛРЗЭ/ТРЗЭ фиксируется и при анализе индивидуальных образцов (рис. 57, *а*). Выявленные особенности поведения ЛРЗЭ/ТРЗЭ в глинистых сланцах и аргиллитах не свидетельствуют, таким образом, в пользу предположения о росте степени рециклинга тонкой алюмосиликокластики вверх по разрезу рифея. В то же время отрицательная Eu-аномалия в ТОП рифея Камско-Бельского авлакогена не претерпевает снизу вверх по разрезу каких-либо значимых изменений. Это подтверждается как медианными для свит значениями (см. рис. 53, *а*), так и установленными значениями отрицательной Eu-аномалии в индивидуальных образцах глинистых сланцев, алевритистых аргиллитов и аргиллитов (см. рис. 57, *б*).

О преимущественно петрогенном характере материала, слагающего рифейские и вендские осадочные последовательности Волго-Уральской области, свидетельствуют соотношения Zr/Sc и Th/Sc в песчаниках. Значительная часть изученных нами образцов песчаников кырпинской, серафимовской, абдулинской, каировской и шкаповской серий на диаграмме Zr/Sc–Th/Sc (McLennan et al., 1993) (рис. 58) сосредоточена в области тренда, определяемого исходным составом пород в областях размыва, т.е. принадлежит к петрогенным образованиям.

Несколько иная ситуация сложилась в типовом разрезе рифея западного склона Южного Урала. Для песчаников айской свиты Башкирского меганти-

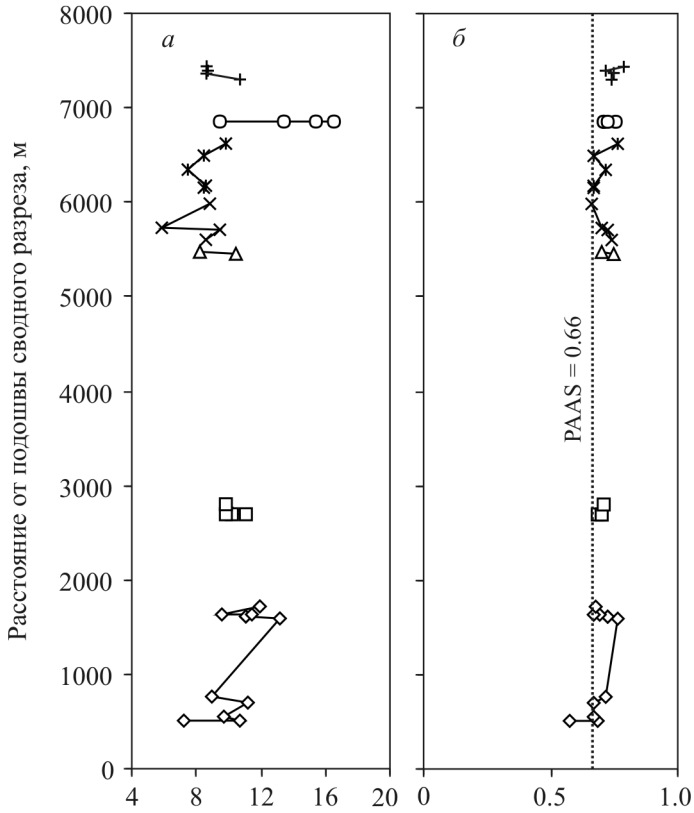


Рис. 57. Вариации значений ЛРЗЭ/ТРЗЭ (*а*) и Eu/**Eu*** (*б*) в индивидуальных образцах глинистых сланцев и аргиллитов рифея Камско-Бельского авлакогена.
Условные обозначения см. на рис. 31

клинория, с которой коррелируется прикамская свита Камско-Бельского авлакогена, типична отрицательная корреляция между модулями ГМ и НКМ и положительная – между ЖМ и ТМ, что позволяет «с высокой степенью вероятности» (Маслов и др., 2005а) рассматривать эти породы как петрогенные. Завершающие разрез бурзянской серии псаммиты юшинской свиты по соотношению указанных модулей также относятся к породам *first cycle*. Однако для значительной части эталонного разреза рифея установлено присутствие в составе обломочных образований (как песчаников, так и глинистых пород) существенной доли литогенного материала. Так, в глинистых сланцах бурзянской серии содержание Th немного увеличивается вверх по разрезу, содержание Y не обнаруживает какого-либо ясно выраженного тренда, содержание U и Sr вверх по разрезу серии постепенно снижается. Соотношение ЛРЗЭ/ТРЗЭ несколько возрастает вверх по разрезу, а Eu/Eu* почти не изменяется. Значение K_2O/Al_2O_3 в глинистых сланцах нижнего рифея Башкирского мегантиклинория ни для одного литостратиграфического подразделения не превышает 0.3. Все это приводит нас к выводу о формировании тонкообломочных пород бурзянской серии под существенным влиянием процессов рециклинга. В глинистых сланцах среднерифейской юрматинской серии Башкирского мегантиклинория K_2O/Al_2O_3 значимо варьируется от уровня к уровню, однако в подавляющем большинстве случаев не превышает 0.3. Кроме того, рост вверх по разрезу серии

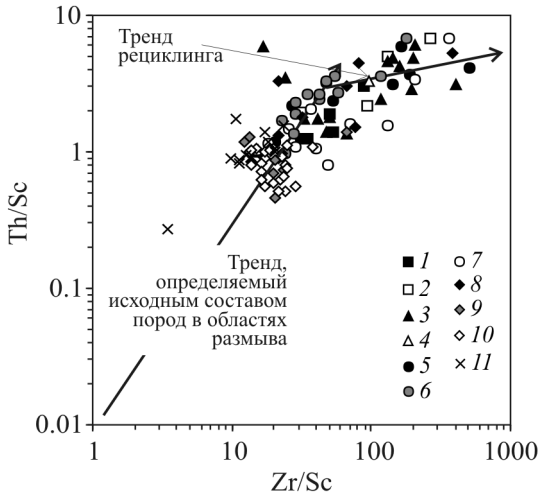


Рис. 58. Положение точек составов песчаников рифея и венда Волго-Уральской области на диаграмме Zr/Sc–Th/Sc (по: McLennan et al., 1993).

Свиты: *1* – прикамская; *2* – надеждинская; *3* – тукаевская; *4* – ольховская; *5* – усинская; *6* – леонидовская; *7* – приютовская; *8* – байкибашевская; *9* – старопетровская; *10* – салиховская; *11* – карлинская

величины ЛРЗЭ/ТРЗЭ и отсутствие сколько-нибудь заметного фракционирования Eu относительно других РЗЭ указывают, что тонкозернистые терригенные образования рассматриваемого интервала сформированы в значительной мере с участием рециклированного материала. Базальные уровни каратауской серии Башкирского мегантиклинория сложены песчаниками с существенной долей литогенного компонента. Только в конце зильмердакского времени (бедерышинский век) в бассейн седиментации, видимо, поступал петрогенный материал. В глинистых сланцах зильмердакской свиты, как и в ТОП миньярской и укской свит, значение соотношения K_2O/Al_2O_3 составляет более 0.3, что позволяет предполагать поступление в область седиментации на фоне преобладающего привнесения тонкой рециклированной алюмосиликокластики определенной части материала *first cycle*. Содержание Th и Y в глинистых породах каратавия с течением времени несколько снижается, тогда как содержание Sr и U не изменяется. Параметр ЛРЗЭ/ТРЗЭ вверх по разрезу серии незначительно растет, а величина отрицательной Eu-аномалии почти не изменяется (кроме некоторого уменьшения в самом конце каратавия) (Маслов и др., 2005а). В целом, как показывают проведенные нами расчеты, доля пород с преобладанием петрогенного материала увеличивается снизу вверх по стратотипическому разрезу от примерно 25% в нижнем рифее до ~45 – в среднем и более 50% – в верхнем, что указывает, на наш взгляд, на постепенное расширение площади палеоводосборов и вовлечение в размыв относительно слабо преобразованного процессами выветривания и переотложения обломочного материала.

Проведенные исследования показывают, что в составе тонкозернистой терригенной кластики, участвующей в сложении мощной рифейской мегапоследовательности Камско-Бельского авлакогена, как и в составе песчаников, существенную (или даже ведущую) роль играет петрогенный материал, не подвергшийся сколько-нибудь значительному преобразованию на палеоводосборах и путях переноса кластики. Это позволяет в значительной мере корректно использовать присущие ему литогеохимические особенности для генетических построений.

Глава 8

ОСНОВНЫЕ ЛИТОГЕОХИМИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ПЕСЧАНИКОВ И ТОНКОЗЕРНИСТЫХ ОБЛОМОЧНЫХ ПОРОД РИФЕЯ И ВЕНДА ВОЛГО-УРАЛЬСКОЙ ОБЛАСТИ

В настоящей главе рассмотрены результаты сопоставления лито- и геохимических особенностей песчаников и тонкозернистых обломочных образований рифея и венда Волго-Уральской области. По параметрам мощности и длительности формирования осадочные последовательности рифея и венда различаются на изученной нами территории не менее чем на порядок, установлены различия и в составе тяжелой фракции песчаников (для отложений венда весьма характерен гранат, тогда как в разрезах рифея количество его невелико), однако степень сходства (или различия) псаммитов, алевритистых аргиллитов и глинистых сланцев названных стратонов, выявляемая по их литогеохимическим характеристикам, до недавнего времени была неизвестна. Из публикаций на эту тему интерес для исследователей представляет лишь (Геохимия…, 2008), где этот вопрос анализировался с определенной степенью детальности.

8.1. ПЕСЧАНИКИ

По своему валовому химическому составу песчаники рифея и венда Камско-Бельского авлакогена и Шкаповско-Шиханской впадины достаточно хорошо различаются. На диаграмме Ф.Дж. Петтиджона с соавторами (1976) $\log(SiO_2/Al_2O_3)$–$\log(Na_2O/K_2O)$ первые тяготеют в основном к полям сублититов, субаркозов и аркозов; вторые располагаются преимущественно в поле лититов, частично их точки присутствуют и в поле граувакк (рис. 59, *а*). На диаграмме М. Хиррона (Herron, 1988) точки составов песчаников рифея, как правило, сконцентрированы в полях субаркозов, аркозов и сублитаренитов (см. рис. 59, *б*). Песчаники венда, характеризующиеся по сравнению с псаммитами рифея несколько меньшим значением $\log(SiO_2/Al_2O_3)$ и одновременно несколько большим значением $\log(Fe_2O_{3общ}/K_2O)$, сосредоточены в полях вакк и литаренитов; отдельные их точки располагаются также в классификационных полях сланцев и Fe-песчаников.

В 1980-х гг. А.Г. Коссовская и М.И. Тучкова предложили для песчаников классификационную петрохимическую диаграмму SiO_2–(Fe_2O_3+ +FeO+MgO+MnO+TiO_2)–(Al_2O_3+CaO+Na_2O+K_2O) (Коссовская, Тучкова, 1988). Вершина SiO_2 в указанной диаграмме отражает либо состав пород в областях сноса, либо степень зрелости обломочного материала. Правый угол классификационного треугольника соответствует содержанию полевых шпатов, левый же отвечает общей меланократовости пород. Поля фигуративных точек

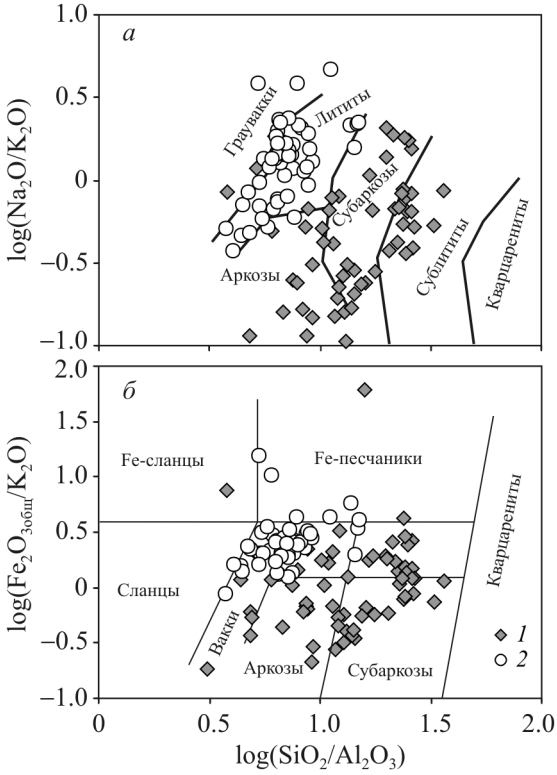


Рис. 59. Положение точек состава песчаников рифея (*1*) и венда (*2*) Волго-Уральской области на диаграммах Ф.Дж. Петтиджона с соавторами (*а*) и М. Хиррона (*б*)

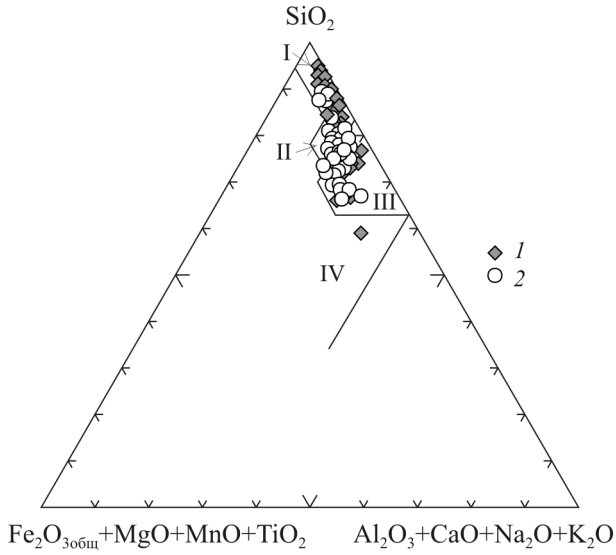


Рис. 60. Положение фигуративных точек состава песчаников рифея (*1*) и венда (*2*) Волго-Уральской области на диаграмме А.Г. Коссовской и М.И. Тучковой (1988).

Песчаники: I – **кварцевые**; II – **олигомиктовые**; III – **полимиктовые**; IV – **вулканокластические**

составов псаммитов рифея и венда на данной диаграмме обладают достаточно большим перекрытием, позволяющим предполагать заметное сходство как их валового химического состава, так и состава пород в областях размыва, хотя и здесь видно, что в существенной части песчаников рифея содержание SiO_2 несколько выше (рис. 60).

8.2. ТОНКОЗЕРНИСТЫЕ ОБЛОМОЧНЫЕ ПОРОДЫ

Тонкозернистые обломочные породы рифея и венда Волго-Уральской области, как и песчаники, обладают несколько различающимся валовым химическим составом. Так, на диаграмме М. Хиррона (рис. 61, *а*) точки составов и тех, и других сконцентрированы в полях сланцев и вакк, однако для ТОП венда отмечается в целом несколько более высокое значение $\log(Fe_2O_{3общ}/K_2O)$. На диаграмме НКМ–ФМ (Юдович, Кетрис, 2000) (см. рис. 61, *б*) фигуративные точки составов ТОП и рифея, и венда локализованы в основном в классификационных полях V и VI, однако в ТОП рифея пределы изменения величины НКМ шире, чем в тонкозернистых обломочных породах венда. На диаграмме TiO_2–ТМ (см. рис. 61, *в*) точки составов ТОП рифея и венда сконцентрированы в области перекрытия полей 2 и 3, однако значения ТМ для первых в целом несколько меньше, чем для вторых, что хорошо видно и по присущим обеим выборкам медианным значениям данного параметра (соответственно, 0.0347 и 0.0472). В то же время на диаграмме А.Б. Ронова и З.В. Хлебниковой (1961) с вершинами $(Al_2O_3+TiO_2)$–$(Na_2O+CaO+MgO+MnO+FeO+Fe_2O_3+$ +п.п.п.)–(SiO_2+K_2O) различия валового химического состава ТОП рифея и венда Камско-Бельского авлакогена и Шкаповско-Шиханской впадины проявлены менее отчетливо. Точки ТОП и рифея и венда на этой диаграмме сосредоточены в основном в области перекрытия составов всех трех генетических типов глин и не обладают какими-либо специфическими характеристиками (рис. 62).

Имеющиеся в нашем распоряжении сведения о содержании элементов-примесей в тонкозернистых алюмосиликокластических образованиях рифея и венда Волго-Уральской области позволяют существенно дополнить приведенные выше данные, расширить перечень сравниваемых параметров и выявить некоторые новые черты их сходства (различия).

В табл. 26 представлены результаты анализа медианного содержания ряда элементов-примесей в ТОП рифея и венда; они же отражены на рис. 63. Установлено, что какие-либо существенные различия между тонкозернистыми алюмосиликокластическими образованиями рифея и венда по медианному содержанию значительного количества микроэлементов отсутствуют. Так, медианное содержание Sc в глинистых сланцах и мелкозернистых алевролитах рифея составляет 12.2 г/т, а для аналогичных им по гранулометрическому составу пород венда – 15.0. Для Co этот же параметр составляет, соответственно, 17.1 и 15.6 г/т. Медианное содержание Ga в породах рифея равно 23.0 г/т, в отложениях венда – 21.5 г/т. Медианное содержание La в ТОП венда составляет 38.4 г/т, в глинистых сланцах и мелкозернистых алевролитах рифея – 26.5 г/т; этот же параметр для Yb – 2.8 и 1.6 г/т.

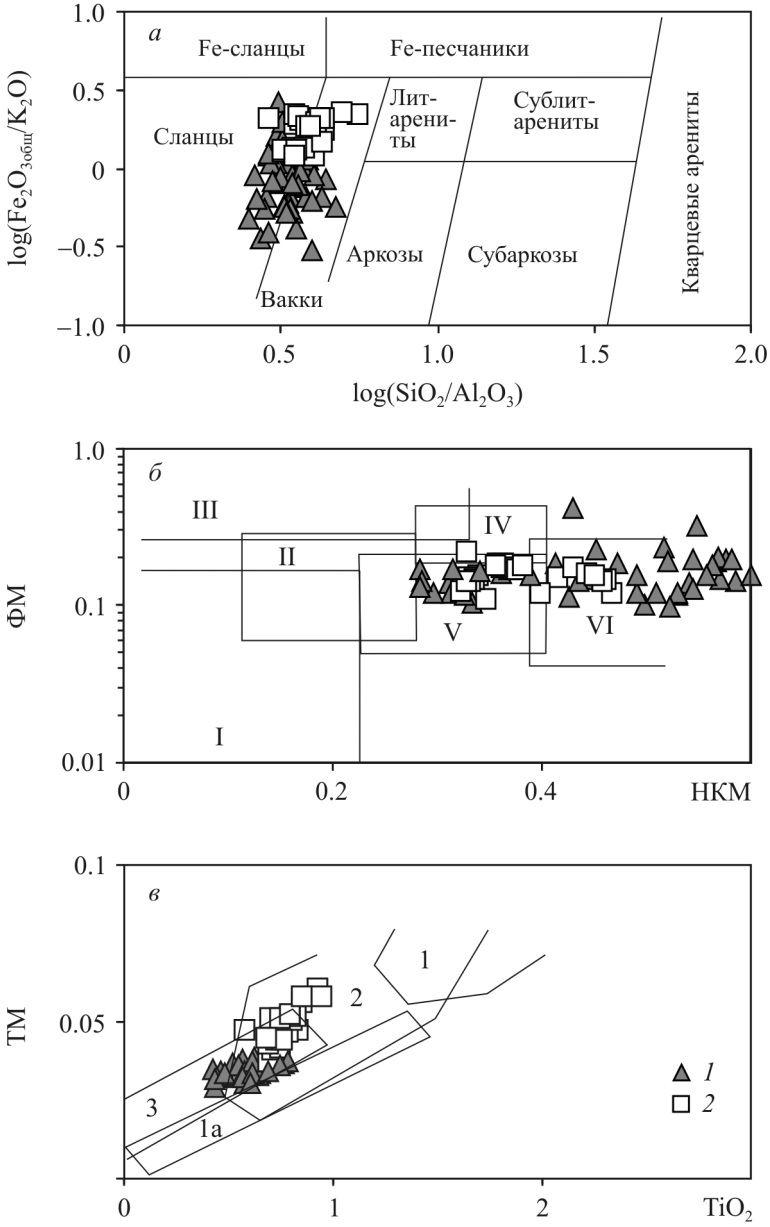


Рис. 61. Положение фигуративных точек тонкозернистых обломочных пород рифея (*1*) и венда (*2*) Волго-Уральской области на диаграммах М. Хиррона (*а*) и Я.Э. Юдовича и М.П. Кетрис (*б*, *в*)

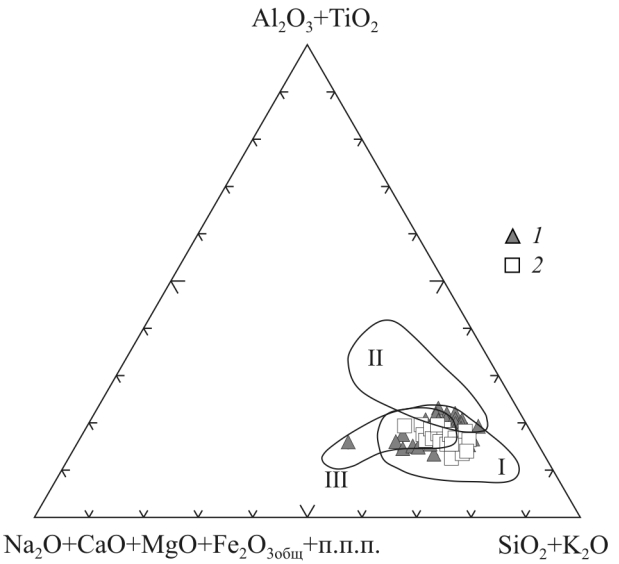


Рис. 62. Положение фигуративных точек тонкозернистых обломочных пород рифея (*1*) и венда (*2*) Волго-Уральской области на диаграмме А.Б. Ронова и З.В. Хлебниковой (1961).
Поля: I – морских глин и глин засолоненных лагун и озер аридной зоны; II – континентальных глин тропического климата; III – континентальных глин холодного и умеренно холодного климата

На диаграмме Th–La (Тейлор, МакЛеннан, 1988) фигуративные точки составов тонкозернистых обломочных пород рифея и венда расположены вблизи модельных составов среднего постархейского австралийского сланца и среднего архейского аргиллита (рис. 64, *а*). Перекрытие образуемых ими полей достигает 80–85%. Единственное же отличие – присутствие в выборке вендских глинистых сланцев и алевритистых аргиллитов нескольких образцов с более высоким, чем в ТОП рифея, содержанием La и Th.

По содержанию Ni и Cr тонкозернистые терригенные образования и рифея, и венда близки к модельному составу PAAS (см. рис. 64, *б*); они расположены в области составов, характерных для подавляющего большинства постархейских осадочных образований. Перекрытие полей составляет здесь приблизительно 60%. Часть образцов алевритистых аргиллитов и мелкозернистых алевролитов венда характеризуется более высоким, чем в породах рифея, содержанием хрома и пониженной концентрацией Ni. В целом же следует сделать вывод, что по содержанию Cr и Ni тонкозернистые алюмосиликокластические образования рифея и венда сопоставимы.

На диаграмме Gd_N/Yb_N–Eu/Eu* (Тейлор, МакЛеннан, 1988) (см. рис. 64, *в*) подавляющее большинство глинистых сланцев и мелкозернистых глинистых алевролитов рифея локализовано в области значений, отличающих постархейские глинистые породы. Деплетирование ТРЗЭ присуще только одному (из более чем 50 проанализированных) образцу глинистых сланцев рифея, в то же время это явление отмечено в 7 из 23 образцов алевритистых аргиллитов и мелкозернистых алевролитов верхнего венда (т.е. почти в третьей части всей выборки). Следует также отметить, что принятое К. Конди (Condie, 1993) для модельного состава среднего архейского сланца значение Eu/Eu* (0.73) ведет к локализации последнего в поле постархейских составов, границы которого на рис. 64, *в*, установлены с учетом данных С. Тейлора и С. МакЛеннана (1988). Средний же архейский аргиллит С. Тейлора и С. МакЛеннана характеризуется

Таблица 26

Медианное содержание некоторых элементов-примесей в ТОП рифея и венда Волго-Уральской области, г/т

Элемент	Рифей	Венд	Элемент	Рифей	Венд
Li	29.62	51.82	Ba	291.18	399.45
Be	2.23	2.44	La	26.58	38.47
Sc	12.22	15.07	Ce	40.08	81.12
V	83.93	103.06	Pr	6.86	9.33
Cr	91.33	106.81	Nd	25.47	34.76
Mn	177.66	575.17	Sm	4.19	6.18
Co	17.13	15.62	Gd	3.12	5.32
Ni	38.88	27.31	Dy	2.91	5.02
Cu	14.34	18.29	Er	1.76	2.98
Zn	42.98	70.78	Yb	1.66	2.88
Ga	23.02	21.55	Hf	4.26	4.60
Rb	86.35	135.90	W	1.34	1.48
Sr	68.70	78.35	Pb	8.50	15.42
Y	15.62	27.95	Th	10.39	14.06
Zr	118.73	166.02	U	3.12	2.18
Nb	13.33	17.85			
Cs	4.98	5.89	n	53	23

Примечание. n – количество образцов.

отсутствием европиевой аномалии (Eu/Eu* ~1.0). Выполненный нами анализ значений Eu/Eu* в индивидуальных образцах архейских терригенных пород (Маслов, 2007) показал, что значение Eu-аномалии варьируется в них в пределах 0.45–2.2, однако подавляющее количество образцов характеризуется значениями Eu/Eu* в интервале от 0.75–0.8 до 1.0–1.1, т.е. величина отрицательной европиевой аномалии в осадочных породах архея в целом несколько ниже, чем в постархейских глинистых сланцах, но не настолько, как предполагают С. Тейлор и С. МакЛеннан. Учитывая выраженное в ряде образцов венда деплетирования ТРЗЭ и используя критерии С. Тейлора и С. МакЛеннана (1988), а также К. Конди (Condie, 1993) и ряда других исследователей, с определенной долей уверенности можно утверждать, что источниками тонкой алюмосиликокластики для них выступали примитивные архейские субстраты, представленные преимущественно Na-гранитами и породами тоналит-тронд̀емит-гранитных (ТТГ) ассоциаций.

На диаграмме Co/Hf–Ce/Cr (Dobson et al., 2001) (см. рис. 64, *г*) основная часть точек составов ТОП рифея и венда Камско-Бельского авлакогена и Шкаповско-Шиханской впадины сосредоточена вокруг точки модельного состава PAAS; гораздо меньше образцов, которые из-за высоких значений Co/Hf , тяготеют к модельному составу среднего архейского сланца, по (Condie, 1993).

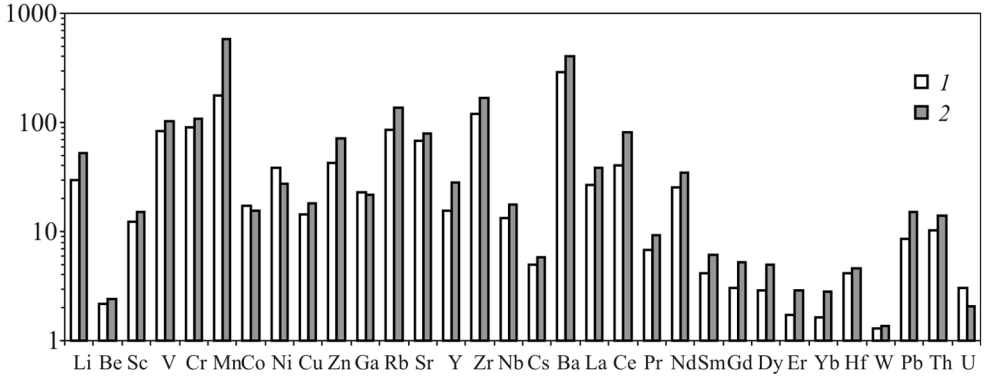


Рис. 63. Медианное содержание (г/т) элементов-примесей в ТОП рифея (*1*) и венда (*2*) Волго-Уральской области

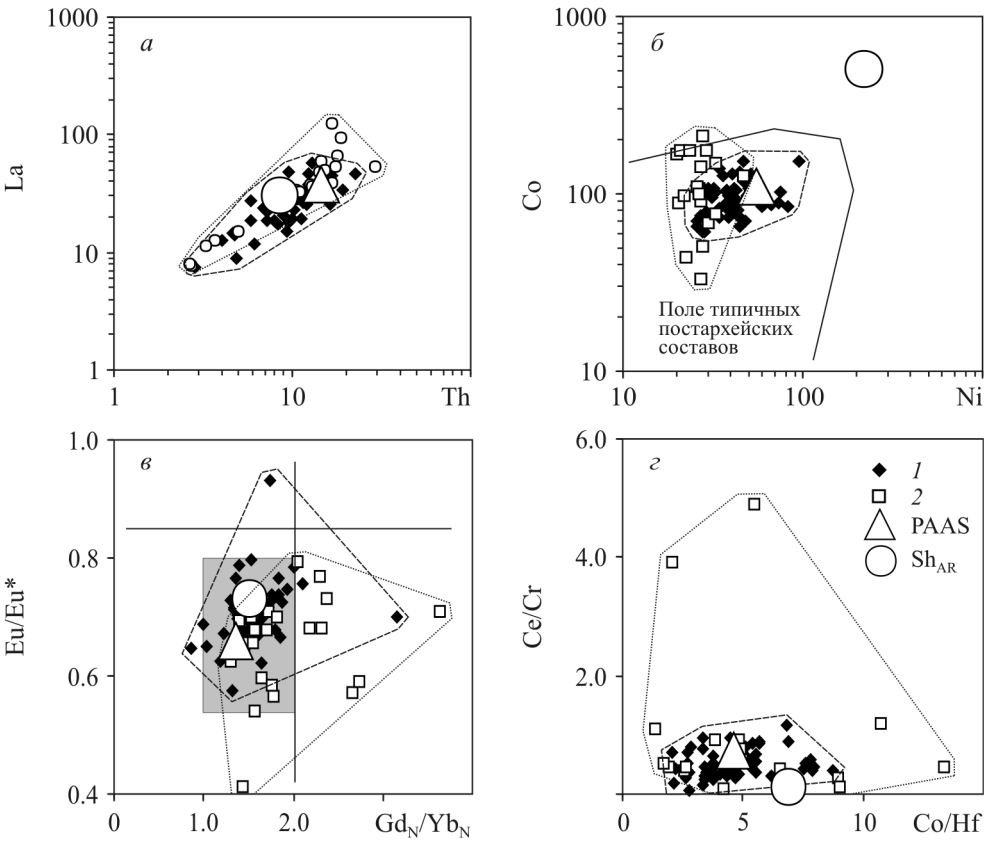


Рис. 64. Положение точек составов тонкозернистых обломочных пород рифея и венда Волго-Уральской области на диаграммах Th–La (*а*), Ni–Co (*б*), Gd_N/Yb_N–Eu/Eu* (по: Тейлор, МакЛеннан, 1988) (*в*), Co/Hf–Ce/Cr (по: Dobson et al., 2001) (*г*):

1 – тонкозернистые обломочные образования рифея; *2* – тонкозернистые обломочные образования венда; PAAS – средний постархейский глинистый сланец; Sh_{AR} – средний архейский кратонный сланец. Серым цветом на диаграмме Gd_N/Yb_N–Eu/Eu* выделено поле составов постархейских ТОП

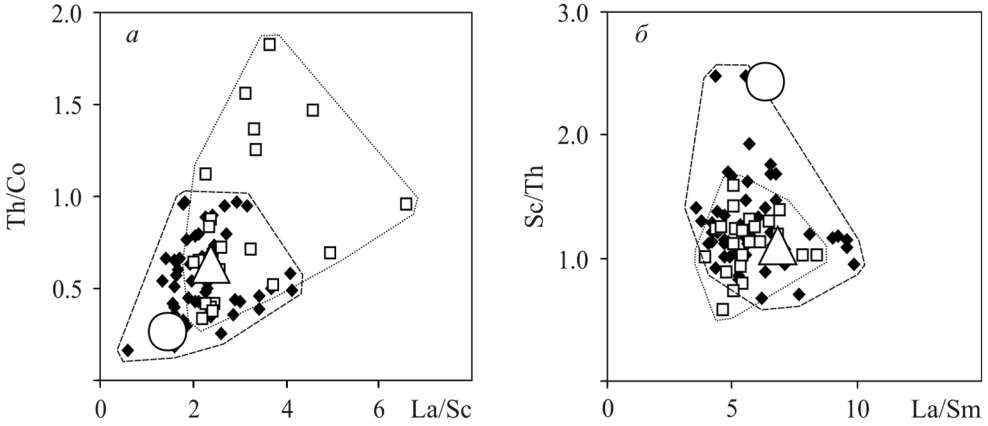


Рис. 65. Положение фигуративных точек составов тонкозернистых обломочных пород рифея и венда на диаграммах La/Sc–Th/Co (по: Cullers, 2002) (*а*), La/Sm–Sc/Th (Geochemistry…, 2003) (*б*).
Условные обозначения см. на рис. 64

Вместе с тем считать, что рассматриваемые нами выборки глинистых сланцев, алевритистых аргиллитов и мелкозернистых алевролитов представлены в той или иной доле архейской алюмосиликокластикой, нельзя из-за высоких значений Ce/Cr (архейские метатерригенные образования характеризуются, как правило, весьма низкими (менее 0.4) значениями данного соотношения, а в среднем архейском аргиллите С. Тейлора и С. МакЛеннана (1988) оно составляет 0.1).

На диаграмме La/Sc–Th/Co (Cullers, 2002) поля составов тонкозернистых обломочных пород рифея и венда демонстрируют примерно 50-процентное перекрытие. Фигуративные точки и тех, и других сконцентрированы преимущественно вокруг модельного состава среднего постархейского австралийского сланца, однако локализация не входящих в указанную совокупность образцов для пород рифея и венда разная. Первые обладают относительно низкими значениями La/Sc и Th/Co, тяготеют вследствие этого к модельному составу среднего архейского кратонного сланца (рис. 65, *а*). У вторых, напротив, значения La/Sc и Th/Co выше, что достаточно легко, на наш взгляд, интерпретируется как присутствие в составе алевритистых аргиллитов и глинистых сланцев венда определенного количества тонкой алюмосиликокластики, формировавшейся при размыве на палеоводосборах пород архейских ТТГ-ассоциаций (среднее значение La/Sc, согласно (Condie, 1993), здесь составляет ~6, однако значение Th/Co – всего 0.8), и гранитоидов того же возрастного интервала, а также и более молодых (в архейских гранитоидах средние значения La/Sc – ~12.5, Th/Co – ~4.3, в протерозойских гранитоидах, соответственно, 9.6 и ~3.3).

По величине La/Sm и Sc/Th рифейская и вендская тонкая алюмосиликокластика почти не различаются (см. рис. 65, *б*). Для тонкозернистых обломочных пород рифея пределы вариаций La/Sm составляют 3–10, для сходных с ними по гранулометрическому составу пород венда – 3–8.5. Диапазон изменения значений Sc/Th для глинистых сланцев и мелкозернистых глинистых

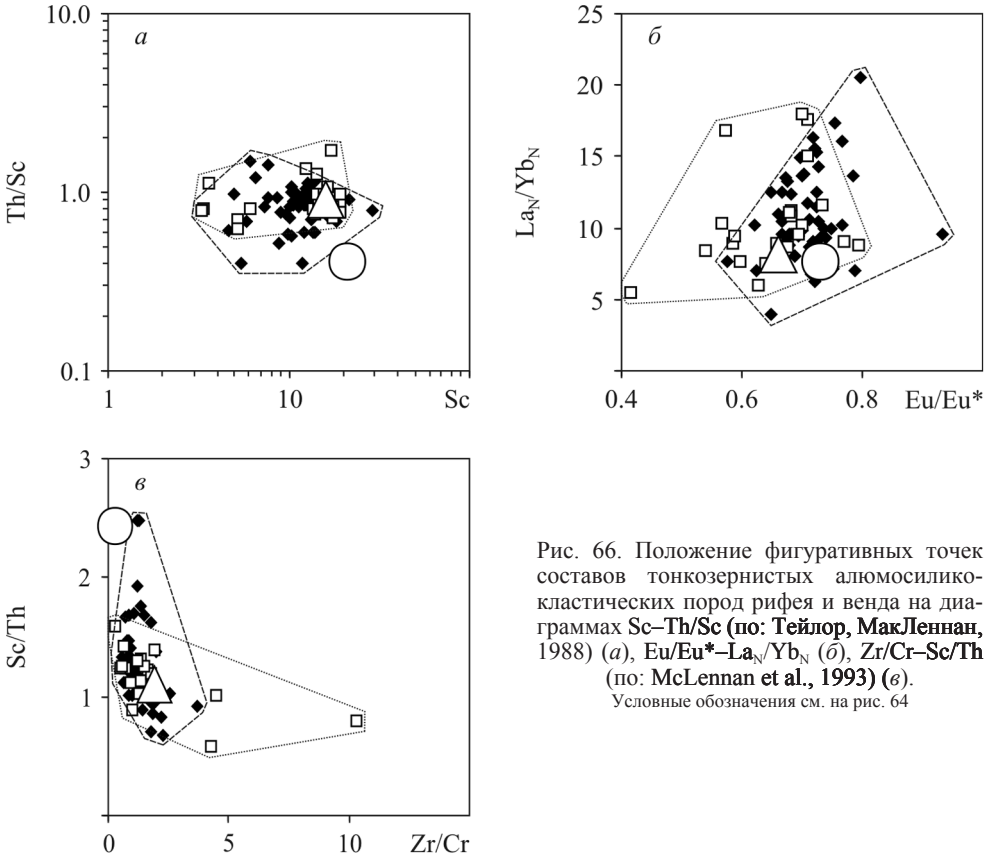


Рис. 66. Положение фигуративных точек составов тонкозернистых алюмосиликокластических пород рифея и венда на диаграммах Sc–Th/Sc (по: Тейлор, МакЛеннан, 1988) (*а*), Eu/Eu*–La$_N$/Yb$_N$ (*б*), Zr/Cr–Sc/Th (по: McLennan et al., 1993) (*в*).
Условные обозначения см. на рис. 64

алевролитов рифея выше (0.5–2.5), чем для алевритистых аргиллитов венда (0.5–1.6), однако среди проанализированной нами выборки ТОП рифея только 7 из 53 образцов (т.е. приблизительно 13%) обладают значением Sc/Th, превышающим 1.6. Всего 2 из 53 образцов тонкозернистых обломочных пород рифея имеют значения La/Sm и Sc/Th, сходные с теми, что приводятся К. Конди (Condie, 1993) для архейского кратонного сланца.

Отсутствуют значимые различия между тонкозернистыми терригенными породами рифея и венда и на диаграмме Sc–Th/Sc (Тейлор, МакЛеннан, 1988) (рис. 66, *а*). Подавляющее большинство фигуративных точек составов глинистых сланцев и мелкозернистых алевролитов обеих выборок сосредоточены на этой диаграмме возле точки PAAS.

На диаграмме Eu/Eu*–La$_N$/Yb$_N$ (Тейлор, МакЛеннан, 1988) также наблюдается почти полное перекрытие полей составов обеих выборок по параметру La$_N$/Yb$_N$ (см. рис. 66, *б*); значение указанного соотношения изменяется в ТОП и рифея, и венда в интервале 5–20, причем большая часть фигуративных точек локализована в области значений La$_N$/Yb$_N$, превышающих 10. Учитывая, что в среднем архейском кратонном сланце значение La$_N$/Yb$_N$ составляет 7.7, а в протерозойских кратонных сланцах – 8.1 (Condie, 1993), можно с достаточной долей уверенности утверждать, что в составе позднедокембрийской тонкой

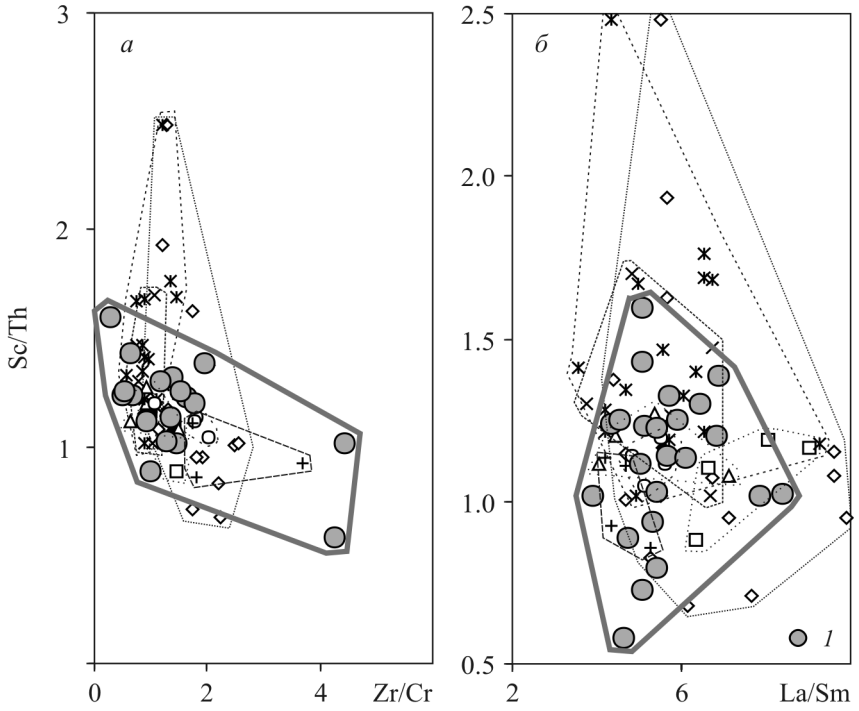


Рис. 67. Положение точек составов тонкозернистых алюмосиликокластических пород разных литостратиграфических подразделений рифея и венда (в целом) на диаграммах Zr/Cr–Sc/Th (по: McLennan et al., 1993) (*а*), La/Sm–Sc/Th (по: Geochemistry…, 2003) (*б*).
1 – верхний венд. Другие условные обозначения см. на рис. 31

алюмосиликокластики Камско-Бельского авлакогена существенная роль принадлежит продуктам размыва Na-гранитоидов и пород ТТГ-ассоциаций предположительно архейского возраста (значения La_N/Yb_N, соответственно, ~15.2 и 18.2 (Condie, 1993)). Вполне сопоставимы в обеих выборках и значения отрицательной Eu-аномалии (породы рифея – 0.56–0.95, породы венда – 0.40–0.80). Весьма высокое значение Eu/Eu* в одном из образцов алевритистых аргиллитов венда обусловлено присутствием в его составе кислой пирокластики (Маслов, Ишерская, 2006).

Наконец, на диаграмме Zr/Cr–Sc/Th (McLennan et al., 1993) наблюдается локализация основной части фигуративных точек составов и рифейских, и вендских тонкозернистых обломочных пород вблизи точки PAAS (см. рис. 66, *в*); только один образец мелкозернистых глинистых алевролитов прикамской свиты нижнего рифея и один образец глинистых сланцев ольховской свиты среднего рифея характеризуются весьма высокими, сопоставимыми с теми, что характерны для среднего архейского кратонного сланца К. Конди, значениями Sc/Th. Показательно, что в трех образцах ТОП, отобранных из разрезов салиховской и карлинской свит венда, соотношение Zr/Cr существенно выше, чем во всей остальной выборке (рифей + венд) (4.2–10.5 вместо 0.3–4.0).

Нами также выполнено сопоставление положения полей составов тонкозернистых обломочных пород разных свит рифея Камско-Бельского авлакогена с полем аналогичных им по гранулометрическому составу пород венда на диаграммах Zr/Cr–Sc/Th и La/Sm–Sc/Th (рис. 67), на основе которого сделан вывод, что ТОП калтасинской, надеждинской, тукаевской, усинской и приютовской свит рифея по присущим им значениям Zr/Cr, Sc/Th и La/Sm почти тождественны ТОП венда. Часть глинистых сланцев и мелкозернистых глинистых алевролитов прикамской свиты и ольховской свиты отличается несколько более высокими, чем это характерно для тонкозернистых терригенных пород венда в целом, значениями параметра Sc/Th, а для прикамского уровня типично еще и наличие тонкой алюмосиликокластики с более высокими значениями La/Sm. Таким образом, изученные нами выборки характеризуются значительным сходством не только на «макроуровне» (при рассмотрении максимально крупных выборок – рифейской и вендской), но и на «мезоуровне» (при анализе данных по конкретным литостратиграфическим уровням рифея и венду в целом). В то же время при нормировании на Sh_{AR} и PAAS выявлены и некоторые различия в геохимической специфике ТОП рифея и венда. Однако при сравнении медианных значений (табл. 27) содержания всех использованных нами при построении спайдер-диаграмм элементов, нормированных на их среднее содержание в модельном архейском кратонном сланце с учетом их минимальных и максимальных величин, оказывается, что ТОП рифея и венда практически не могут быть разграничены. Вместе с тем масштаб вариаций величин нормированного содержания для Th, Rb, Hf, Y, La, Eu, Cr выше в ТОП венда, тогда как для Ba, Sc, Co, Ni характерна обратная ситуация. В тонкозернистых обломочных породах рифея по сравнению со средним архейским кратонным

Таблица 27

Нормированное на средний архейский кратонный сланец (по: Condie, 1993) содержание некоторых элементов-примесей в ТОП рифея и венда Волго-Уральской области

Элемент	Рифей	Венд	Элемент	Рифей	Венд
Th	1.25 0.38–2.73	1.78 0.33–3.55	La	0.94 0.14–1.93	1.39 0.33–4.17
Ba	0.66 0.33–42	0.94 0.23–1.46	Eu	0.73 0.16–1.48	1.19 0.35–4.17
Rb	0.83 0.34–1.55	1.36 0.23–2.25	Sc	0.62 0.24–1.49	0.73 0.24–0.98
Hf	0.94 0.47–1.86	1.07 0.24–3.12	Co	0.62 0.23–1.44	0.52 0.23–0.96
Ta	1.13 0.33–2.35	–	Cr	0.24 0.13–0.35	0.21 0.015–0.46
Y	0.62 0.16–1.25	1.05 0.22–4.33	Ni	0.27 0.08–0.45	0.15 0.02–0.24
Yb	0.73 0.23–1.62	1.27 0.22–2.96			

Примечание. В числителе – медианное значение; в знаменателе – минимальное и максимальное значения; прочерк – нет данных.

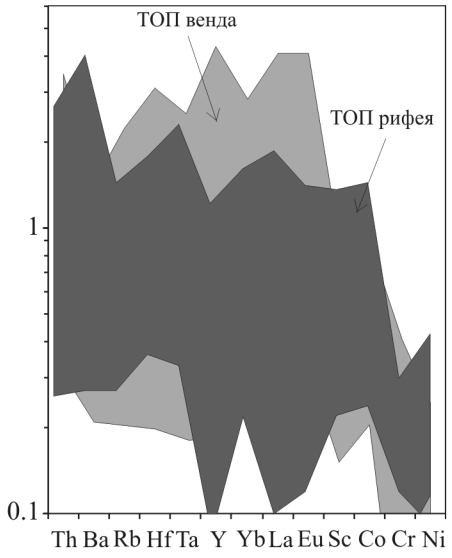


Рис. 68. Спайдер-диаграмма нормированного на средний архейский кратонный сланец (по: Condie, 1993) содержания элементов-примесей в ТОП верхнего докембрия Волго-Уральской области

сланцем Th, Ba, Rb, Hf, Y, La, Eu, Sc, Co присутствуют как в большем, так и в меньшем количестве, а содержание Cr и Ni во всех проанализированных нами образцах ниже, чем в Sh_{AR} (рис. 68). Для близких к породам рифея по гранулометрическому составу пород венда группа элементов, содержание которых во всех изученных образцах меньше, чем в Sh_{AR}, расширяется за счет включения в него Sc и Co. При нормировании на концентрацию Th, Ba, Rb, Hf, Y, Yb, La, Eu, Sc, Co, Cr, Ni в архейском кратонном сланце содержания этих же элементов в тонкозернистых обломочных породах венда обнаруживается еще один феномен: перед нами две совокупности образцов, в одной из которых содержание Th, Ba, Rb, Hf, Y, Yb, La, Eu составляет от 0.8 до ~4.3×Sh_{AR}, а концентрация Sc, Co, Cr, Ni во всех случаях меньше, чем в среднем архейском кратонном сланце, тогда как во второй, где объединены образцы байкибашевского и карлинского уровней, все перечисленные выше элементы-примеси присутствуют в меньшей, чем в Sh_{AR}, концентрации.

При нормировании на PAAS этой же совокупности элементов-примесей в ТОП рифея и венда Камско-Бельского авлакогена и сопоставлении их медианных значений (с учетом минимальных и максимальных величин) вновь наблюдаем, что значимых отличий на границе рифея и венда нет (табл. 28). В глинистых сланцах и мелкозернистых алевролитах рифея все рассматриваемые нами элементы-примеси (кроме Rb) присутствуют как в большем, так и в меньшем количестве (в частности, содержание Ba и Y составляет 0.2×PAAS, тогда как максимальная концентрация Co достигает 1.9×PAAS) (рис. 69). Для вендских тонкозернистых обломочных пород при нормировании на PAAS также выявлены два тренда. Первый характеризуется со-

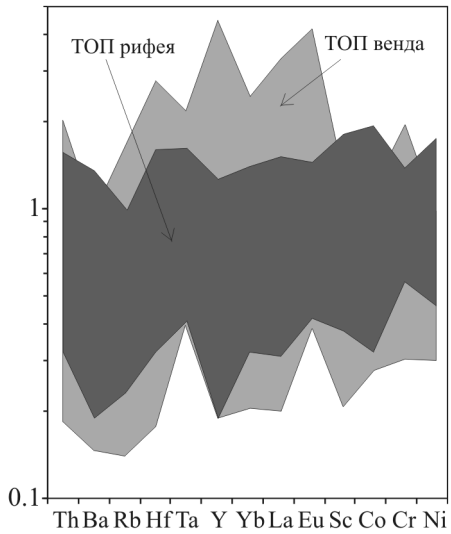


Рис. 69. Спайдер-диаграмма нормированного на PAAS содержания элементов-примесей в тонкозернистых обломочных породах верхнего докембрия Волго-Уральской области

Таблица 28

Нормированное на PAAS (по: Тейлор, МакЛеннан, 1988) медианное содержание некоторых элементов-примесей в ТОП рифея и венда Волго-Уральской области

Элемент	Рифей	Венд	Элемент	Рифей	Венд
Th	0.73 0.24–1.62	1.05 0.22–2.05	La	0.73 0.32–1.54	1.07 0.21–3.35
Ba	0.54 0.24–1.43	0.62 0.23–1.06	Eu	0.83 0.43–1.57	1.19 0.33–4.27
Rb	0.62 0.25–1.02	0.94 0.14–1.65	Sc	0.83 0.44–1.87	0.94 0.24–1.26
Hf	0.83 0.34–1.53	0.96 0.22–2.86	Co	0.83 0.33–1.96	0.73 0.34–1.27
Ta	0.82 0.45–1.66	–	Cr	0.82 0.62–1.47	1.05 0.35–2.07
Y	0.62 0.23–1.35	1.00 0.23–4.56	Ni	0.73 0.54–1.76	0.52 0.14–1.08
Yb	0.62 0.38–1.43	1.07 0.22–2.53			

Примечание. В числителе медианное значение; в знаменателе – минимальное и максимальное значения. Прочерк – содержание элемента не определялось.

держанием подавляющего количества анализируемых нами микроэлементов в пределах 0.5–4.5×PAAS, второй – существенно меньшей, нежели в PAAS, концентрацией (в ряде случаев кроме Cr).

Приведенные выше материалы позволяют сделать следующие выводы. По медианному содержанию широкого спектра микроэлементов каких-либо существенных различий между тонкозернистыми алюмосиликокластическими образованиями рифея и венда Волго-Уральской области не наблюдается.

На основных дискриминантных диаграммах (Th–La, Ni–Co, Gd_N/Yb_N–Eu/Eu*, Co/Hf–Ce/Cr, La/Sm–Sc/Th, Sc–Th/Sc, Eu/Eu*–La_N/Yb_N, Zr/Cr–Sc/Th) точки составов глинистых сланцев, алевритистых аргиллитов и мелкозернистых алевролитов осадочных последовательностей рифея и венда Волго-Уральской области локализованы премущественно у точки PAAS; перекрытие полей составов ТОП рифея и венда варьируется на этих диаграммах в пределах 60–90%, что с высокой степенью вероятности указывает на существенное сходство составов размывавшихся во время их формирования пород на палеоводосборах.

Значимое деплетирование ТРЗЭ и высокие значения La_N/Yb_N в ряде образцов венда позволяют предполагать, что источниками тонкой алюмосиликокластики для них могли выступать примитивные архейские субстраты, представленные Na-гранитоидами и породами тоналит-трондьемит-гранитных ассоциаций. Такой же вывод следует и из анализа присущих ТОП рифея и венда значений La/Sc и Th/Co.

Глава 9

ОСНОВНЫЕ ЧЕРТЫ ФОРМИРОВАНИЯ ОСАДОЧНОГО ВЫПОЛНЕНИЯ КАМСКО-БЕЛЬСКОГО АВЛАКОГЕНА И ШКАПОВСКО-ШИХАНСКОЙ ВПАДИНЫ (по результатам литогеохимического изучения)

Как показано в предыдущих главах, литогеохимическая специализация осадочных образований определяется такими факторами, как состав пород питающих провинций, особенности выветривания и транспортировки обломочного материала, динамика среды в областях осадконакопления, специфика процессов диагенеза, палеогеодинамика, климат и др. Считается, что среди всех перечисленных факторов наиболее важен состав пород питающих провинций (областей сноса) (Интерпретация…, 2001; Geochemistry…, 2003; Маслов, 2005). В свою очередь, состав пород в областях сноса в той или иной мере контролируется геодинамическими обстановками их образования. Важную роль в ряде случаев играют также процессы выветривания и транспортировки. В настоящей главе предпринята попытка оценить на основе сведений о литогеохимии песчаников и тонкозернистых осадочных пород максимально возможное количество параметров/факторов, определивших особенности формирования осадочных последовательностей верхнего докембрия востока Восточно-Европейской платформы.

9.1. ЛИТОГЕОХИМИЯ ПЕСЧАНИКОВ

Соотношения между основными породообразующими оксидами в песчаниках достаточно часто применяются, как отмечено в гл. 6, для реконструкции *палеогеодинамических обстановок формирования* песчаниковых ассоциаций. Если воспользоваться рядом из чаще всего используемых в этих целях парных диаграмм, то увидим следующее.

На диаграмме SiO_2–(K_2O/Na_2O) (Roser, Korsch, 1986) (рис. 70, *а*) индивидуальные точки песчаников рифея Камско-Бельского авлакогена сосредоточены в области составов, типичных для обстановок пассивных континентальных окраин, точки же псаммитов венда локализованы преимущественно в поле составов, формировавшихся в более активных геодинамических обстановках. Это следует и из анализа характера размещения на данной диаграмме медианных точек состава песчаников (рис. 71, *а*): положение точек песчаников каировской и шкаповской серий принципиально отличается от локализации точек псаммитов рифея.

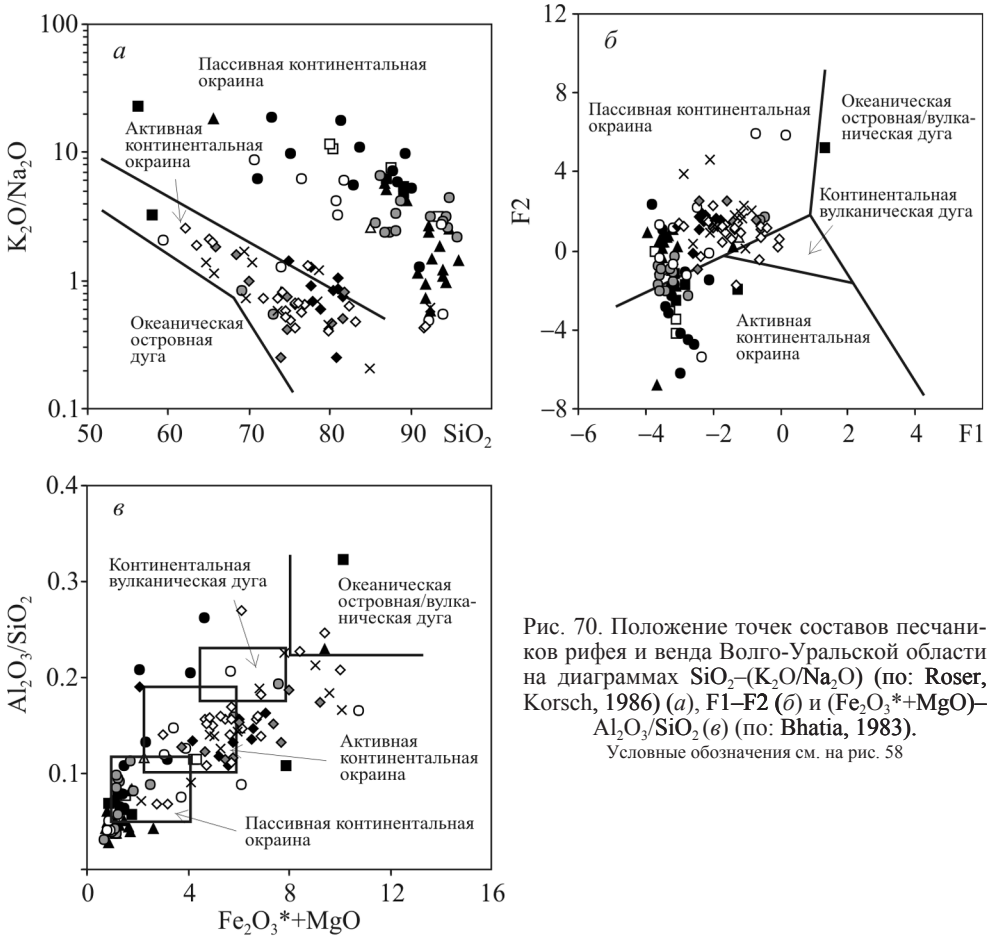


Рис. 70. Положение точек составов песчаников рифея и венда Волго-Уральской области на диаграммах SiO_2–(K_2O/Na_2O) (по: Roser, Korsch, 1986) (*а*), F1–F2 (*б*) и (Fe_2O_3*+MgO)–Al_2O_3/SiO_2 (*в*) (по: Bhatia, 1983).

Условные обозначения см. на рис. 58

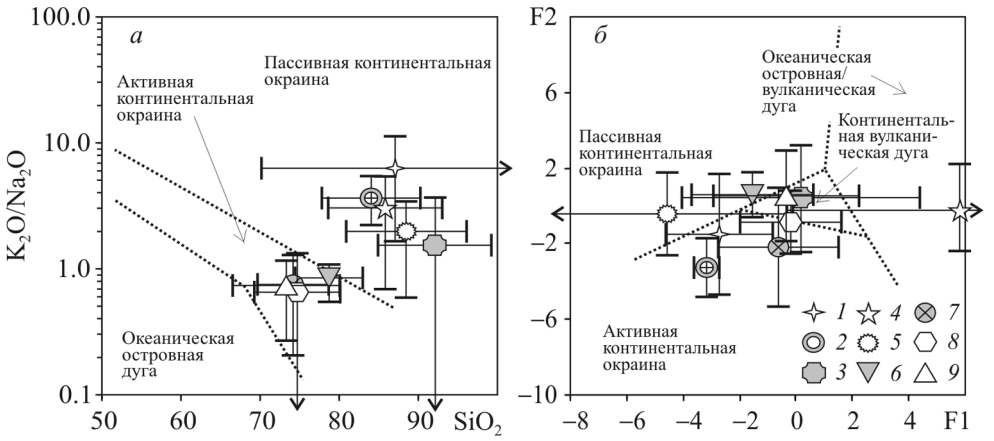


Рис. 71. Положение медианных точек состава песчаников верхнего докембрия Волго-Уральской области на диаграммах SiO_2–(K_2O/Na_2O) (по: Roser, Korsch, 1986) и F1–F2 (по: Bhatia, 1983).

Свиты: *1* – прикамская; *2* – надеждинская; *3* – тукаевская; *4* – усинская; *5* – леонидовская; *6* – байкибашевская; *7* – старопетровская; *8* – салиховская; *9* – карлинская

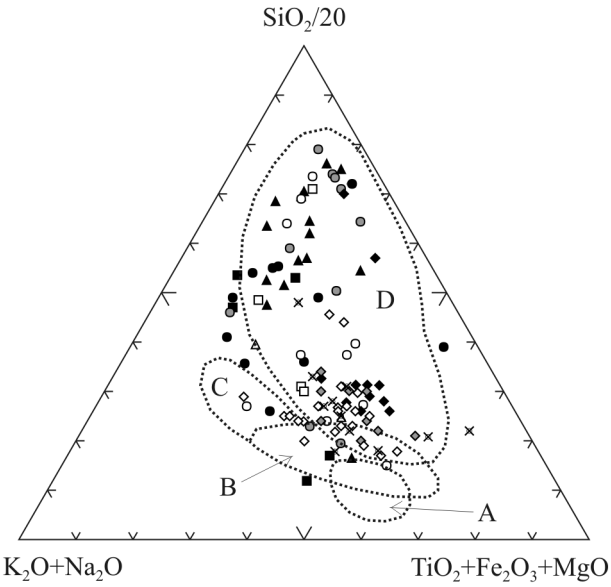


Рис. 72. Положение индивидуальных точек состава песчаников верхнего докембрия Волго-Уральской области на диаграмме $(K_2O+Na_2O)–SiO_2/20–(TiO_2+Fe_2O_3+MgO)$ (по: Kroonenberg, 1994).

Области составов: A – океанических островных дуг; B – континентальных островных дуг; C – активных континентальных окраин; D – пассивных континентальных окраин.

Условные обозначения см. на рис. 58

На диаграмме F1–F2[15] (Bhatia, 1983) (см. рис. 70, *б*) распределение индивидуальных точек псаммитов разных литостратиграфических подразделений рифея и венда не имеет отчетливых различий; большинство из них занимает промежуточное положение между областями составов пассивных и активных континентальных окраин. При анализе же распределения медианных точек выявлено, что песчаники венда тяготеют к области составов, типичных для обстановок континентальных вулканических дуг (хотя в этой области присутствует и точка песчаников тукаевской свиты), тогда как песчаники рифея сосредоточены в полях пассивных и активных окраин (см. рис. 71, *б*).

На диаграмме $(Fe_2O_3*+MgO)–Al_2O_3/SiO_2$ (Bhatia, 1983) индивидуальные точки псаммитов верхнего докембрия Волго-Уральской области также сконцентрированы в основном в областях составов пассивных и активных континентальных окраин (см. рис. 70, *в*). Примерно так же располагаются они и на треугольной диаграмме $(K_2O+Na_2O)–SiO_2/20–(TiO_2+Fe_2O_3+MgO)$ (Kroonenberg, 1994) (рис. 72).

На диаграмме Th–La–Sc (Bhatia, Crook, 1986) точки песчаников рифея Камско-Бельского авлакогена концентрируются преимущественно в поле составов, типичных для отложений активных и пассивных континентальных окраин (рис. 73, *а*). На другой треугольной диаграмме (см. рис. 73, *б*) фигуративные точки псаммитов рифея сосредоточены в основном в полях песчаников, характерных для обстановок пассивных континентальных окраин и зрелых (приконтинентальных) островных дуг.

Песчаники венда Шкаповско-Шиханской впадины занимают на указанных треугольных диаграммах несколько иное положение. Так, на диаграмме Th–La–Sc подавляющая их часть отмечена в поле песчаников зрелых островных

[15] $F1 = 0.303–0.0447\times SiO_2–0.972\times TiO_2+0.008\times Al_2O_3–0.267\times Fe_2O_3+0.208\times FeO–3.082\times MnO+0.14\times MgO+0.195\times CaO+0.719\times Na_2O–0.032\times K_2O+7.51\times P_2O_5$, $F2 = 43.57–0.421\times SiO_2+1.988\times TiO_2–0.526\times Al_2O_3–0.551\times Fe_2O_3–1.61\times FeO+2.72\times MnO+0.881\times MgO–0.907\times CaO–0.177\times Na_2O–1.84\times K_2O+7.244\times P_2O_5$.

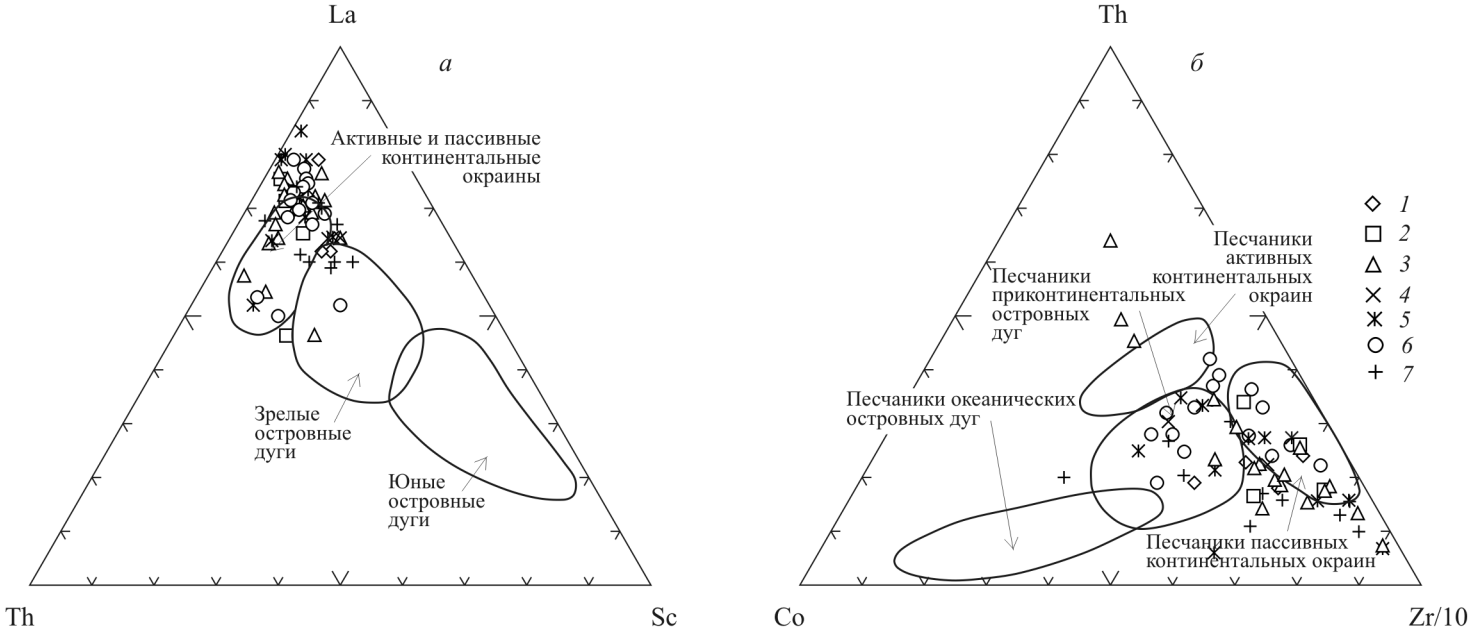


Рис. 73. Положение фигуративных точек составов песчаников рифея Камско-Бельского авлакогена на диаграммах Th–La–Sc (*а*), Co–Th–Zr/10 (*б*) (по: Bhatia, Crook, 1986).

Свиты: *1* – прикамская; *2* – надеждинская; *3* – тукаевская; *4* – ольховская; *5* – усинская; *6* – леонидовская; *7* – приютовская

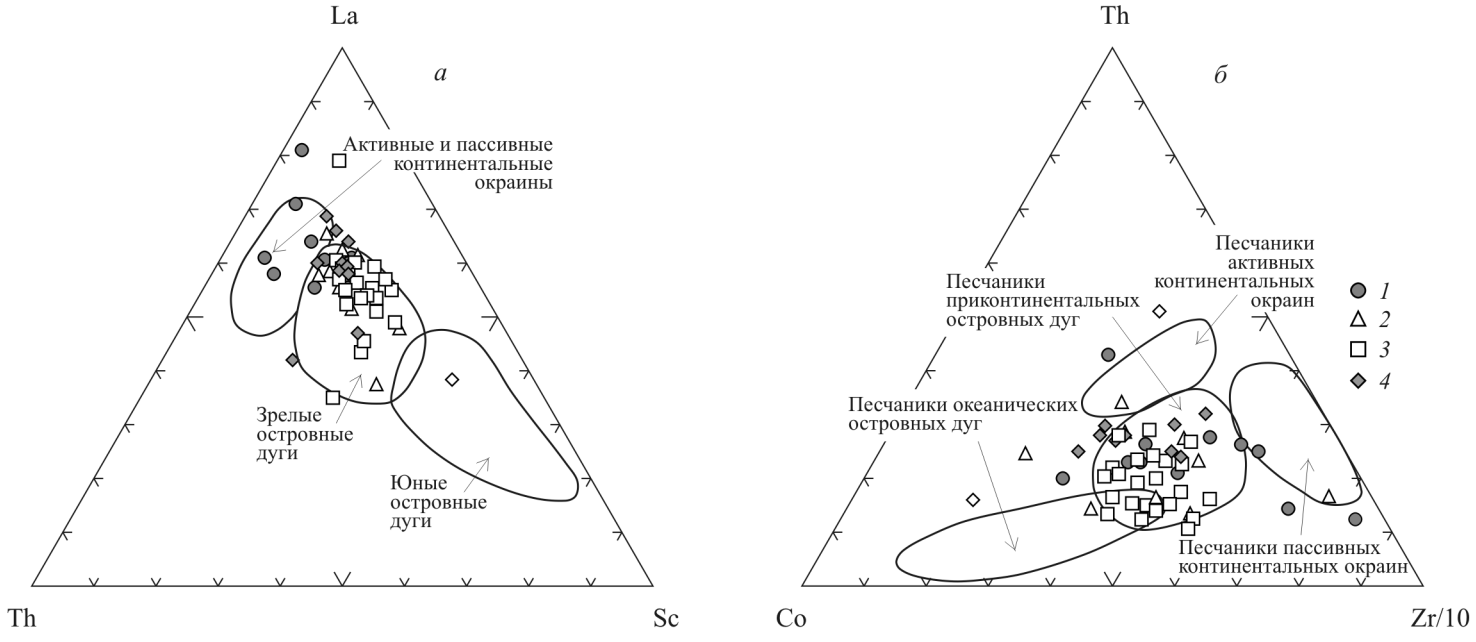


Рис. 74. Положение фигуративных точек составов песчаников венда Шкаповско-Шиханской впадины на диаграммах Th–La–Sc (*а*), Co–Th–Zr/10 (*б*) (по: Bhatia, Crook, 1986).

Условные обозначения см. на рис. 32

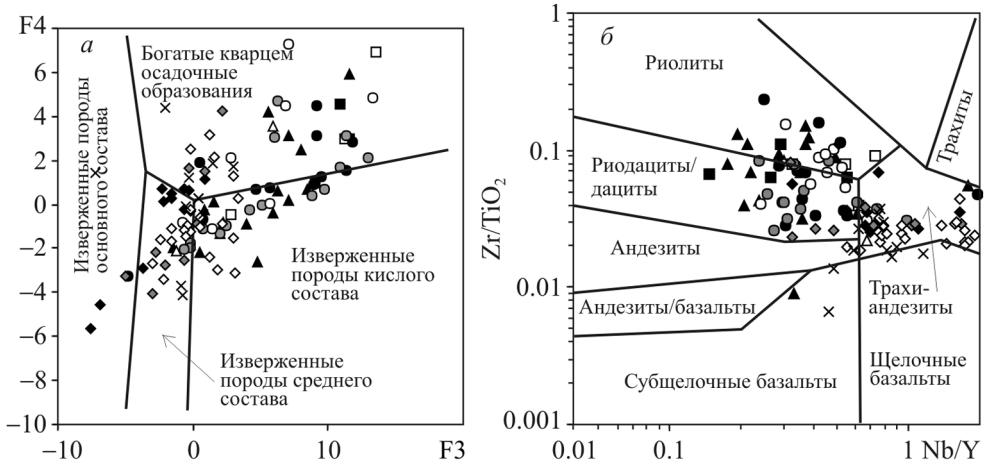


Рис. 75. Положение точек составов песчаников верхнего докембрия Волго-Уральской области на диаграммах F3–F4 (по: Roser, Korsch, 1986) (*а*), $Nb/Y–Zr/TiO_2$ (по: Winchester, Floyd, 1977) (*б*).

Условные обозначения см. на рис. 58

дуг (рис. 74, *а*); такое же положение занимают фигуративные точки составов псаммитов шкаповской и каировской серий и на диаграмме Co–Th–Zr/10 (см. рис. 74, *б*).

На факторной диаграмме F3–F4[16] (Roser, Korsch, 1986) точки индивидуальных составов псаммитов рифея распределены так, что это позволяет сделать вывод о преобладании на палеоводосборах изверженных пород кислого состава и осадочных (или метаосадочных), богатых кварцем образований дорифейского проточехла Восточно-Европейской платформы (рис. 75, *а*), что не противоречит полученным ранее минералого-петрографическим данным. Аналогичные данные по песчаникам каировской и шкаповской серий указывают как будто бы на увеличение роли магматических образований среди источников сноса. С учетом же содержания в псаммитах верхнего докембрия Nb, Y, Zr и TiO_2 можно предполагать, в соответствии с (Winchester, Floyd, 1977; Fralick, 2003), что основная их масса сформирована в результате размыва пород кислого и среднего составов (см. рис. 75, *б*).

Таким образом, на основе имеющейся литогеохимической информации можно сделать заключение о преобладании среди песчаников рифея и венда Волго-Уральской области аркозов, субаркозов, литаренитов и сублитаренитов, значительная часть которых относится к породам первого седиментационного цикла, т.е. представляет собой продукты непосредственного размыва пород кристаллического фундамента Восточно-Европейской платформы. В палеогеодинамическом отношении их можно рассматривать как образования достаточно тектонически стабильных областей. Источниками сноса для

[16] $F3 = 30.638\times TiO_2/Al_2O_3–12.541\times Fe_2O_{3общ}/Al_2O_3+7.329\times MgO/Al_2O_3+12.031\times Na_2O/Al_2O_3+35.402\times K_2O/Al_2O_3–6.382$; $F4 = 56.5\times TiO_2/Al_2O_3–10.879\times Fe_2O_{3общ}/Al_2O_3+30.875\times MgO/Al_2O_3–5.404\times Na_2O/Al_2O_3+11.112\times K_2O/Al_2O_3–3.89$.

них становились как кислые и средне-кислые изверженные породы (риолиты, риодациты/дациты, трахиандезиты и др.), так и богатые кварцем метаосадочные породы дорифейского проточехла платформы.

9.2. ЛИТОГЕОХИМИЯ ТОНКОЗЕРНИСТЫХ ОБЛОМОЧНЫХ ПОРОД

Сведения о литогеохимическом составе тонкозернистых алюмосиликокластических образований могут использоваться, как показано в гл. 6, для расшифровки значительно большего количества факторов осадконакопления, нежели литогеохимия псаммитов.

9.2.1. Палеогеодинамические обстановки формирования тонкозернистых обломочных пород

Учитывая положение точек составов ТОП рифея и венда Волго-Уральской области на диаграмме Th–La–Sc (рис. 76), как будто бы можно считать, что они формировались в обстановках, сходных с обстановками зрелых островных дуг, однако совершенно очевидно, что такой вывод не адекватен реальной геологической ситуации.

9.2.2. Зрелость тонкой алюмосиликокластики и палеоклимат в областях размыва

Во всей проанализированной нами выборке ТОП рифея Камско-Бельского авлакогена медианное значение ГМ составляет 0.40. Для глинистых сланцев и алевритистых аргиллитов прикамской и калтасинской свит нижнего рифея значения ГМ изменяются, соответственно, от 0.32 и 0.36 до 0.51 и 0.47 (рис. 77, *а*). В то же время уже в тонкозернистых обломочных образованиях надеждинской свиты значение ГМ варьируется в пределах 0.44–0.68 (максимум для всей выборки). В интервале «тукаевская свита–приютовская свита» значение ГМ постепенно снижается в индивидуальных образцах, минимальное для всей выборки значение ГМ (0.31) наблюдается как раз в одном из имеющихся в нашем распоряжении образцов алевритистых аргиллитов приютовской свиты. Таким образом, в нижней части разреза рифея каких-либо достаточно хорошо выраженных вариаций величины ГМ не выявлено, а в верхней проявлена тенденция к снижению ГМ и, следовательно, уменьшению степени зрелости поступавшей в бассейн тонкой алюмосиликокластики.

Распределение значений CIA в индивидуальных образцах глинистых сланцев и алевритистых аргиллитов снизу вверх по сводному разрезу рифея характеризуется относительно слабо выраженным снижением (см. рис. 77, *б*). Максимальные медианные значения CIA характерны для ТОП прикамской свиты (68) и арланской подсвиты калтасинской свиты (70) нижнего рифея, минимальное значение установлено для алевритистых аргиллитов приютовской свиты верхнего рифея (53). Поэтому для начала прикамского времени и арланского века раннего рифея можно предполагать существование в области эрозии климата, близкого к семигумидному/семиаридному. Глинистые сланцы и алевритистые аргиллиты надеждинской, тукаевской, ольховской и усинской

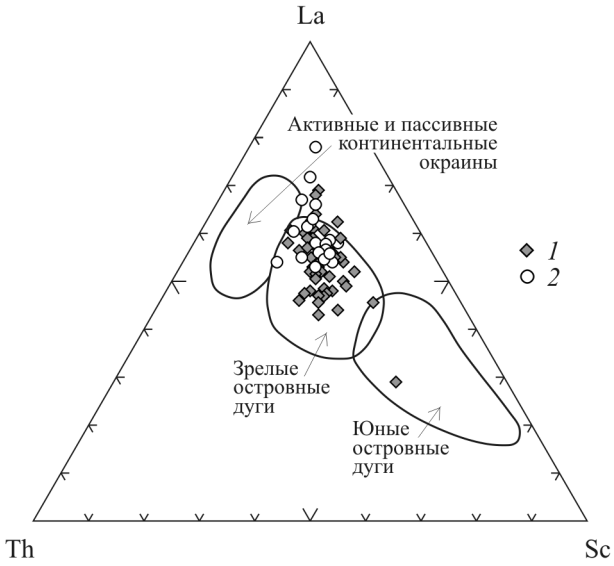


Рис. 76. Положение точек составов ТОП рифея (1) и венда (2) Волго-Уральской области на диаграмме Th–La–Sc (по: Bhatia, Crook, 1986)

свит характеризуются значениями $CIA_{медиана}$ в интервале 59–65, что свидетельствует об относительно слабой преобразованности исходного алюмосиликокластического материала в областях мобилизации тонкой кластики, а также преобладании на палеоводосборах аридного или семиаридного климата. На незрелость поступавшей с палеоводосборов в бассейн тонкой алюмосиликокластики указывают и почти не опускающиеся ниже 0.93–1.0 значения IVC во всем сводном разрезе рифея Камско-Бельского авлакогена (см. рис. 77, *в*).

Значения ГМ в ТОП каировской и шкаповской серий варьируются в пределах 0.53–0.27. Снизу вверх по разрезу наблюдается постепенное снижение медианных значений ГМ от 0.45 (байкибашевская свита) до 0.35 (карлинская свита) (рис. 78, *а*). Только в верхней трети разреза карлинской свиты (образцы ИМ-13, ИМ-12) эта тенденция сменяется противоположной. Симбатно с ГМ вверх по разрезу верхнего венда снижаются медианные значения АМ – от 0.45 в байкибашевских аргиллитах через 0.43 и 0.38 в аргиллитах старопетровской и салиховской свит до 0.35 в породах карлинской свиты (см. рис. 78, *б*). Несколько иначе ведет себя ТМ, значение которого в аргиллитах старопетровской и салиховской свит характеризуется ярко выраженным ростом, в разрезе же карлинской свиты эта тенденция выражена гораздо слабее, кроме того, на фоне в целом чрезвычайно небольшого роста выделяются несколько кратковременных периодов как возрастания, так и снижения значений этого модуля (см. рис. 78, *в*). Величины всех указанных модулей существенно варьируются в пограничном между салиховской и карлинской свитами интервале.

Значения CIA в ТОП ни одного из четырех литостратиграфических подразделений верхнего венда Шкаповско-Шиханской впадины не достигают 70 (при медианных значениях в интервале 61–67) (рис. 79, *а*). Это позволяет считать, что на протяжении всего рассматриваемого нами времени климат на палеоводосборах почти соответствовал семиаридному. Наиболее зрелая тонкая алюмосиликокластика поступала в область осадконакопления в старопет-

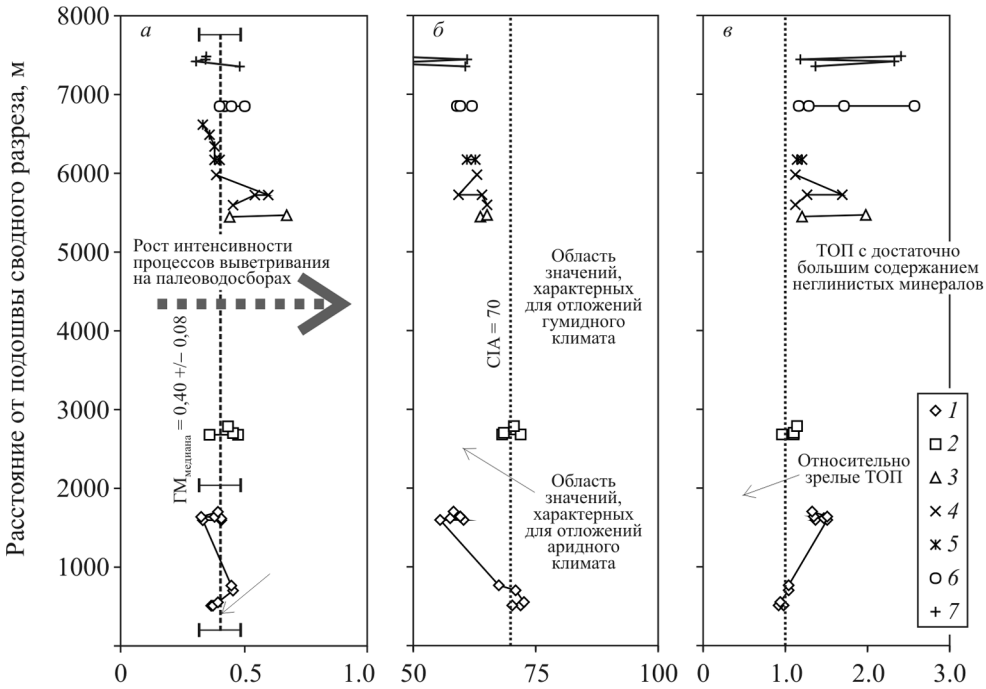


Рис. 77. Вариации значений ГМ (*а*), CIA (*б*), IVC (*в*) в тонкозернистых терригенных породах сводного разреза рифея Камско-Бельского авлакогена.

Свиты: *1* – прикамская; *2* – надеждинская; *3* – тукаевская; *4* – ольховская; *5* – усинская; *6* – леонидовская; *7* – приютовская

ровское время, а также в начале и середине карлинского времени. Наименее преобразованная процессами выветривания на палеоводосборах тонкая кластика характерна для середины салиховского времени. На одном из интервалов разреза карлинской свиты также присутствуют аргиллиты, сложенные весьма слабо преобразованным материалом (образец ИМ-14).

Значения CIW в аргиллитах верхнего венда варьируются в пределах 55–66 (см. рис. 79, *б*), что с учетом приведенных в гл. 6 критериев указывает на относительно слабое преобразование пород на палеоводосборах. По изменению значений CIW в байкибашевско-салиховском интервале (от 64–65 до 55–56) устанавливается хорошо выраженная тенденция к уменьшению степени зрелости поступавшей в область осадконакопления тонкой алюмосиликокластики; в самой верхней части разреза салиховской свиты зрелость материала заметно повышается (до 62–63), однако выше (почти во всем разрезе карлинской свиты) остается неизменной (~61). Примерно эта же тенденция изменения в разрезе каировской и шкаповской серий отмечается и для IVC (см. рис. 79, *в*).

Суммируя сказанное выше, приходим к выводу о том, что степень зрелости поступавшей в бассейн на протяжении всего позднего венда тонкой алюмосиликокластики постепенно снижалась. Это позволяет предполагать, что с течением времени на палеоводосборах процессы выветривания ослаблялись; только в самом конце карлинского времени из области размыва вновь, как и в байкибашевско-раннестаропетровское время, стала поступать относительно

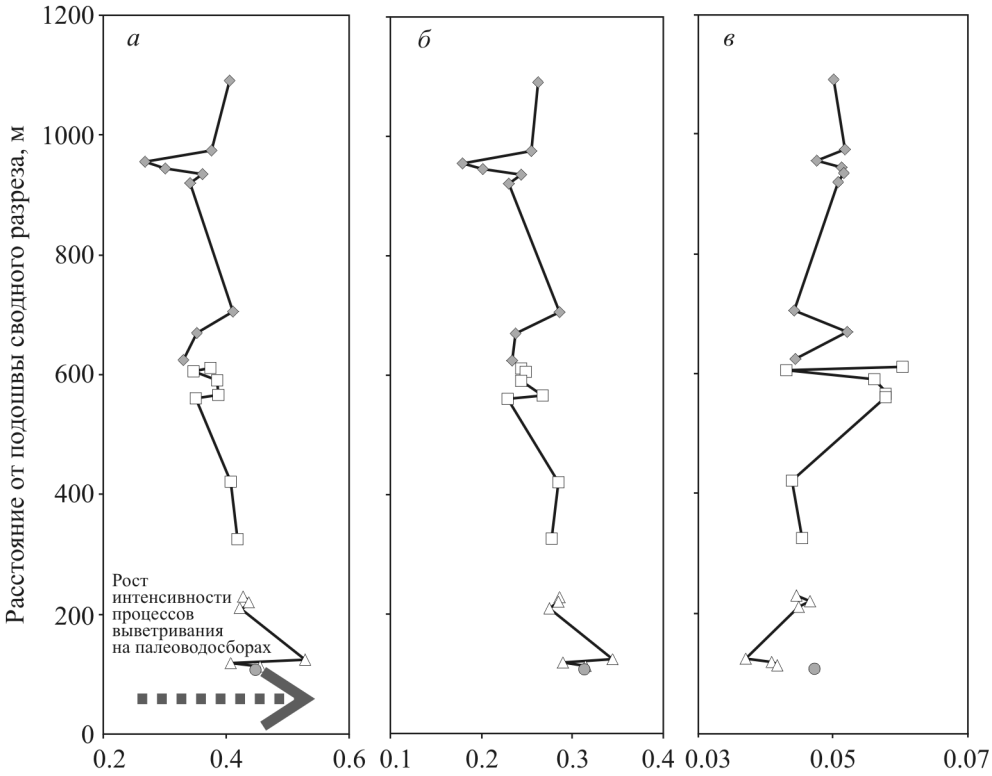


Рис. 78. Вариации в аргиллитах сводного разреза верхнего венда Шкаповско-Шиханской впадины гидролизатного (*а*), алюмокремниевого (*б*) и титанового (*в*) модулей.
Условные обозначения см. на рис. 32

зрелая кластика. Некоторое увеличение значения ТМ в аргиллитах байкибашевско-салиховского времени указывает на относительно слабую тенденцию к переотложению кластики. В карлинское время эта тенденция уже не наблюдалась.

9.2.3. Состав пород палеоводосборов

На диаграмме Th–La фигуративные точки составов ТОП рифея Камско-Бельского авлакогена сконцентрированы в основном в области значений, характерных, по данным С. Тейлора и С. МакЛеннана (1988), для постархейских сланцев (рис. 80, *а*). Если же ориентироваться на оценки среднего содержания Th и La в архейских кратонных сланцах, представленные в (Condie, 1993), то очевидно, что в части глинистых пород рифея содержание La ниже, нежели в Sh_{AR}, и потому в данных координатах эти породы можно рассматривать как продукты размыва примитивных архейских субстратов. Среднее значение Gd_N/Yb_N для пород архейских ТТГ-ассоциаций составляет ~3.2 (Gu, 1994), а параметр La_N/Yb_N варьируется от ~15 (архейские граниты) до ~18 (архейские ТТГ-комплексы) (Condie, 1993).

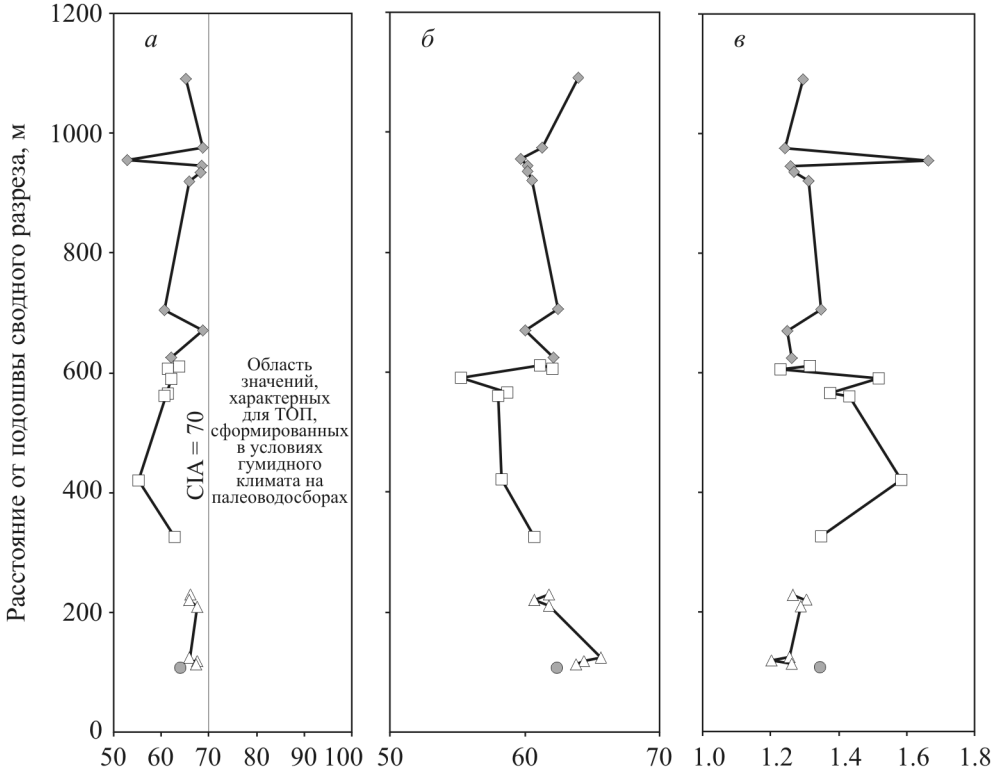


Рис. 79. Вариации в аргиллитах и алевритистых аргиллитах сводного разреза верхнего венда Шкаповско-Шиханской впадины индексов CIA (*а*), CIW (*б*) и IVC (*в*).

Условные обозначения см. на рис. 32

Положение фигуративных точек составов тонкозернистых обломочных образований рифея Камско-Бельского авлакогена на диаграммах Ni–Cr, Sc–Th/Sc и Gd_N/Yb_N–Eu/Eu* (рис. 80, *б–г*) демонстрирует близость составов проанализированных нами пород к составу PAAS. Так как максимальное содержание Cr в породах проанализированной нами выборки не превышает ~150 г/т, то параметры всех имеющихся в нашем распоряжении образцов, будучи сконцентрированы в основном вокруг модельного состава среднего постархейского австралийского сланца, располагаются на диаграмме Ni–Cr в области значений, характерных для постархейских ТОП.

Меньше неопределенности в разграничении архейской и постархейской тонкой алюмосиликокластики на диаграмме Co/Hf–Ce/Cr (Dobson et al., 2001) (рис. 81, *а*). Здесь вследствие достаточно больших значений Ce/Cr большинство точек составов глинистых сланцев рифея Камско-Бельского авлакогена находится выше области составов, типичных для архейских кратонных сланцев. Те же образцы (преимущественно тонкозернистые обломочные породы прикамской свиты), что отличаются небольшими величинами указанного параметра, имеют и небольшие, что не характерно для архейской алюмосиликокластики, значения Co/Hf (это также не позволяет им локализоваться в области собственно архейских кратонных сланцев).

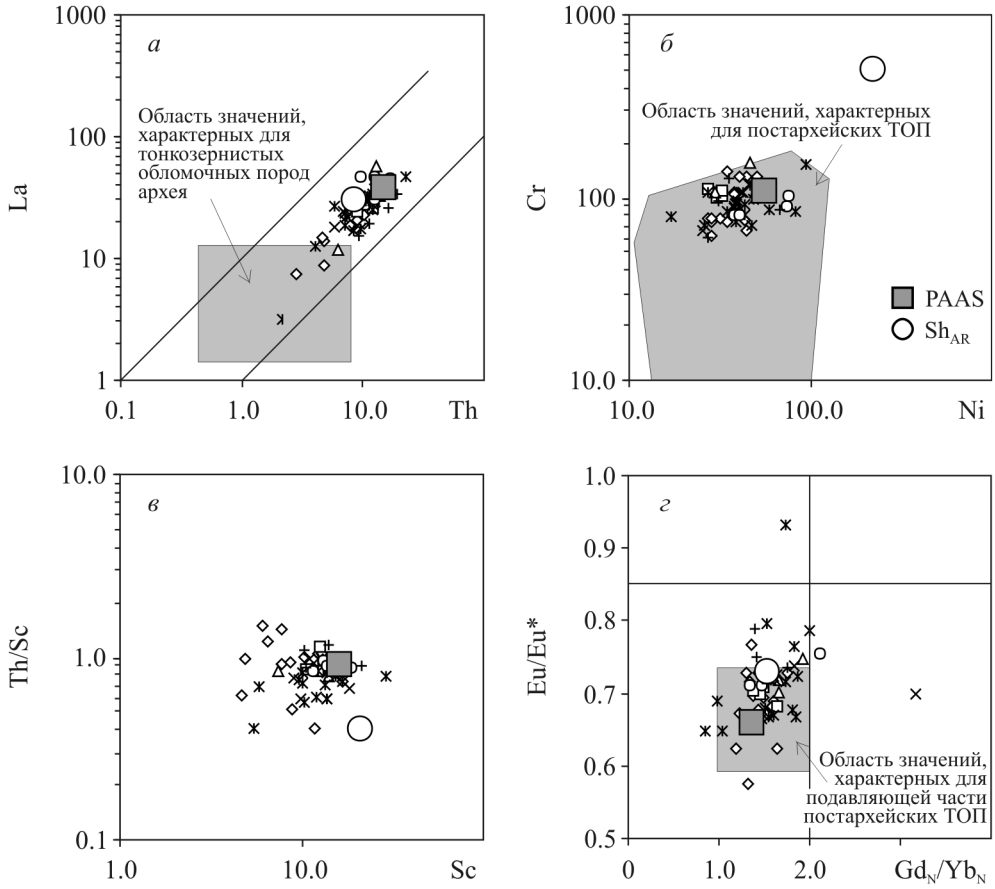


Рис. 80. Положение фигуративных точек составов ТОП рифея Камско-Бельского авлакогена на разных дискриминантных диаграммах:

PAAS – постархейский австралийский сланец; Sh_{AR} – средний архейский кратонный сланец. Другие условные обозначения см. на рис. 31

На диаграмме La/Sm–Sc/Th (см. рис. 81, *б*) наблюдается сосредоточение фигуративных точек состава глинистых сланцев и аргиллитов рифея вокруг модельного состава PAAS, что вполне соответствует выводам, полученным при рассмотрении других диаграмм.

На диаграммах La/Sc–Th/Co (*а*) и Yb_N–La_N/Yb_N (Cullers, 2002; Martin, 1986) (рис. 82, *а*, *б*) основная масса точек алевритистых аргиллитов и глинистых сланцев рифея Камско-Бельского авлакогена локализована вблизи среднего состава протерозойских тоналит-трондьемит-гранитных ассоциаций, имея в то же время некоторое сходство как с архейскими ТТГ-ассоциациями, так и с архейскими гранитоидами (Condie, 1993). Таким образом, реконструированный по геохимическим особенностям тонкозернистых обломочных образований рифея состав пород на палеоводосборах находится в достаточно хорошем соответствии с минералого-петрографическими и геологическими данными.

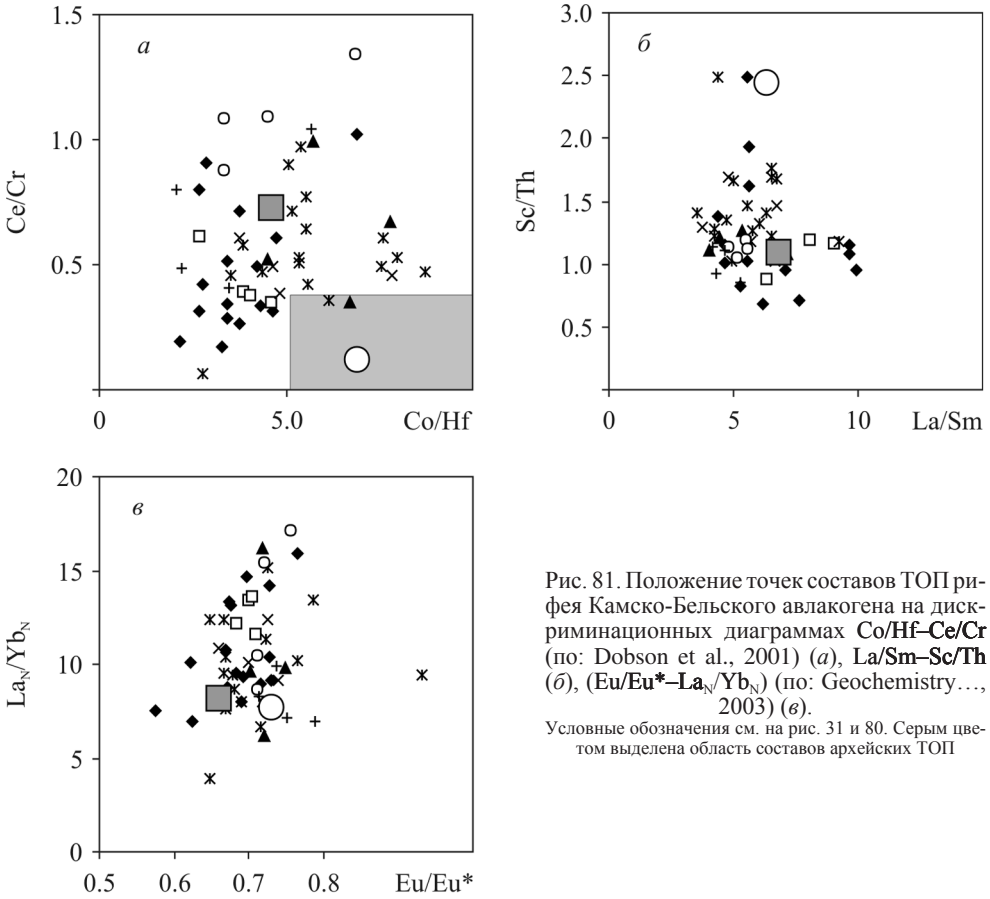


Рис. 81. Положение точек составов ТОП рифея Камско-Бельского авлакогена на дискриминационных диаграммах **Co/Hf–Ce/Cr** (по: Dobson et al., 2001) (*а*), **La/Sm–Sc/Th** (*б*), (**Eu/Eu*–La_N/Yb_N**) (по: Geochemistry…, 2003) (*в*).

Условные обозначения см. на рис. 31 и 80. Серым цветом выделена область составов архейских ТОП

Значение **Th/Cr в глинистых сланцах и алевритистых аргиллитах большинства** литостратиграфических подразделений рифея Камско-Бельского авлакогена может рассматриваться как промежуточное между значениями, присущими магматическим породам основного и среднего составов (минимум – 0.02, максимум – 0.22) (рис. 83, *а*). Для ТОП прикамского, ольховского и приютовского уровней выявлены достаточно широкие вариации значений данного параметра, что указывает, как представляется, на незавершенность процессов гомогенизации тонкой алюмосиликокластики на путях переноса, а следовательно, на относительную близость областей размыва к областям седиментации. Значения **Th/Sc и La/Sc в ТОП рифея варьируются** между типичными для диоритов и гранитов (см. рис. 83, *б*, *в*). Максимальный разброс их в глинистых сланцах одного литостратиграфического подразделения наблюдается для прикамского уровня нижнего рифея (величина **La/Sc значительно изменяется также в тонкозернистых обломочных** породах надеждинской и ольховской свит), что, видимо, есть следствие некоторого обновления состава пород на палеоводосборах. Минимальные (< 1.0) значения **Th/Sc присущи глинистым сланцам и алевритистым аргиллитам** надеждинско-усинского интервала (конец раннего–начало позднего

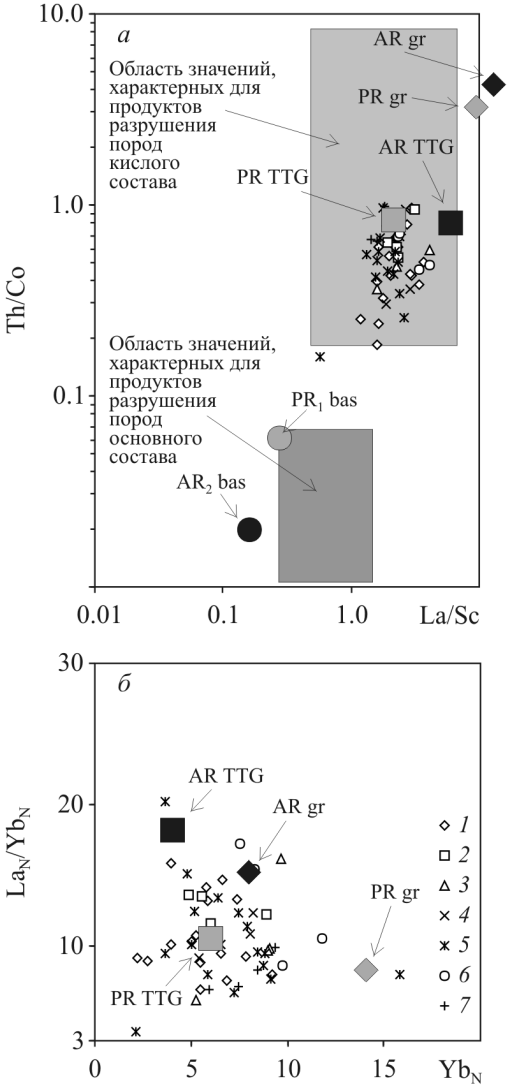


Рис. 82. Положение фигуративных точек составов алевритистых аргиллитов и глинистых сланцев разных литостратиграфических подразделений рифея Камско-Бельского авлакогена на диаграммах La/Sc–Th/Co (по: Collers, 2002) (*а*), Yb_N–La_N/Yb_N (по: Martin, 1986) (*б*).

ARgr – средний архейский гранит; PRgr – средний протерозойский гранит; AR TTG – средний состав пород архейских тоналит-трондьемит-гранитных ассоциаций; PR TTG – средний состав пород протерозойских тоналит-трондьемит-гранитных ассоциаций; AR_2bas – средний позднеархейский базальт; PR_1bas – средний раннепротерозойский базальт, по (Condie, 1993).

Условные обозначения см. на рис. 31

рифея). Для La/Sc наиболее низкие значения (< 3.0) наблюдаются в ТОП тукаевского, ольховского и приютовского уровней; напротив, в тонкой алюмосиликокластике, присутствующей в разрезах прикамской, надеждинской и усинской свит, значение данного параметра в ряде случаев составляет более 4.0 (в гранитах значение La/Sc – в среднем ~7.4 (Интерпретация…, 2001)).

Весьма чувствительными индикаторами присутствия в ТОП продуктов разрушения примитивных архейских субстратов служат, как указывалось выше, соотношения в них Co, Hf, Cr, Ce. Значение Co/Hf варьируется в архейских субстратах в пределах 4–14 (в среднем архейском кратонном сланце, по (Condie, 1993), значение Co/Hf равно 6.9), тогда как значение Ce/Cr не поднимается выше 0.4. Анализ значений Co/Hf и Ce/Cr в алевритистых аргиллитах и глинистых сланцах разных уровней рифея Камско-Бельского авлакогена показывает, что роль архейской алюмосиликокластики существенна в породах прикамской и калтасинской свит, тогда как в составе надеждинского и более высоких уровней рифейского разреза преобладает более зрелый в геохимическом отношении материал. Интересно, что тонкозернистые терригенные породы венда Шкаповско-Шиханской впадины, основным источником сноса для которых, как и для отложений рифея, выступал Татарский свод, характеризуются значениями Co/Hf и Ce/Cr, близкими к тем, что присущи глинистым породам серафимовской и абдулинской серий (Геохимия…, 2008).

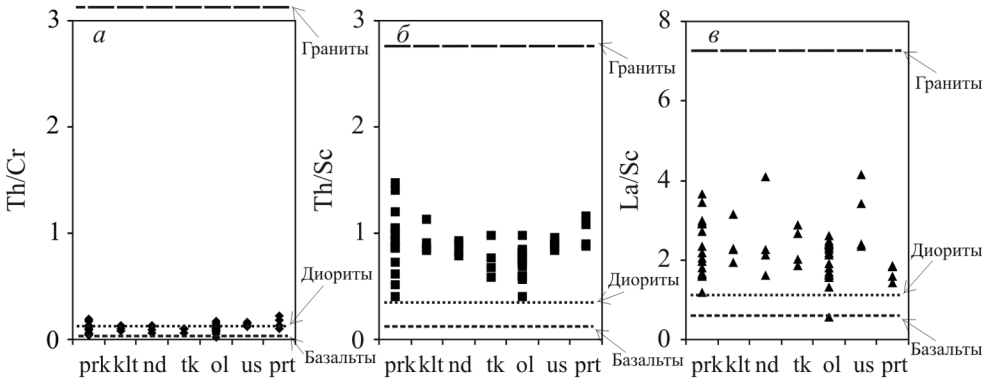


Рис. 83. Вариации значений **Th/Cr, Th/Sc, La/Sc в индивидуальных образцах глинистых сланцев** разных литостратиграфических уровней рифея Камско-Бельского авлакогена.

Средние значения отношений **Th/Cr, Th/Sc, La/Sc в разных типах магматических пород приведены по: (Интерпретация…, 2001).**

Свиты: **prk – прикамская; klt – калтасинская; nd – надеждинская; tk – тукаевская; ol – ольховская; us – усинская; prt – приютовская**

Вариации значений ряда индикаторных отношений элементов-примесей снизу вверх по сводному разрезу рифея Камско-Бельского авлакогена отражены на рис. 84, 85. Наблюдающиеся здесь особенности распределения в ТОП значений **Th/Sc указывают на преимущественный размыв на протяжении почти** всего рифея пород архейских и раннепротерозойских ТТГ-ассоциаций, что соответствует выводам, полученным при рассмотрении положения фигуративных точек алевритистых аргиллитов и глинистых сланцев на диаграммах **La/Sc–Th/Co и Yb_N–La_N/Yb_N**. Вместе с тем более низкие, чем в алевритоглинистых породах других уровней, значения **Th/Sc в образцах тукаевской и верхов** ольховской свит позволяют предполагать, что на палеоводосборах присутствовали и породы основного состава. Это не противоречит и результатам минералого-петрографических исследований. В значительной мере данный вывод подтверждается и анализом особенностей изменения снизу вверх по разрезу рифея значений **Th/Cr, La/Sc, Cr/Zr, V/Ni. На возможное присутствие в** областях размыва основных и ультраосновных пород указывают и достаточно низкие (1.20–1.35) значения **Cr/Ni в ряде образцов алевритоглинистых пород** усинской и приютовской свит.

Нормированные на хондрит[17] спектры РЗЭ в тонкозернистых обломочных породах рифея Камско-Бельского авлакогена показаны на рис. 86, а основные их параметры приведены в табл. 29. Как следует из их анализа, медианные значения La_N/Yb_N в глинистых сланцах и алевритистых аргиллитах всех свит варьируются от 7.91 (приютовский уровень) до 12.95 (усинский уровень), а медианное значение данного параметра для всей выборки составляет 10.29, что в целом указывает на размыв весьма зрелой верхней континентальной коры, насыщенной породами кислого состава (в **PAAS значение La_N/Yb_N** равно 9.2). Если же обратиться к рассмотрению значений La_N/Yb_N в отдельных

[17]Состав хондрита по: (Тейлор, МакЛеннан, 1988).

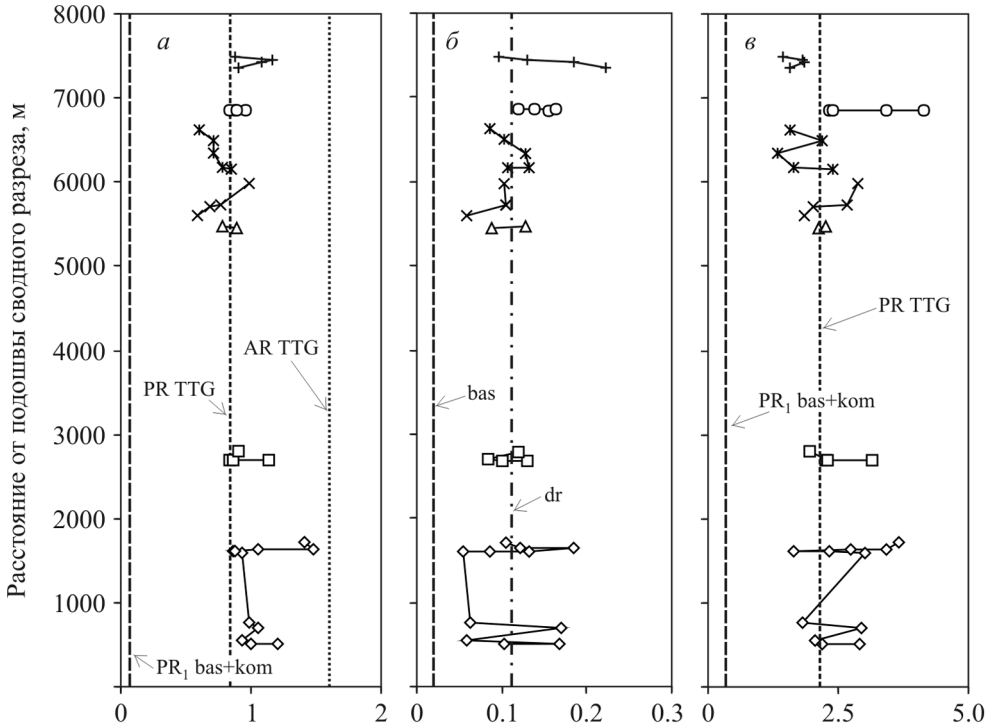


Рис. 84. Вариации значений Th/Sc (*а*), Th/Cr (*б*), La/Sc (*в*) в тонкозернистых обломочных породах сводного разреза рифея Камско-Бельского авлакогена:

AR TTG – средний состав пород архейских тоналит-трондьемит-гранитных ассоциаций; PR TTG – средний состав пород протерозойских тоналит-трондьемит-гранитных ассоциаций; PR_1 bas+kom – средние раннепротерозойский базальт и коматиит (все по: Condie, 1993); bas – средний состав базальта; dr – средний состав диорита (все по: Интерпретация…, 2001). Условные обозначения см. на рис. 31

образцах, то очевидно, что они изменяются в интервале 5.04–21.01[18]; оба указанных значения характерны для пород ольховского уровня среднего рифея. Первое из них достаточно близко к тем, что характерны для продуктов размыва пород основного состава, а второе приближается к значениям La_N/Yb_N в породах ТТГ-ассоциаций. Деплетирование ТРЗЭ ($Gd_N/Yb_N > 2.0$) наблюдается в единичных образцах. Значение отрицательной Eu-аномалии варьируется в пределах 0.57–0.93 при медианном значении в целом для всей выборки – 0.71 (для PAAS – 0.66).

Медианные значения La_N/Yb_N в ТОП большинства литостратиграфических уровней рифея варьируются в пределах 7.7–10.5; только в алевритистых аргиллитах усинской свиты медиана La_N/Yb_N несколько больше (~13). Максимальные же значения названного параметра в индивидуальных образцах поднимаются до 15–17.5, что в значительной мере сближает рассматриваемые нами

[18]Здесь мы используем данные по всей имеющейся в нашем распоряжении коллекции образцов, тогда как на сводном разрезе показаны только те из них, для которых четко установлена вертикальная последовательность.

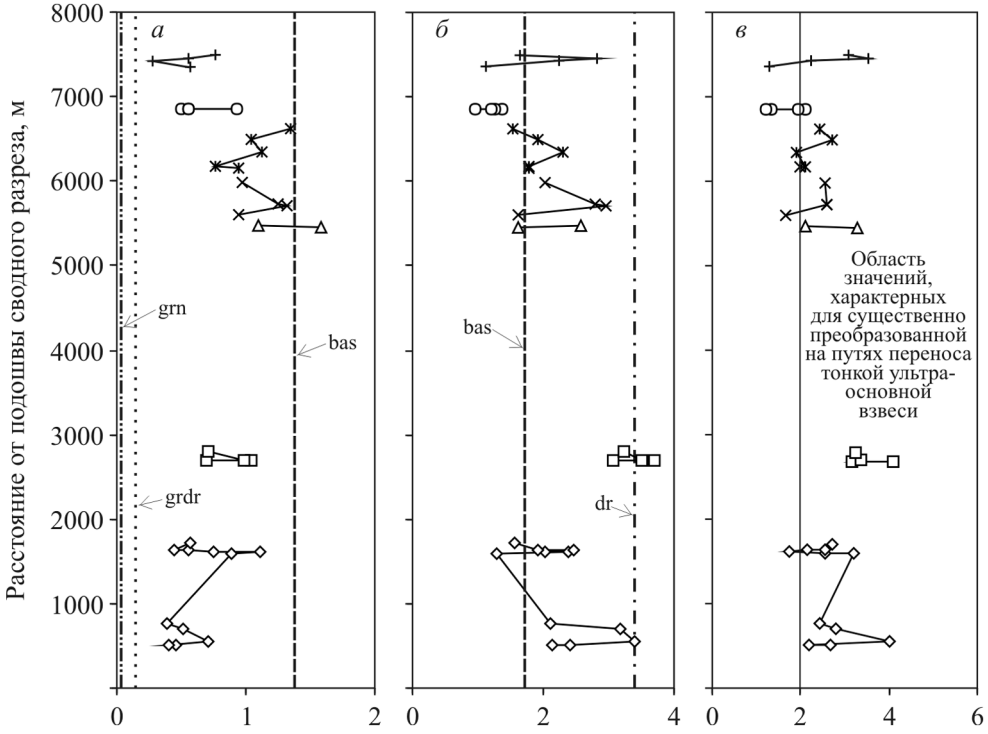


Рис. 85. Вариации значений Cr/Zr (*а*), V/Ni (*б*), Cr/Ni (*в*) в тонкозернистых обломочных породах сводного разреза рифея Камско-Бельского авлакогена.

Средние составы (по: Интерпретация…, 2001): **grn – граниты; grdr – гранодиориты; bas – базальты; dr – диориты. Другие** условные обозначения см. на рис. 31

образования с продуктами размыва архейских гранитоидов и ТТГ-ассоциаций. В последних, по данным (Condie, 1993), средние значения La_N/Yb_N составляют, соответственно, 18.2 и 15.2, тогда как в протерозойских гранитоидах и породах ТТГ-ассоциаций La_N/Yb_N существенно ниже (8.3 и 10.5). Это приводит к локализации точек составов ТОП рифея на диаграмме Eu/Eu*–La_N/Yb_N в основном выше точек PAAS и Sh_{AR} (см. рис. 81, *в*).

Значимые изменения La_N/Yb_N и Gd_N/Yb_N снизу вверх в разрезе рифея на имеющемся в нашем распоряжении материале не прослеживаются (рис. 87, *а*, *б*). Это же характерно и для величины отрицательной европиевой аномалии (см. рис. 87, *в*). В целом значение параметра Eu/Eu* составляет в значительной части образцов 0.62–0.75, т.е. соответствует значениям Eu/Eu* в постархейских глинистых породах вообще и PAAS в частности. В то же время в ряде образцов этот параметр имеет более низкие значения. Так, алевритистые аргиллиты и глинистые сланцы ольховской свиты характеризуются значением Eu/Eu* на уровне 0.77–0.94; отдельные образцы ТОП приютовской, прикамской и надеждинской свит также отличаются более низкими, нежели 0.75, значениями отрицательной европиевой аномалии. Если же обратиться к локализации фигуративных точек относительно модельных составов PAAS и Sh_{AR}, то можно увидеть, что более половины из них тяготеет к точке кратонных архейских

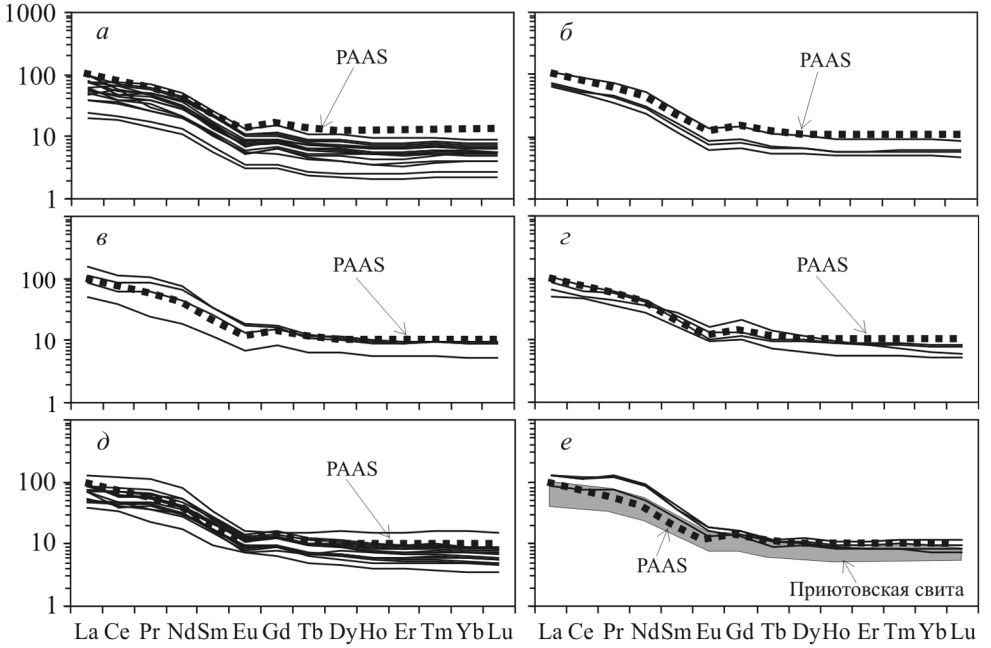


Рис. 86. Нормированные на хондрит спектры распределения РЗЭ в тонкозернистых обломочных породах разных свит рифея Камско-Бельского авлакогена.

PAAS – постархейский средний австралийский глинистый сланец (по: Тейлор, МакЛеннан, 1988).

Свиты: *а* – прикамская; *б* – калтасинская; *в* – надеждинская; *г* – тукаевская; *д* – ольховская; *е* – усинская (серым цветом выделены спектры РЗЭ ТОП приютовской свиты)

сланцев, тогда как вокруг точки PAAS на диаграмме Gd_N/Yb_N–Eu/Eu* их сконцентрировано заметно меньше (см. рис. 80, *г*).

Nd-модельный возраст ($T_{DM\ 2st}$) слагающих разрез рифея Камско-Бельского авлакогена тонкозернистых обломочных пород варьируется в интервале 2455–2906 млн лет (табл. 30). При этом в разрезе прикамской свиты нижнего рифея ТОП имеют Nd-модельный возраст 2906–2538 млн лет. Этому же интервалу примерно соответствуют значения $T_{DM\ 2st}$ в ТОП надеждинской, ольховской (обр. ПБ-31), усинской и приютовской свит. Для алевритистых аргиллитов тукаевской свиты Nd-модельный возраст составляет 2455 млн лет, а для образ-

Таблица 29

Основные параметры (медианные значения) нормированных на хондрит спектров распределения РЗЭ в ТОП разных свит рифея Камско-Бельского авлакогена

Параметр	Свита						
	Прикамская	Калтасинская	Надеждинская	Тукаевская	Ольховская	Усинская	Приютовская
ЛРЗЭ/ТРЗЭ	9.79	12.84	10.99	10.46	9.83	12.95	7.91
La_N/Sm_N	3.55	4.62	3.90	3.62	3.70	3.34	3.01
Gd_N/Yb_N	1.44	1.48	1.66	1.74	1.60	1.53	1.46
Eu/Eu*	0.69	0.70	0.72	0.71	0.69	0.72	0.74

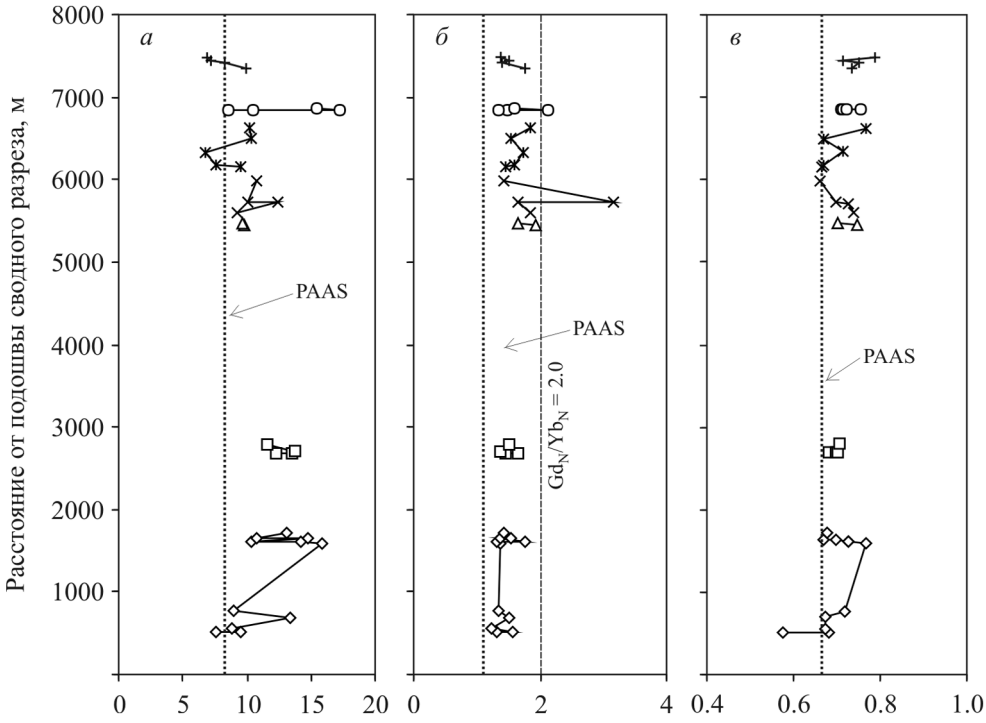


Рис. 87. Изменение значений основных параметров нормированных на хондрит спектров РЗЭ в тонкозернистых терригенных образованиях сводного разреза рифея Камско-Бельского авлакогена:

а – La_N/Yb_N, *б* – Gd_N/Yb_N, *в* – Eu/Eu*. Другие условные обозначения см. на рис. 31

ца ПБ-29 (ТОП ольховской свиты; 6164 м от основания сводного разреза; см. табл. 4) величина $T_{DM\ 2ст}$ равна 2496 млн лет. Таким образом, по данным Sm–Nd-систематики можно сделать вывод, что источниками тонкой алюмосиликокластики для выполняющих Камско-Бельский авлакоген осадочных образований служили разные по возрасту комплексы пород, однако в целом все они могут рассматриваться как преимущественно архейские.

На основе анализа минералого-петрографических сведений, традиционно считают, что основные источники тонкой алюмосиликокластики для глинистых пород верхнего венда Шкаповско-Шиханской впадины – архейские гранатсодержащие гнейсы (Нефтегазоносные…, 1969). Однако полученные нами результаты позволяют предполагать, что в позднем венде на окружавших Шкаповско-Шиханскую впадину палеоводосборах преобладали скорее комплексы пород с геохимическими характеристиками, типичными для большинства постархейских образований или существенно переработанной в раннем протерозое архейской коры.

Большинство образцов аргиллитов каировской и шкаповской серий имеют значения Th/Cr, свойственные породам среднего и кислого составов (диориты, гранодиориты и др.) (рис. 88, *а*), и только для образца ИМ-2, отобранного

Таблица 30

Sm–Nd-систематика тонкозернистых обломочных пород рифея Камско-Бельского авлакогена

Образец	Уровень разреза	Параметр								
		Sm [г/т]	Nd [г/т]	$^{147}Sm/^{144}Nd$	±2σ	$^{143}Nd/^{144}Nd$	±2σ	$T_{DM\,2st}$, млн лет	εNd(2500)	εNd (0)
ПБ-27	Прикамская свита (509 м от основания сводного разреза)	3.30	12.6	0.1582	0.0008	0.511424	0.000013	2906	–11.3	–23.6
ПБ-21	Прикамская свита (697 м от основания сводного разреза)	1.26	5.72	0.1335	0.0007	0.511609	0.000012	2538	0.3	–20.0
ПБ-51	Прикамская свита (1710 м от основания сводного разреза)	2.76	13.5	0.1236	0.0006	0.511427	0.000016	2802	–0.1	–23.6
ПБ-1	Надеждинская свита	3.61	11.7	0.1857	0.0009	0.511705	0.000016	2534	–14.7	–18.2
ПБ-3	Тукаевская свита	8.39	23.8	0.2126	0.0011	0.511776	0.000015	2455	–22.0	–16.8
ПБ-31	Ольховская свита (6622 м от основания сводного разреза)	4.94	27.8	0.1074	0.0005	0.511361	0.000011	2861	3.9	–24.9
ПБ-29	Ольховская свита (6164 м от основания сводного разреза)	1.28	5.9	0.1316	0.0007	0.511631	0.000015	2496	1.4	–19.6
ПБ-41	Усинская свита	5.38	22.2	0.1466	0.0007	0.511531	0.000011	2702	–5.5	–21.6
ПБ-9	Приютовская свита	2.07	6.17	0.2028	0.0010	0.511550	0.000014	2834	–23.3	–21.2

Примечание. Принятые при расчетах параметры для **CHUR** $^{147}Sm/^{144}Nd$ – 0.1967, для $^{143}Nd/^{144}Nd$ – 0.512636, для **DM** – $^{147}Sm/^{144}Nd$ – 0.2136, для $^{143}Nd/^{144}Nd$ – 0.513151.

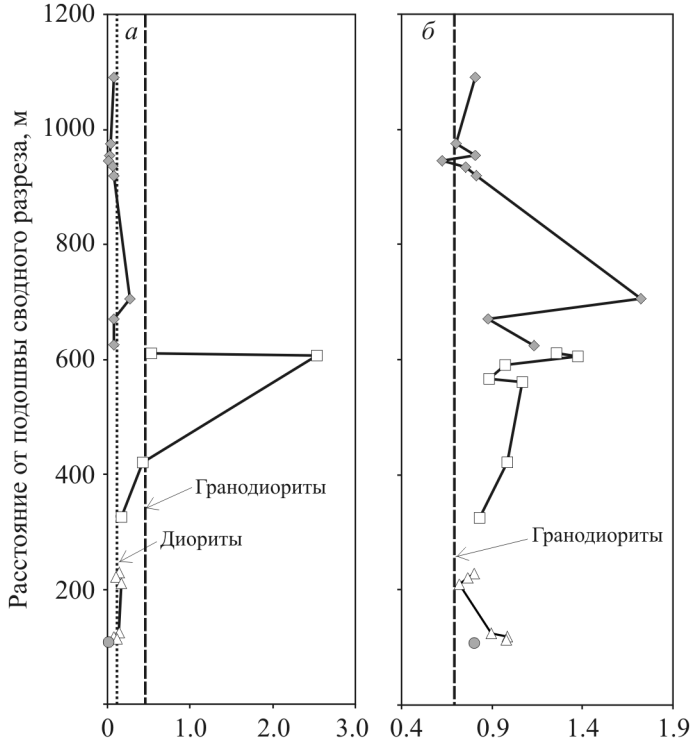


Рис. 88. Вариации значений геохимических показателей состава пород на палеоводосборах в аргиллитах каировской и шкаповской серий верхнего венда Шкаповско-Шиханской впадины:
а – Th/Cr; *б* – Th/Sc.
Пунктирными линиями показаны значения, характерные для диоритов и гранодиоритов (по: Интерпретация…, 2001). Другие условные обозначения см. на рис. 32

из верхней части салиховской свиты, этот параметр составляет 2.53, что позволяет предполагать присутствие в образце существенной доли продуктов размыва кислых пород (граниты и др.). Вместе с тем в этом образце и образце ИМ-1 значения Cr/Ni низкие (~0.28–1.22), что, возможно, указывает и на размыв в самом конце салиховского времени на палеоводосборах ультраосновных пород.

По величине Th/Sc аргиллиты венда занимают промежуточное положение между продуктами размыва кислых и средних магматических пород (см. рис. 88, *б*). Наибольшее (1.72) значение Th/Sc отмечено в образце ИМ-17. В целом значение Th/Sc в породах немного растет от байкибашевского и старопетровского времени (0.80–0.72) к салиховскому, достигая к его окончанию значений порядка 1.26–1.37, а затем снижается до 0.63–0.81 у кровли карлинской свиты.

Значения Cr/Ni варьируются в ТОП байкибашевской и старопетровской свит в интервале 7.6–2.38. Аргиллиты верхней части старопетровской свиты и низов салиховской характеризуются близкими значениями Cr/Ni (4.48 и 4.45 соответственно), тогда как вверх по разрезу салиховской свиты этот параметр

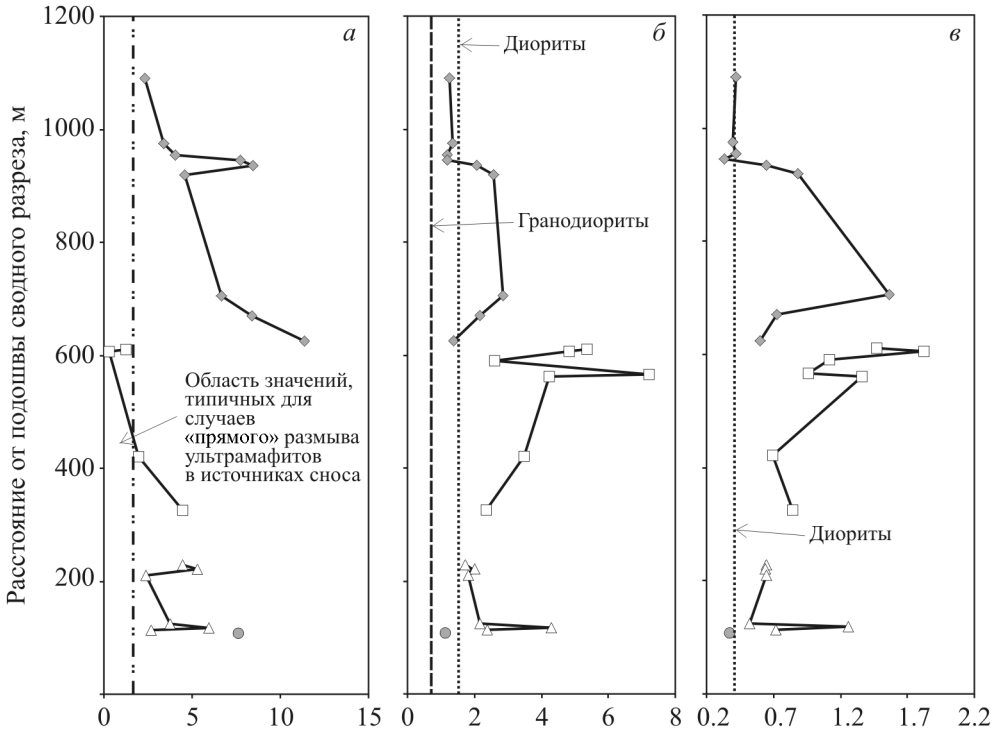


Рис. 89. Вариации значений Cr/Ni (*а*), La/Co (*б*), Th/Co (*в*) в тонкозернистых терригенных породах сводного разреза венда Шкаповско-Шиханской впадины.

Пунктирными линиями показаны значения, характерные для диоритов и гранодиоритов (по: Интерпретация…, 2001). Другие условные обозначения см. на рис. 32

снижается до значений, типичных для ситуации прямого привнесения в осадок продуктов размыва ультраосновных пород. В аргиллитах основания карлинской свиты, лежащей выше, значения Cr/Ni выше на порядок. Вверх по разрезу они, как и в случае салиховской свиты, снижаются, однако остаются в рамках ситуации, наблюдающейся при существенной трансформации тонкой терригенной взвеси ультраосновного состава на путях переноса (рис. 89, *а*).

Наконец, значения и La/Co, и Th/Co в аргиллитах позднего венда Шкаповско-Шиханской впадины немного выше тех, что характерны для диоритов (см. рис. 89, *б*, *в*). Максимально высокие (до 7–7.5 и 1.7 соответственно) значения данных параметров установлены в средней части разреза – в верхней трети салиховской и нижней трети карлинской свит, тогда как в верхней трети карлинской свиты они несколько ниже, чем в диоритах.

На диаграмме Cr–Ni (Тейлор, МакЛеннан, 1988) (рис. 90, *а*) большинство фигуративных точек составов аргиллитов венда расположено между точками состава архейской и постархейской верхней коры[19], причем к последней по соотношению Cr и Ni ближе аргиллиты салиховской свиты.

[19]Соответственно, AUC и PAUC (по: Тейлор, МакЛеннан, 1988; Dobson et al., 2001).

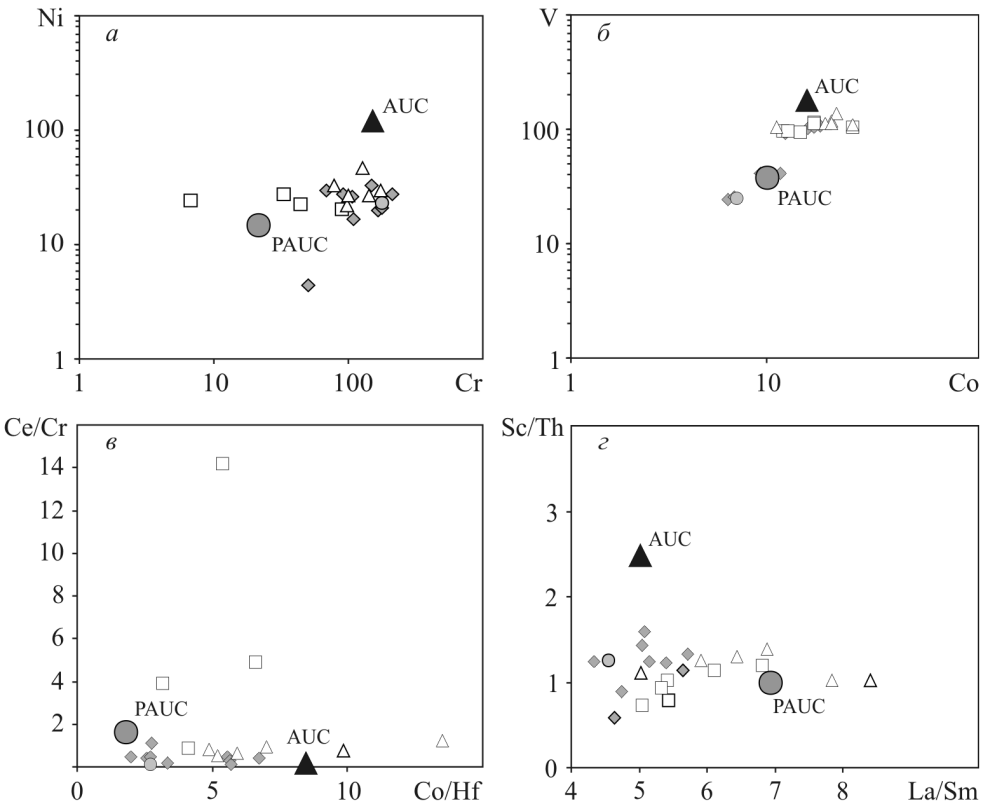


Рис. 90. Положение фигуративных точек составов аргиллитов каировской и шкаповской серий на диаграммах **Cr–Ni (по: Тейлор, МакЛеннан, 1988)** (*а*), **Co–V (по: Feng, Kerrich, 1990)** (*б*), **Co/Hf–Ce/Cr (по:** Dobson et al., 2001) (*в*), **La/Sm–Sc/Th (по: Geochemistry…, 2003)** (*г*).
AUC – **архейская верхняя кора (по: Тейлор, МакЛеннан, 1988)**; **PAUC – постархейская верхняя кора (по: Dobson et al., 2001).**
Другие условные обозначения см. на рис. 32

Сходное положение характерно для точек аргиллитов каировской и шкаповской серий и на других парных диаграммах (см. рис. 90, *б–г*). Это указывает на присутствие в областях размыва блоков, сложенных как преимущественно породами архея, так и существенно более зрелыми раннепротерозойскими комплексами, сформированными в результате масштабной гранитизации континентальной коры Восточно-Европейской платформы 1.8–1.7 млрд лет назад (Богданова, 1986).

Медианное значение ЛРЗЭ/ТРЗЭ для всех проанализированных нами образцов ТОП венда составляет 8.9; имеет слабо выраженную тенденцию к уменьшению вверх по разрезу от 14.7 (обр. ИШ-17; аргиллиты основания старопетровской свиты)[20] до 7.72–7.78 в основании верхней трети карлинской свиты (образцы ИШ-4, ИМ-16) (рис. 91, *а*). Почти симбатно меняется

[20]Уже в 80–85 м выше по разрезу величина ЛРЗЭ/ТРЗЭ в аргиллитах старопетровской свиты становится равной ~9.3 (обр. ИШ-14).

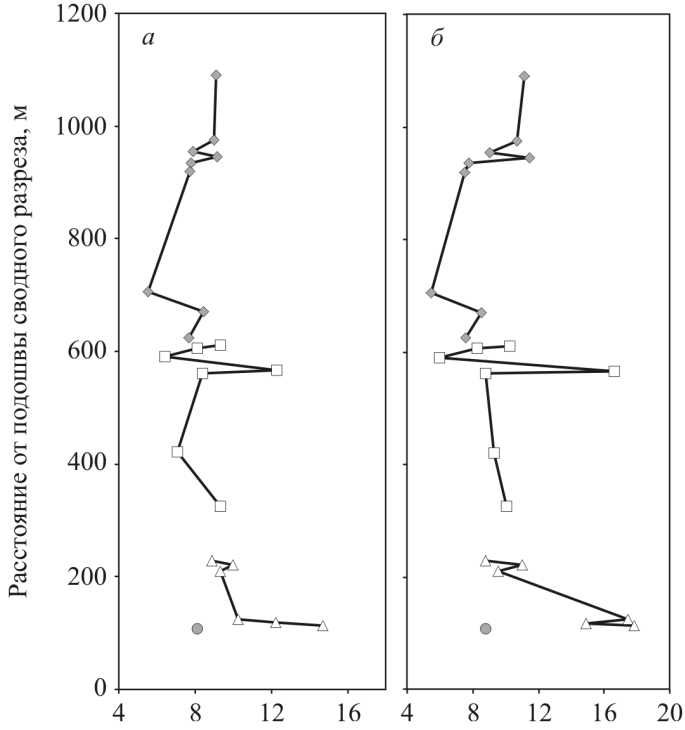


Рис. 91. Вариации отношений ЛРЗЭ/ТРЗЭ (*а*), La_N/Yb_N (*б*) в ТОП верхнего венда Шкаповско-Шиханской впадины.
Условные обозначения см. на рис. 32

в аргиллитах и значение La_N/Yb_N, медианная величина которого по всему разрезу венда составляет ~9.3 (см. рис. 91, *б*), что достаточно близко к оценке этого параметра в раннепротерозойской коре (Condie, 1991). Максимальные значения обоих указанных параметров характерны для самых нижних уровней старопетровской свиты (образцы ИШ-17, ИШ-18) и образца аргиллитов (ИМ-4) из верхней трети салиховской свиты. Это позволяет предполагать, что дважды, в самом начале старопетровского и в конце салиховского времени, в размыв на палеоводосборах вовлекались породы, близкие по составу к гранитоидам. На протяжении же большей части позднего венда в областях размыва преобладали породы среднего состава, претерпевшие, как это видно из хорошо выраженной в аргиллитах всего разреза отрицательной Eu-аномалии, существенную внутрикоровую трансформацию.

Как следует из анализа материалов геологической карты Восточно-Европейской платформы и ее складчатого обрамления (Геологическая…, 1996), с юго-запада, запада и северо-запада Шкаповско-Шиханская впадина ограничена Оренбургским, Татарским и Коми-Пермяцким сводами, сложенными кристаллическими породами архея (~ 80% всей площади палеоводосбора) и раннего протерозоя. В то же время Nd-модельный возраст алевроаргиллитов и аргиллитов байкибашевской и старопетровской свит составляет ~2.0–2.3 млрд лет. ТОП карлинской свиты характеризуются значением T_{DM} ~1.9–2.3 млрд лет (табл. 31). Это позволяет предполагать, что в начале и конце позднего венда на окружавших Шкаповско-Шиханскую впадину палеоводосборах доминировали раннепротерозойские кристаллические образования.

Таблица 31

Sm–Nd-систематика тонкозернистых обломочных пород венда Шкаповско-Шиханской впадины (по: Маслов и др., 2005б)

Образец	Уровень разреза	Параметр							
		Sm [г/т]	Nd [г/т]	$^{147}Sm/^{144}Nd$*	$^{143}Nd/^{144}Nd$	±2σ[%]	$\varepsilon_{Nd}(T)$	T_{DM}**, млн лет	±2σ, млн лет
ИМ-12	Карлинский	2.80	16.0	0.1056	0.51164	0.006	–13.0	1965	42
ИМ-14		2.08	9.40	0.1335	0.51198	0.005	–8.4	2005	44
ИШ-17		6.46	40.2	0.0971	0.51129	0.003	–19.3	2281	19
ИМ-19		1.91	10.5	0.1099	0.51173	0.005	–11.6	1914	34
ИМ-1	Салиховский	11.9	64.2	0.1119	0.51198	0.003	–6.7	1579	23
ИМ-5		10.1	49.4	0.1232	0.51209	0.003	–5.4	1591	25
ИМ-27		5.45	35.3	0.0933	0.51177	0.005	–9.5	1600	31
ИМ-29	Старопетровский	7.67	39.8	0.1166	0.51157	0.004	–14.9	2302	28
ИМ-17		12.1	51.8	0.1408	0.51209	0.006	–6.5	1976	59
ИМ-32	Байкибашевский	4.92	30.7	0.0969	0.51129	0.004	–18.8	2277	27

Примечание. Определение концентрации и изотопного состава Sm и Nd выполнено масс-спектрометрическим методом изотопного разбавления с использованием смешанного трассера $^{149}Sm + ^{150}Nd$ и кислотного разложения исходного материала. Воспроизводимость измеренных отношений $^{143}Nd/^{144}Nd$, $^{147}Sm/^{144}Nd$ контролировалась по стандартам La Jolla и BCR-2. Холостые содержания Sm и Nd не превышали 70 и 90 пг соответственно.

*Погрешности не более ±0.5 % (±2σ). **(по: DePaolo, 1981).

Для аргиллитов салиховской свиты, образцы которых отобраны в скв. Ахмерово-6 (рядом с Башкирским мегантиклинорием), Nd-модельный возраст составляет ~1.6 млрд лет, т.е. меньше, чем в аргиллитах подстилающих и перекрывающих образований, примерно на 400–700 млн лет (Маслов и др., 2005б). Причина такого резкого снижения Nd-модельного возраста ТОП только одного из уровней венда Шкаповско-Шиханской впадины, на наш взгляд, в имевшемся в указанное время усилении сноса кластики с растущего восточнее (в современных координатах – на восточном крыле Башкирского мегантиклинория) Белорецкого метаморфического комплекса (поднятия, террейна) (Пучков, 2000, 2010). На западном крыле Башкирского мегантиклинория, видимо, синхронно с накоплением отложений салиховской свиты (Стратиграфическая…, 2000) в результате разрушения, в том числе и пород этого комплекса, формировались конгломераты и песчаники куккараукской свиты, в которых присутствуют цирконы как с рифейским, так и с вендским возрастом (Willner et al., 2003), источником которых, как предполагают, послужил все тот же Белорецкий комплекс (террейн). Интересно отметить, что Nd-модельный возраст ТОП венда Шкаповско-Шиханской впадины значимо отличается и от Nd-модельного возраста ТОП рифея Камско-Бельского авлакогена (см. выше).

9.2.4. Окислительно-восстановительные обстановки в придонном слое воды

Если при анализе учитывать значения V/Cr и абсолютное содержание Mo в алевритистых аргиллитах и глинистых сланцах рифея Камско-Бельского авлакогена, то следует признать, что накопление слагающей их тонкой алюмосиликокластики происходило преимущественно в окислительных обстановках (рис. 92). Привлечение же значений Mo/Mn и V/(V + Ni) позволяет утверждать о несколько более широком спектре обстановок. Так, большинство образцов тонкозернистых обломочных пород прикамской свиты имеет значения Mo/Mn в пределах 0.001–0.01, что свидетельствует об образовании исходных осадков в условиях, промежуточных между окислительными и восстановительными. Значения Mo/Mn трех образцов алевритистых аргиллитов калтасинской свиты из четырех находятся в интервале 0.0011–0.0013. Такая же ситуация характерна для тонкозернистых обломочных образований приютовской свиты, но в них значения Mo/Mn несколько выше (0.0023–0.0028). Три образца алеврито-глинистых пород надеждинского уровня из четырех, проанализированных нами, а также все четыре образца алевритистых аргиллитов усинской свиты, напротив, имеют значения коэффициента стагнации, типичные для отложений хорошо аэрируемого бассейна. Значение Mo/Mn в трех из четырех изученных образцов ТОП тукаевской свиты варьируется в пределах 0.024–0.073, что предположительно указывает на застойные условия в придонном слое воды бассейна во время их формирования. Из 17 образцов алевритистых аргиллитов ольховской свиты 14 характеризуются отношением Mo/Mn в интервале 0.0013–0.0091, что позволяет рассматривать их в качестве образований переходных (между окислительными и восстановительными) обстановок (рис. 93, *а*). Вместе с тем на основе значений U/Th (см. рис. 93, *б*), свойственных тонкозернистым обломочным породам рифея Камско-Бельского авлакогена, можно сделать вывод,

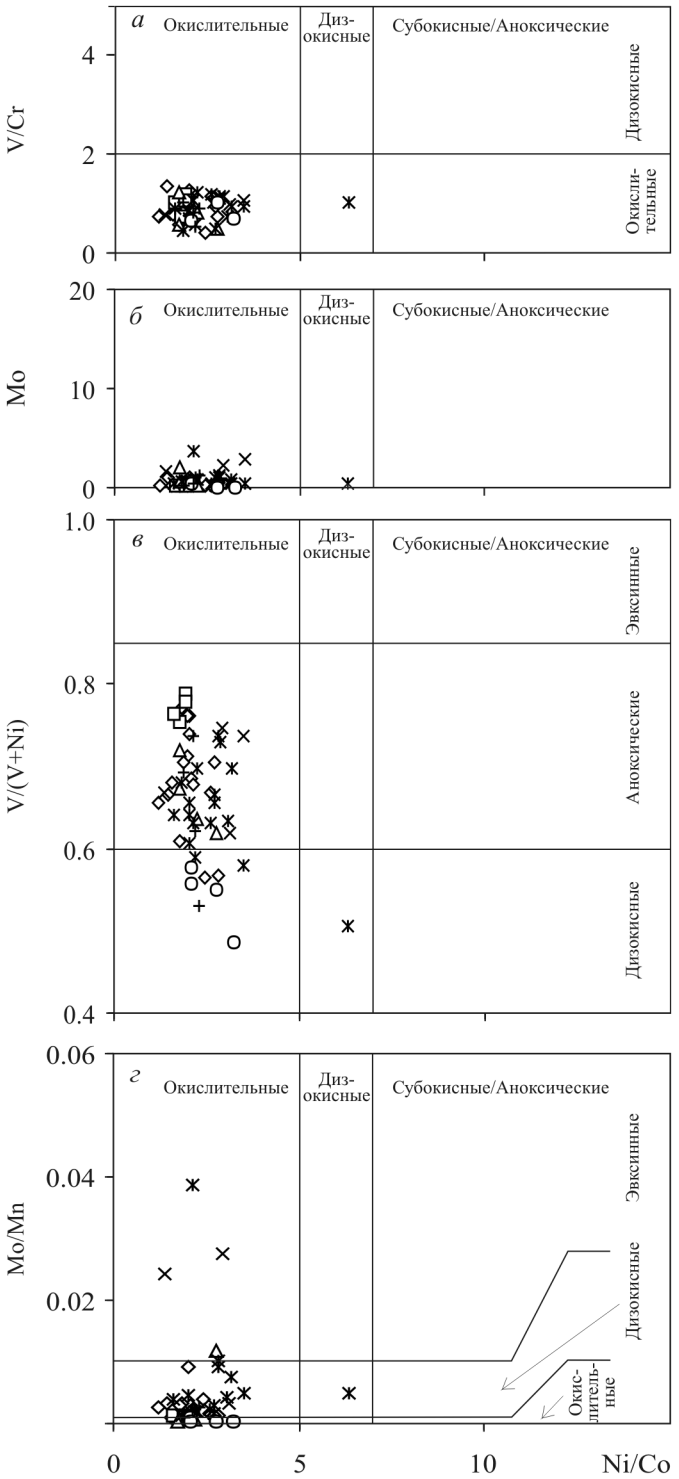


Рис. 92. Положение фигуративных точек составов алевритистых аргиллитов и глинистых сланцев рифея Камско-Бельского авлакогена на диаграммах Ni/Co–V/Cr (*а*), Ni/Co–Mo (*б*), Ni/Co–V(V+Ni) (*в*), Ni/Co–Mo/Mn (по: Jones, Manning, 1994; Hatch, Leventhal, 1992; Rimmer, 2004) (*г*). Поля разных окислительно-восстановительных обстановок выделены (по: Холодов, Недумов, 1991; Turgeon, Brumsack, 2006). Условные обозначения см. на рис. 31

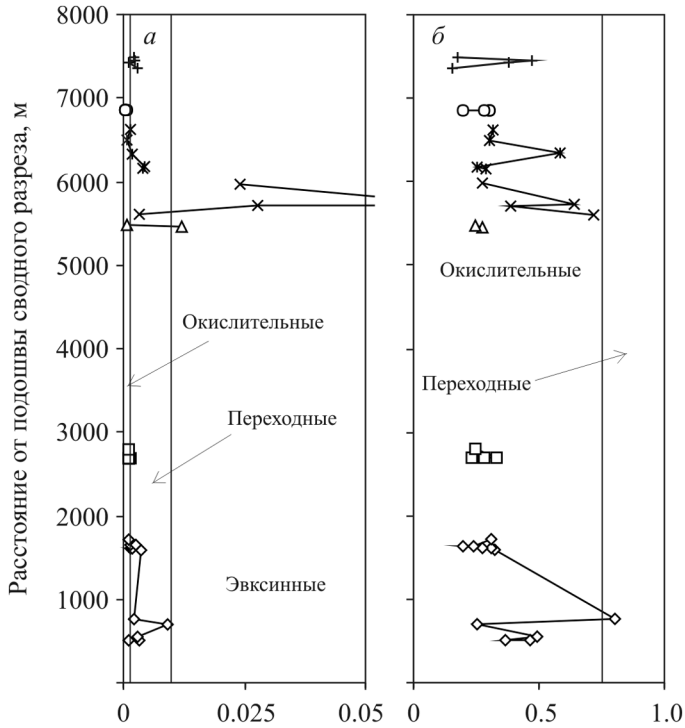


Рис. 93. Вариации значений Mo/Mn (*а*), U/Th (*б*) в тонкозернистых обломочных породах сводного разреза рифея Камско-Бельского авлакогена.
Поля разных окислительно-восстановительных обстановок выделены (по: Холодов, Недумов, 1991; Jones, Manning, 1994).
Условные обозначения см. на рис. 31

что почти все рассмотренные нами образцы представляют собой образования хорошо аэрируемых бассейнов.

Значение Mo/Mn в аргиллитах каировской и шкаповской серий варьируется в пределах 0.0009–0.0047 (рис. 94), что вполне определенно указывает на отсутствие в поздневендском бассейне осадконакопления в пределах Шкаповско-Шиханской впадины каких-либо застойных обстановок в придонном слое воды. К такому же выводу приводит и анализ значений Ni/Co. По значениям V/(V + Ni) и V/Cr преобладающая часть аргиллитов относится к осадкам, накапливавшимся в ясно выраженных окислительных обстановках, тогда как другая часть представлена отложениями дизокисной зоны. Однако в корректности выводов, полученных по двум последним параметрам, заставляет усомниться тот факт, что часть образцов, по значениям V/(V + Ni) принадлежащая к образованиям умеренно бескислородных обстановок, по значению V/Cr может быть интерпретирована как отложения хорошо аэрируемого бассейна (к примеру, ИМ-16, ИМ-17, ИМ-18). Показательно, однако, что ни одно из рассмотренных нами соотношений не дает оснований для выделения в разрезе верхнего венда Шкаповско-Шиханской впадины так называемого «вендского доманика» (Вендская…, 1985).

9.2.5. Палеосоленость бассейнов осадконакопления

На диаграмме Zr/Cu–V/Zr (Янов, 1971) в область значений, характерных как для пресноводных, так и морских тонкозернистых обломочных образова-

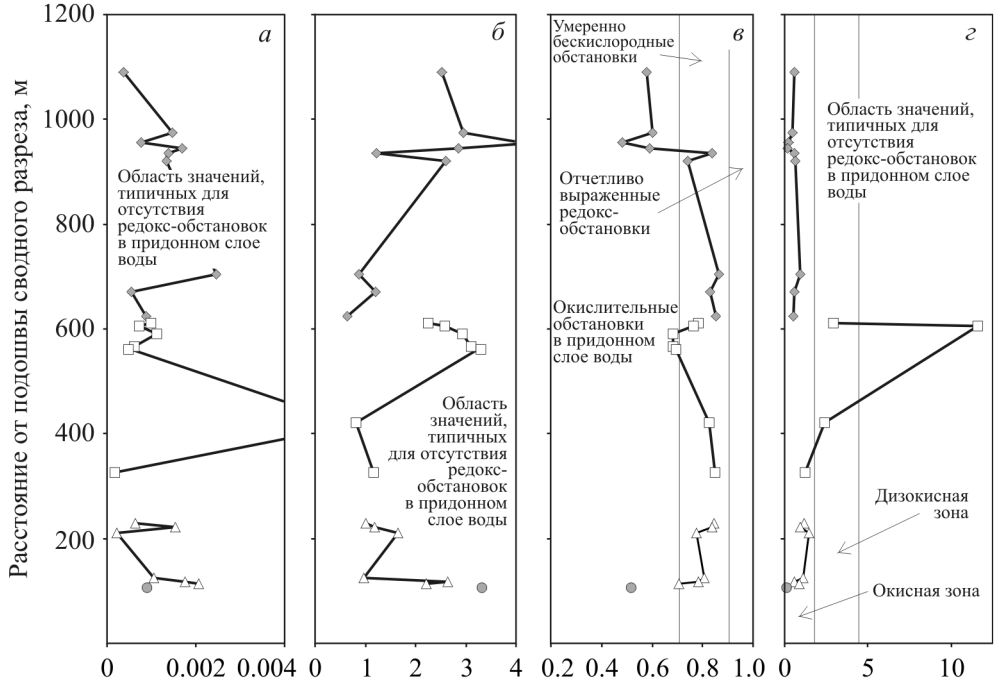


Рис. 94. Вариации в аргиллитах и алевритистых аргиллитах сводного разреза каировской и шкаповской серий Шкаповско-Шиханской впадины значений отношений малых элементов-показателей редокс-обстановок:
а – Mo/Mn; *б* – Ni/Co; *в* – V/(V+Ni); *г* – V/Cr. Условные обозначения см. на рис. 32

ний, попадает примерно половина фигуративных точек ТОП рифея; остальные имеют значения Zr/Cu от 8 до 20–27 (рис. 95, *а*), что существенно выше присущих типичным континентальным образованиям. В то же время данные об изотопном составе серы синседиментационных сульфатов ($\delta^{34}S$ от 18.6 до ~24$^{o}/_{oo}$), достаточно широко распространенных в разрезах нижнего рифея Камско-Бельского авлакогена (Мичурин, 2008), свидетельствуют о значительном сходстве состава вод раннерифейского бассейна, существовавшего на востоке Восточно-Европейской платформы, с составом вод современных океанов и позволяют предполагать, что накопление отложений кырпинской серии шло в морских обстановках с нормальной или несколько повышенной соленостью.

Тонкозернистые обломочные породы венда Шкаповско-Шиханской впадины характеризуются значениями Zr/Cu от 4 до ~20, тогда как значения V/Zr составляют в них не более 0.8–1.0. Это ведет к локализации подавляющего количества точек ТОП каировской и шкаповской серий на диаграмме Zr/Cu–V/Zr как непосредственно в области значений, характерных для континентальных отложений, так и рядом с ней (рис. 95, *б*).

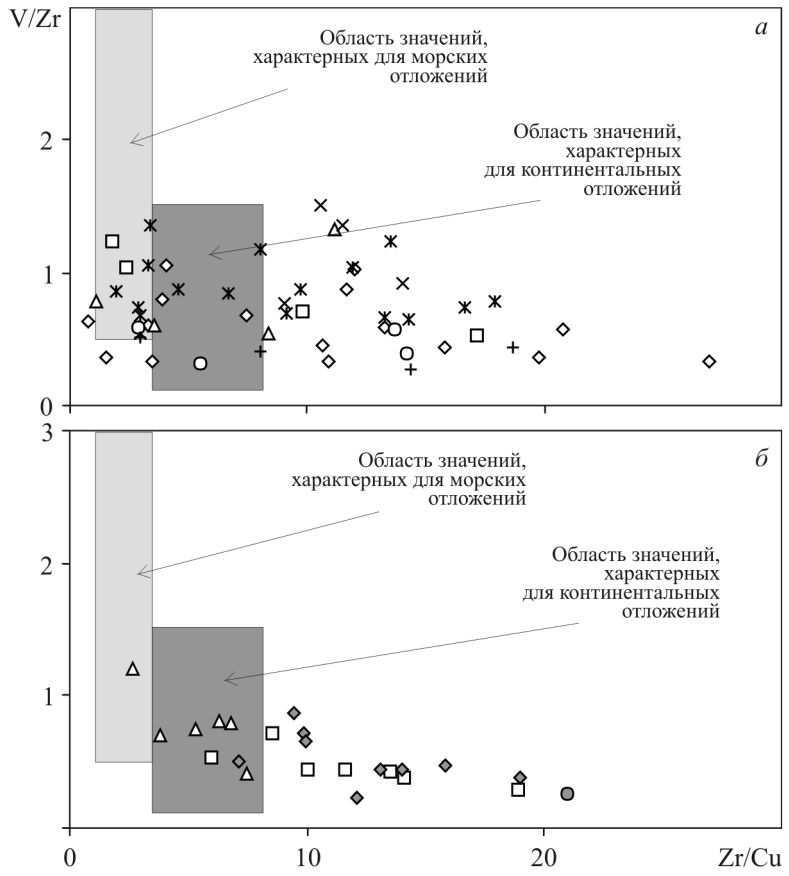


Рис. 95. Положение фигуративных точек составов алевроаргиллитов и глинистых сланцев разных свит рифея (*а*) и венда (*б*) Волго-Уральской области на диаграмме Zr/Cu–V/Zr (по: Янов, 1971).

Области значений Zr/Cu и V/Zr, характерные для разных по палеосолености обстановок, показаны (по: Янов, 1971).

Условные обозначения см. на рис. 31 и 32

9.2.6. Эксгаляционный материал

Только для двух из более чем 30 проанализированных нами образцов ТОП рифея Камско-Бельского авлакогена (сводный разрез) характерны значения (Fe+Mn)/Ti, превышающие 25 (рис. 96). Вместе с отсутствием образцов, где значения Al/(Al+Fe+Mn) составляли бы менее 0.4, это свидетельствует о терригенной природе тонкой алюмосиликокластики. Данный вывод подтверждается и значениями Zr/Hf в алевритистых аргиллитах и глинистых сланцах (медиана 29, минимум 26, максимум 32).

Ни в одном из изученных нами образцов ТОП каировской и шкаповской серий значение (Fe + Mn)/Ti также не превышает критического, что указывает на отсутствие во время формирования отложений верхнего венда Шкаповско-Шиханской впадины подводной гидротермальной деятельности. В то же время

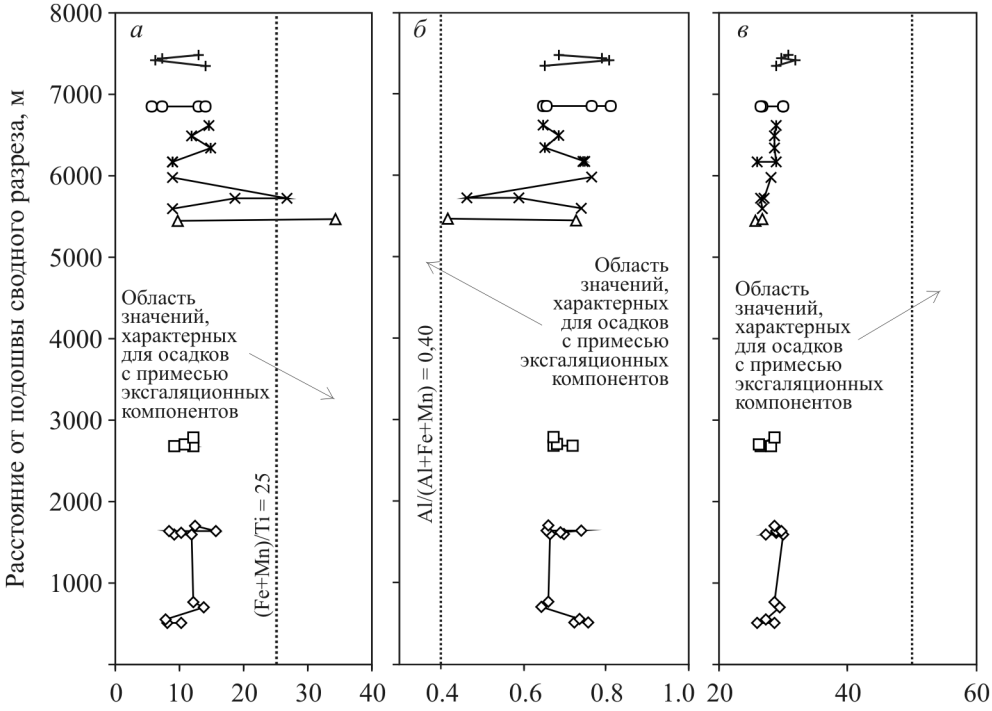


Рис. 96. Вариации значений титанового модуля Страхова (*а*), алюминиевого модуля Бострема (*б*) и отношения **Zr/Hf** (*в*) в тонкозернистых обломочных образованиях разных литостратиграфических подразделений сводного разреза рифея Камско-Бельского авлакогена.

Области значений, характерные для обычных терригенных осадков и осадков с примесью эксгаляционных компонентов, выделены по: (Страхов, 1976; **Bostrom, 1973; Стрекопытов и др., 1995**).

Условные обозначения см. на рис. 31

применение критериев Я.Э. Юдовича с соавторами (1984, 1986) показывает, что в ряде образцов старопетровской, салиховской и карлинской свит значения КМ превышают мусковитовую норму, достигая 0.35 (рис. 97, *а*). Это позволяет предполагать присутствие в составе аргиллитов указанных литостратиграфических подразделений кислой пирокластики. В пользу такого предположения свидетельствуют также 1) высокие (на уровне ~0.37–0.38, что выше ортоклазовой нормы – 0.27) значения в ряде образцов аргиллитов салиховской и старопетровской свит АМ и 2) высокие (более 0.4) значения НМ+КМ в некоторых образцах аргиллитов карлинской и старопетровской свит (табл. 32; также см. рис. 97, *б*). Напротив, большинство проанализированных нами образцов имеет типичные для глинистых пород значения ТМ и ЖМ, а следовательно, камуфлированной пирокластики основного состава в них, как представляется, нет.

Анализ приведенных выше сведений позволяет сделать несколько выводов. Так, высокое медианное значение K_2O/Al_2O_3 (0.46) для проанализированной выборки алевритистых аргиллитов и глинистых сланцев рифея Камско-Бельского авлакогена, как уже отмечалось, указывает на слабое преобразование пород в областях сноса процессами химического выветривания и отсутствие процессов рециклирования тонкой алюмосиликокластики. Весьма интересно,

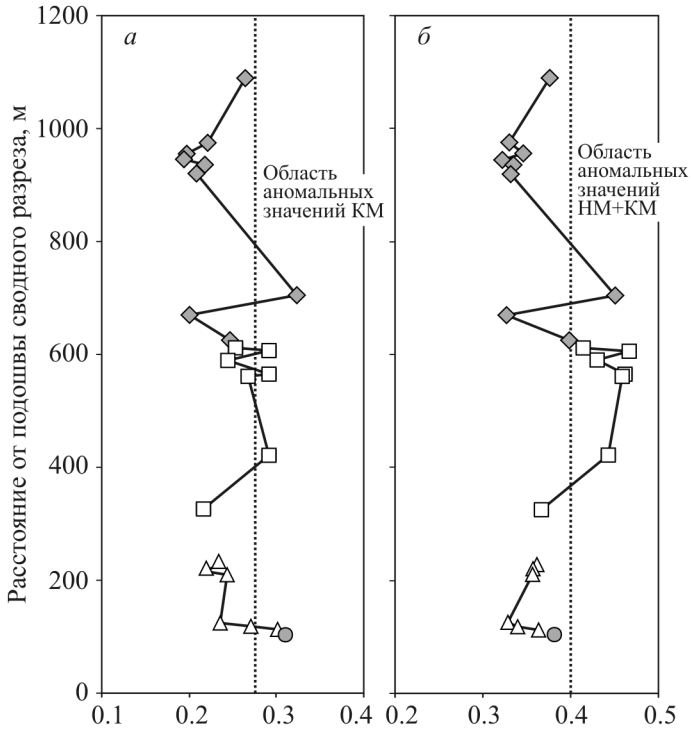


Рис. 97. Вариации значений КМ (*а*), НМ+КМ (*б*) в аргиллитах сводного разреза каировской и шкаповской серий Шкаповско-Шиханской впадины.
Условные обозначения см. на рис. 32

что тонкозернистые терригенные образования рифея Башкирского мегантиклинория имеют в целом медианное значение K_2O/Al_2O_3 ~0.29 (Маслов и др., 2005а); поскольку в работах большинства исследователей Татарский свод рассматривается как один из основных источников кластики не только для Камско-Бельского авлакогена, но и области современного западного склона Южного Урала, это позволяет считать, что присутствующая в последней тонкая алюмосиликокластика перед окончательным захоронением испытала заметное созревание.

Минералого-петрографические данные о составе псаммитов рифея Камско-Бельского авлакогена свидетельствуют о развитии на палеоводосборах на протяжении всего рифея преимущественно кислых магматических и метаморфических образований. Только для надеждинского и усинского уровней на основе присутствия в тяжелой фракции некоторого количества зерен магнетита и пироксена высказано предположение о существовании в областях размыва основных и ультраосновных пород (Верхний…, 1995). Полученные нами сведения о геохимических особенностях ТОП рифея Камско-Бельского авлакогена позволяют считать, что размыв пород основного и ультраосновного составов в той или иной мере происходил не только в надеждинское и усинское время, но и в тукаевское, ольховское и приютовское. Таким образом, можно предполагать, что лишь в начале и середине раннего рифея состав пород в об-

Таблица 32

Пределы вариаций значений разных модулей в аргиллитах каировской и шкаповской серий венда Шкаповско-Шиханской впадины

Модуль	Свита			
	Байкибашевская	Старопетровская	Салиховская	Карлинская
АМ	0.20–0.31	0.21–0.38	0.21–0.37	0.20–0.31
ТМ	0.046–0.051	0.037–0.053	0.043–0.060	0.041–0.059
ЖМ	0.37–0.51	0.39–0.54	0.34–0.57	0.36–0.53
ГМ	0.29–0.48	0.33–0.59	0.32–0.62	0.26–0.41
КМ	0.20–0.30	0.14–0.30	0.21–0.33	0.19–0.32
НМ+КМ	0.36–0.41	0.25–0.41	0.37–0.47	0.32–0.45

ластях размыва был достаточно гомогенным, в последующем, по-видимому, в связи с расширением палеоводосборов и продолжившимися процессами деструкции континентальной коры набор пород в областях питания становился разнообразнее.

Как свидетельствуют результаты анализа значений ряда индикаторов окислительно-восстановительных обстановок в придонных слоях воды, на протяжении почти всего рифея осадки в пределах изученной нами части Камско-Бельского авлакогена накапливались преимущественно в окислительных условиях. Сходные особенности процессов осадконакопления характерны и для типового разреза рифея Башкирского мегантиклинория (Маслов и др., 2003).

К сожалению, имеющиеся в нашем распоряжении литогеохимические данные для тонкозернистых обломочных образований рифея Камско-Бельского авлакогена не позволяют реконструировать палеосоленость ранне-, средне- и позднерифейского бассейнов осадконакопления, однако дефицит этой информации в определенной мере восполняется данными об изотопном составе серы синседиментационных сульфатов, присутствующих в разрезах кырпинской серии нижнего рифея (Мичурин, 2008). Показательно, что и для нижнего рифея Башкирского мегантиклинория характерна примерно такая же ситуация. Так, детальное изучение разрезов бурзянской серии в Бакало-Саткинском горнорудном районе позволило обнаружить литологические признаки былого присутствия среди пород нижнего и среднего рифея эвапоритовых отложений: включения ангидрита, гипса и флюорита в доломитах; разнообразные, подчас достаточно мощные диагенетические доломитовые коллапс-брекчии, образованные в результате избирательного замещения легкорастворимых эвапоритовых минералов в процессе низкотемпературного близповерхностного магнезитового метасоматоза; широкое развитие в доломитах саткинской свиты *tepee*-текстур, указывающих на раннедиагенетический рост сульфатов, остроугольные гнезда белого крупнокристаллического доломита в тонкозернистых темно-серых доломитах, халцедоново-кварцевые включения и выполнения периферии гнезд, имеющие остроугольную, а иногда клиновидную или округло-дисковидную форму (Крупенин, 2005, 2007). Литологические реконструкции подтверждены результатами детального изучения микроструктурных особенностей эвапоритовых текстур под растровым электронным микроскопом.

Изучение флюидных включений в магнезитах и доломитах Саткинского и Бакальского магнезитовых рудных полей показало соответствие в них молярных соотношений Cl/Br и Na/Br эвапоритовым рассолам (Крупенин, Прохаска, 2005), тогда как вмещающие их известняки характеризуются значениями обоих указанных параметров, типичными для нормальной морской воды.

Наконец, в отложениях рифея Камско-Бельского авлакогена, как и в типовом разрезе Башкирского мегантиклинория, геохимическими методами, в том числе и на основе данных по РЗЭ-систематике, не диагностируется присутствие эксгаляционных компонентов (несмотря на имеющиеся в литературе описания рифтогенной природы ряда развитых здесь осадочных ассоциаций (Формирование…, 1986; Масагутов, 2002)). Следовательно, можно с достаточно большой степенью вероятности предполагать, что проницаемость коры в области сочленения Восточно-Европейской платформы и современного Южного Урала на протяжении всего рифея оставалась относительно низкой. Общие особенности изменения основных параметров среды, влиявших на накопление осадков в поздневендском бассейне осадконакопления, суммированы в табл. 33.

Таблица 33

Общие особенности изменения параметров среды, влиявших на накопление осадков в поздневендском бассейне осадконакопления

Уровень разреза	Общий характер тонкой алюмосиликокластики	Степень зрелости тонкой алюмосиликокластики	Климатические обстановки накопления осадков	Окислительно-восстановительные особенности придонных вод бассейна
Карлинский Салиховский Старопетровский Байкибашевский	Доминирование в разрезе петрогенной (*first* ***cycle***) тонкой алюмосиликокластики	Постепенное снижение к середине карлинского времени степени зрелости поступавшей в бассейн тонкой терригенной взвеси. К концу карлинского времени степень зрелости несколько увеличивается	Доминирование климата семиаридного/семигумидного типа; относительно слабое преобразование пород на палеоводосборах	Доминирование на всем протяжении позднего венда окислительных обстановок в придонном слое воды

Уровень разреза	Влияние на процессы осадконакопления подводных эксгаляций	Влияние на процессы осадконакопления камуфлированной пирокластики	Состав палеоводосборов
Карлинский Салиховский Старопетровский Байкибашевский	Отсутствие в составе осадков материала подводных вулканических эксгаляций	Признаков присутствия камуфлированной пирокластики нет (исключение – несколько уровней в разрезе старопетровской, верхней части салиховской и низах карлинской свит)	Доминирование субстратов, сходных по составу со средним составом раннепротерозойской коры. Присутствие в областях размыва как блоков примитивной архейской коры, так и более зрелых раннепротерозойских комплексов. Появление в конце салиховского времени на палеоводосборах значительного объема гранитоидов и, возможно, ультрамафитов

Глава 10

ЛИТОГЕОХИМИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ ТОНКОЗЕРНИСТЫХ ОБЛОМОЧНЫХ ПОРОД РИФЕЯ КАМСКО-БЕЛЬСКОГО АВЛАКОГЕНА И БАШКИРСКОГО АНТИКЛИНОРИЯ

Вопросы сопоставления рифейских отложений Камско-Бельского авлакогена с типовыми разрезами рифея Башкирского мегантиклинория (западный склон Южного Урала) в конце XX в. были в достаточной степени решены на основе комплексного анализа историко-геологических, литологических, изотопно-геохронологических и палеонтологических материалов (Стратиграфическая…, 2000). Однако все еще существует ряд вопросов, не нашедших для себя удовлетворительных ответов. Так, в последние годы вновь появились разногласия в как будто устоявшемся понимании стратиграфической позиции прикамской и калтасинской свит, среди исследователей нет единства и в оценке возраста усинской свиты (Вейс и др., 2000; Романов, Ишерская, 2001; Масагутов, 2002) и т.д. В связи со сказанным актуален поиск независимых инструментов сопоставления разных литостратиграфических подразделений обоих регионов, одним из которых может выступать анализ литогеохимических особенностей тонкозернистых обломочных пород. Еще один интересный аспект исследований – сопоставление микроэлементного состава глинистых сланцев и алевритистых аргиллитов разных литостратиграфических подразделений рифея[21] Камско-Бельского авлакогена и Башкирского мегантиклинория и установление присущих им черт сходства и различия, которые могли бы быть использованы при верификации корреляционных схем.

Следует специально подчеркнуть, что сравниваемые нами по абсолютному содержанию и соотношению элементов-примесей ТОП разных литостратиграфических единиц разрезов рифея Башкирского мегантиклинория и Камско-Бельского авлакогена, как это следует из приведенных ранее данных, в значительной степени близки по своим литохимическим и минералогическим характеристикам.

Сопоставление геохимических особенностей состава тонкозернистых обломочных пород коррелируемых подразделений разных седиментационных серий рифея Башкирского мегантиклинория и Камско-Бельского авлакогена проведено нами по нескольким направлениям. Это, во-первых, сопоставление значений абсолютной концентрации ряда элементов-примесей (Nb, Pb, U, Zr,

[21]К сожалению, в нашем распоряжении все еще нет представительной коллекции глинистых сланцев и аргиллитов всех свит ашинской серии Башкирского мегантиклинория, поэтому выполнить корректное сопоставление литогеохимических особенностей пород венда Волго-Уральской области и западного склона Южного Урала в настоящее время не представляется возможным.

Th, Sr, Rb, La, Ce, Ba, Sc, Y, Ni, Cr и V – так называемый «короткий спектр»). Во-вторых, сопоставление содержания более широкого спектра элементов-примесей, в состав которого кроме перечисленных выше элементов входят также Be, Mn, Co, Cu, Zn, Ga, Mo, Cs, Pr, Nd, Sm, Eu, Gd, Tb, Dy, Ho, Er, Tm, Yb, Hf, W, Bi (так называемый «длинный спектр»). В-третьих, нами выполнено сопоставление медианных значений, присущих тонкозернистым обломочных образованиям коррелируемых литостратиграфических единиц обоих регионов разных индикаторных соотношений элементов-примесей (Th/Sc, Th/Cr, La/Sc, Co/Hf, Ce/Cr, La/Sm) и основных параметров спектров нормированных на хондрит редкоземельных элементов. В-четвертых, проведено нормирование содержаний Nb, Pb, U, Zr, Th, Sr, Rb, La, Ce, Ba, Sc, Y, Ni, Cr, V в индивидуальных образцах ТОП разных уровней рифея Башкирского мегантиклинория и Камско-Бельского авлакогена на содержание их в базальтах и гранитах.

10.1. СОПОСТАВЛЕНИЕ «КОРОТКИХ СПЕКТРОВ»

Айская и прикамская свиты нижнего рифея представлены в проанализированных нами выборках, соответственно, 6 и 11 образцами. Сопоставление абсолютного содержания в них «короткого спектра» элементов-примесей показывает следующее.

В глинистых сланцах айской свиты содержание 100–1000 г/т во всех образцах характерно для Zr, Rb, Ba, Cr (рис. 98, *а*). В двух из шести проанализированных образцов данного литостратиграфического подразделения содержание V и Ce также превышает 100 г/т. Содержание 10–100 г/т характерно для Nb, Th, Sr, La, Sc, Y, Ni, тогда как во всех шести образцах концентрация Pb и U меньше 10 г/т. Во всех 11 образцах алевритистых аргиллитов прикамской свиты только Zr и Ba имеют абсолютное содержание выше 100 г/т. Примерно в половине образцов содержание Cr и V также превышает указанный уровень. Содержание U во всех изученных образцах меньше 10 г/т; примерно в половине образцов аналогичная концентрация присуща также Pb, Th, Sc, Y (см. рис. 98, *б*). В целом же «короткие спектры» абсолютного содержания элементов-примесей в тонкозернистых обломочных породах айской и прикамской свит, на наш взгляд, достаточно сопоставимы.

Бакальскую и надеждинскую свиты нижнего рифея представляют в нашей коллекции, соответственно, семь и четыре образца глинистых сланцев и алевритистых аргиллитов. Абсолютное содержание Zr, Rb, Ce, Ba, Cr во всех семи образцах глинистых сланцев бакальской свиты превышает 100 г/т (см. рис. 98, *в*). Также во всех проанализированных образцах содержание Nb, Th, Sr, La, Sc, Y, Ni варьируется в интервале 10–100 г/т. Абсолютное содержание U во всех образцах глинистых сланцев бакальской свиты из нашей коллекции составляет менее 10 г/т, тогда как содержание Pb в ряде образцов больше, а в ряде – меньше 10 г/т.

Во всех проанализированных образцах алевритистых аргиллитов и глинистых сланцев надеждинской свиты только Ba присутствует в количестве более 100 г/т (см. рис. 98, *г*). Абсолютное содержание Zr, Cr, V в алевритистых аргиллитах как несколько выше, так и несколько ниже 100 г/т. В интервал 10–100 г/т во всех образцах попадают Sr, La, Ce, Y, Ni; в трех проанализиро-

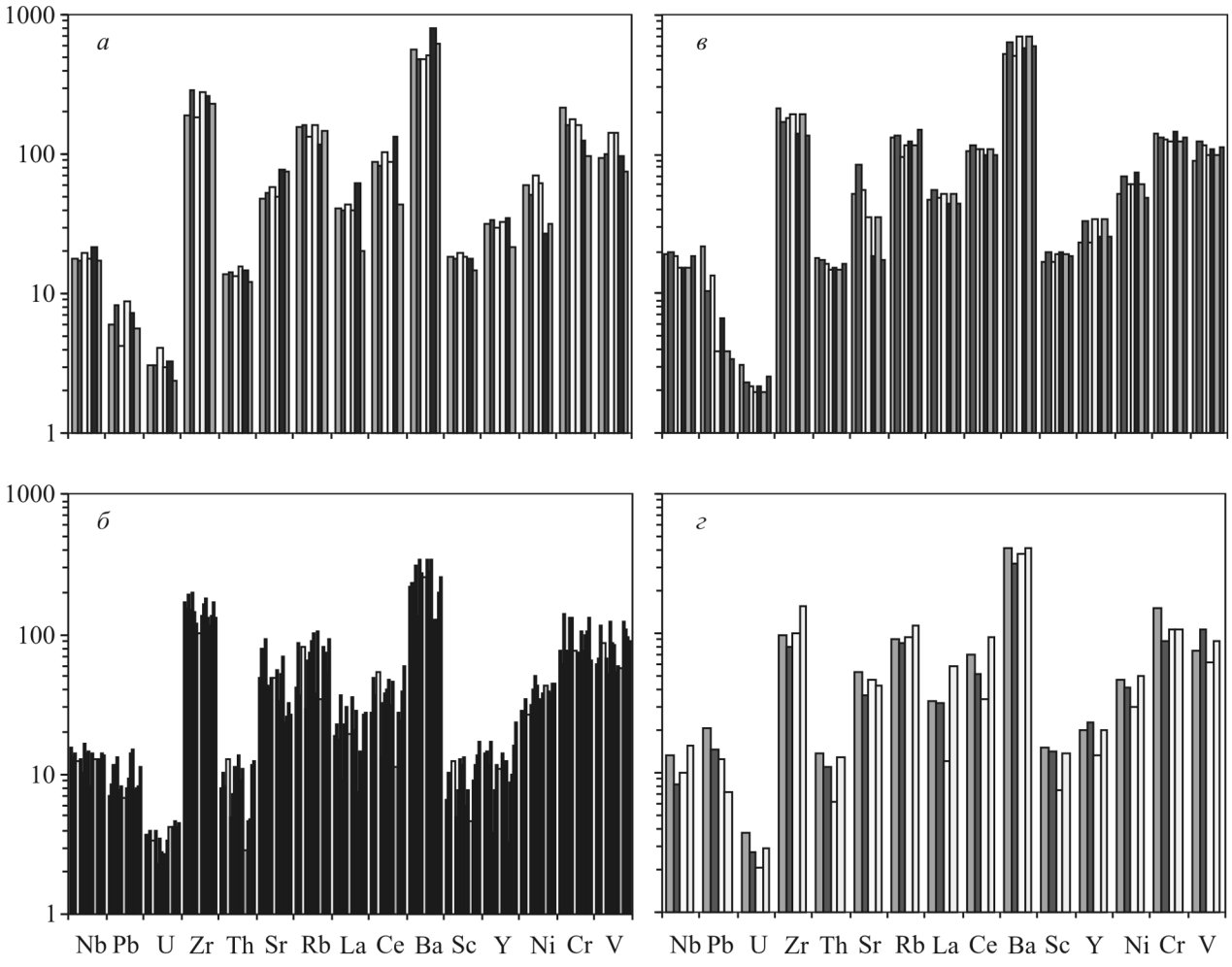


Рис. 98. «Короткие спектры» абсолютного содержания (г/т) элементов-примесей в тонкозернистых обломочных породах нижнего рифея Башкирского мегантиклинория (*а* – айская, *б* – бакальская свиты) и Камско-Бельского авлакогена (*в* – прикамская, *г* – надеждинская свиты; количество столбцов в ячейке элемента здесь и далее соответствует количеству изученных образцов)

ванных образцах из четырех содержание Pb также выше 10 г/т. Абсолютное содержание U во всех образцах ниже 10 г/т, тогда как для Nb, Th, Sc установлено как более низкое, чем 10 г/т, так и более высокое содержание. С учетом сказанного выше «короткие спектры» элементов-примесей в ТОП бакальской и надеждинской свит также вполне сопоставимы друг с другом.

Авзянская и ольховская свиты среднего рифея представлены в проанализированной нами коллекции, соответственно, 8 и 13 образцами. В подавляющем количестве образцов глинистых сланцев авзянской свиты Башкирского мегантиклинория абсолютное содержание Zr, Rb, Ba и Cr составляет более 100 г/т (рис. 99, *а*). Содержание в интервале 10–100 г/т характерно для Nb, Th, Sr, La, Ce, Sc, Y, Ni, V; в то же время в отдельных образцах содержание Sr и V превышает 100 г/т. Содержание U во всех образцах глинистых сланцев авзянской свиты меньше 10 г/т, а для Pb наблюдается концентрация как выше, так и ниже указанного уровня.

В алевритистых аргиллитах ольховской свиты только для Ba в большинстве проанализированных образцов установлено абсолютное содержание выше 100 г/т; в одном образце содержание Ba превышает 1000 г/т (см. рис. 99, *б*). Zr, Sr, Rb имеют в тонкозернистых обломочных породах данного уровня абсолютное содержание и несколько выше, и несколько ниже 100 г/т. В отдельных образцах наблюдается такое же превышение для Cr и V. Элементы La, Ce, Sc, Y, Ni во всех изученных образцах характеризуются содержанием в интервале 10–100 г/т. В большинстве образцов содержание Nb также выше 10 г/т. Меньше 10 г/т выявлено во всех образцах алевритистых аргиллитов ольховской свиты U, заметные вариации относительно указанного значения характерны также для Pb и Th. В целом «короткие спектры» абсолютной концентрации ряда элементов-примесей в тонкозернистых обломочных образованиях авзянской и ольховской свит в значительной мере сходны, различия же вызваны несколько меньшим и несколько бóльшим содержанием в первых, соответственно, Sr и Zr.

На рис. 100 показаны «короткие спектры» распределения элементов-примесей в ТОП ольховской свиты Камско-Бельского авлакогена и аргиллитах юрской формации Tordillo (запад Аргентины) (Spalletti et al., 2008). Это принципиально разные (во всяком случае по составу пород в источниках сноса) образования, и, соответственно, они различаются абсолютным содержанием Nb, Pb, Zr, Rb, Ba, Y, Ni, Cr. Сопоставление же «коротких спектров» элементов-примесей в ТОП бирьянской подсвиты зильмердакской свиты и усинской свите, а также в глинистых сланцах и алевритистых аргиллитах бедерышинской подсвиты зильмердакской свиты и приютовской свиты вновь указывает на их сходство.

10.2. СОПОСТАВЛЕНИЕ «ДЛИННЫХ СПЕКТРОВ»

Здесь мы остановимся на сопоставлении «длинных спектров» в глинистых сланцах и алевритистых аргиллитах только трех коррелируемых друг с другом уровней: 1) усинской свиты (4 образца) Камско-Бельского авлакогена и бирьянской подсвиты зильмердакской свиты (9 образцов) верхнего рифея Башкирского мегантиклинория; 2) приютовской свиты (4 образца) и бедерышин-

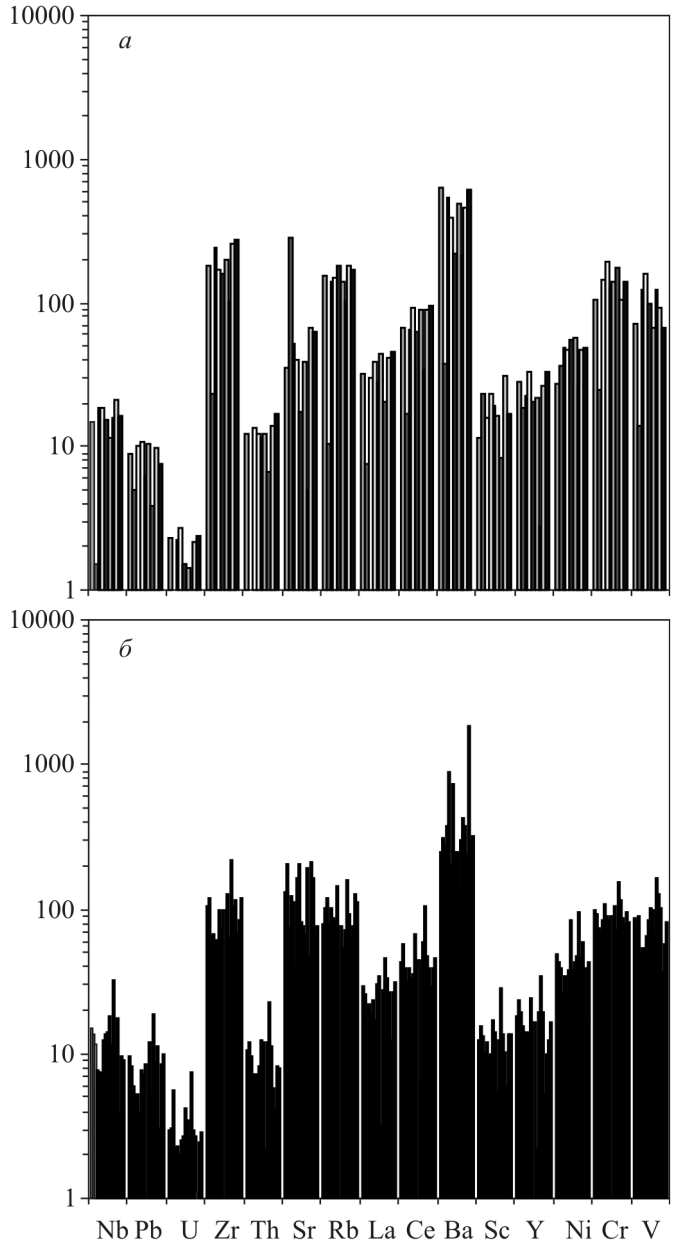


Рис. 99. «Короткие спектры» абсолютного содержания (г/т) элементов-примесей в тонкозернистых обломочных породах среднего рифея Башкирского мегантиклинория (*а* – авзянская свита) и Камско-Бельского авлакогена (*б* – ольховская свита)

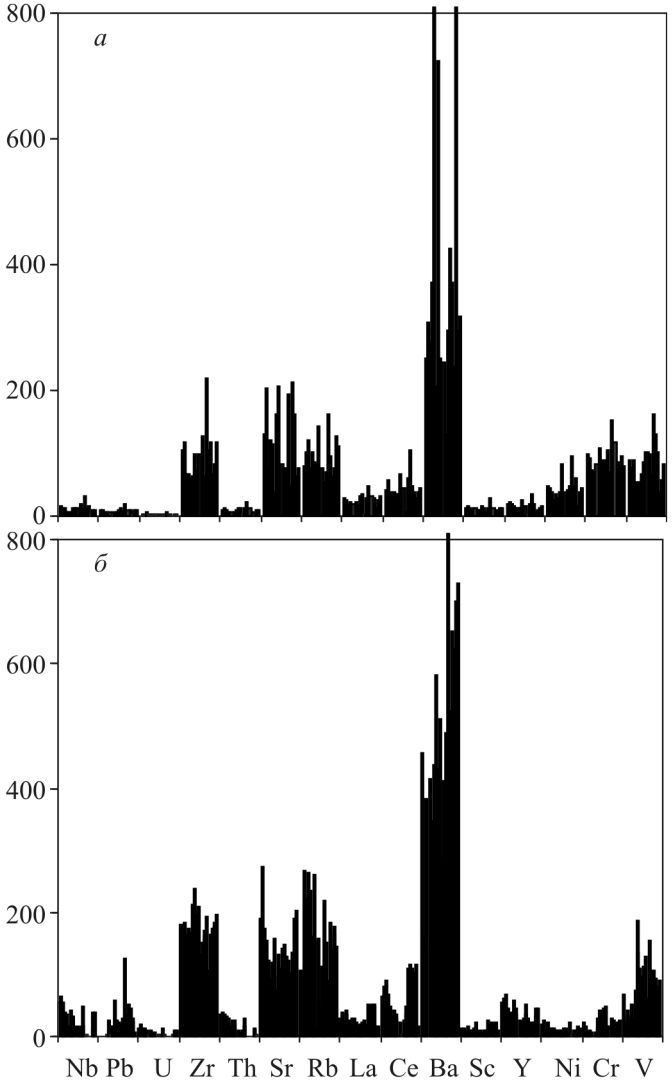


Рис. 100. «Короткие спектры» абсолютного содержания (г/т) элементов-примесей в тонкозернистых обломочных породах ольховской свиты серафимовской серии Камско-Бельского авлакогена (*а*) и формации Tordillo (*б*)

ской подсвиты зильмердакской свиты (7 образцов); 3) карлинской свиты венда Шкаповско-Шиханской впадины (9 образцов) и зиганской свиты Башкирского мегантиклинория (7 образцов).

Как отмечено выше, на основе «коротких спектров» ТОП бирьянской подсвиты и усинской свиты достаточно похожи. При рассмотрении же «длинных спектров» наиболее отчетливо выраженными общими особенностями тонкозернистых обломочных пород обоих сопоставляемых объектов служат высокое содержание Ba (~400 г/т и более), достаточно сопоставимые между собой значения абсолютного содержания Be, Sc, Co, Ga, Y, Nb, Mo, Cs, а также всех элементов от La до U (рис. 101). Есть, однако, и определенные отличия. Так, во-первых, абсолютное содержание Zr в значительном количестве образцов глинистых сланцев бирьянской подсвиты зильмердакской свиты превосходит 200 г/т, тогда как во всех проанализированных нами алевритистых аргиллитах усинской свиты оно меньше 200 г/т. Во-вторых, абсолютная концентрация Rb в глинистых сланцах бирьянской подсвиты варьируется в пределах 140–330 г/т, а в алевритистых аргиллитах усинской свиты максимальное содержание Rb не превышает 130 г/т. В-третьих, только отдельные образцы ТОП бирьянского уровня каратавия характеризуются абсолютным содержанием Zn более 50 г/т; во всех четырех образцах алевритистых аргиллитов усинской свиты содержание Zn выше 60 г/т. В-четвертых, в двух из четырех образцов усинских алевритистых аргиллитов содержание Mn превышает 500 г/т, тогда как глинистые сланцы бирьянской подсвиты в большинстве случаев имеют существенно более низкое абсолютное содержание данного элемента. В-пятых, в тонкозернистых обломочных породах усинского уровня максимальное содержание Cr составляет ~100 г/т, в глинистых же сланцах бирьянской подсвиты (в 6 из 9 образцов) содержание Cr превышает 100 г/т (в одном образце достигает почти 350 г/т). Наконец, в-шестых, во всех четырех образцах усинской свиты абсолютное содержание V меньше 100 г/т, в то же время в 7 из 9 образцов глинистых сланцев бирьянской подсвиты зильмердакской свиты содержание V превышает 100 г/т, а в одном образце составляет ~200 г/т.

ТОП бедерышинской подсвиты зильмердакской свиты Башкирского мегантиклинория и коррелируемой с ней приютовской свиты Камско-Бельского авлакогена достаточно сопоставимы между собой по абсолютному содержанию Be, Sc, V, Cr, Mn, Co, Ni, Cu, Zn, Ga, Y, Zr, Nb, Cs, Ba, а также почти всех редкоземельных элементов, Th и U (рис. 102). Содержание Rb в ТОП бедерышинской подсвиты примерно в 1.5 раза выше, чем в ТОП приютовского уровня, тогда как содержание Sr, напротив, несколько ниже в тонкозернистых обломочных образованиях верхней части зильмердакской свиты.

Алевритистые аргиллиты и аргиллиты карлинской и зиганской свит, на первый взгляд, в достаточной степени сопоставимы друг с другом по содержанию Ni, Zn, Rb, Zr, Ba, Th и еще ряда элементов-примесей (рис. 103). Однако внимательное рассмотрение имеющихся в нашем распоряжении результатов показывает, что распределяются даже перечисленные элементы в ТОП карлинской свиты неравномернее, чем в сходных с ними по гранулометрическому составу породах зиганского уровня западного склона Южного Урала (см. врезки на рис. 103). ТОП карлинской свиты имеют в существенном количестве проанализированных нами образцов более высокое содержание Cr и Sr.

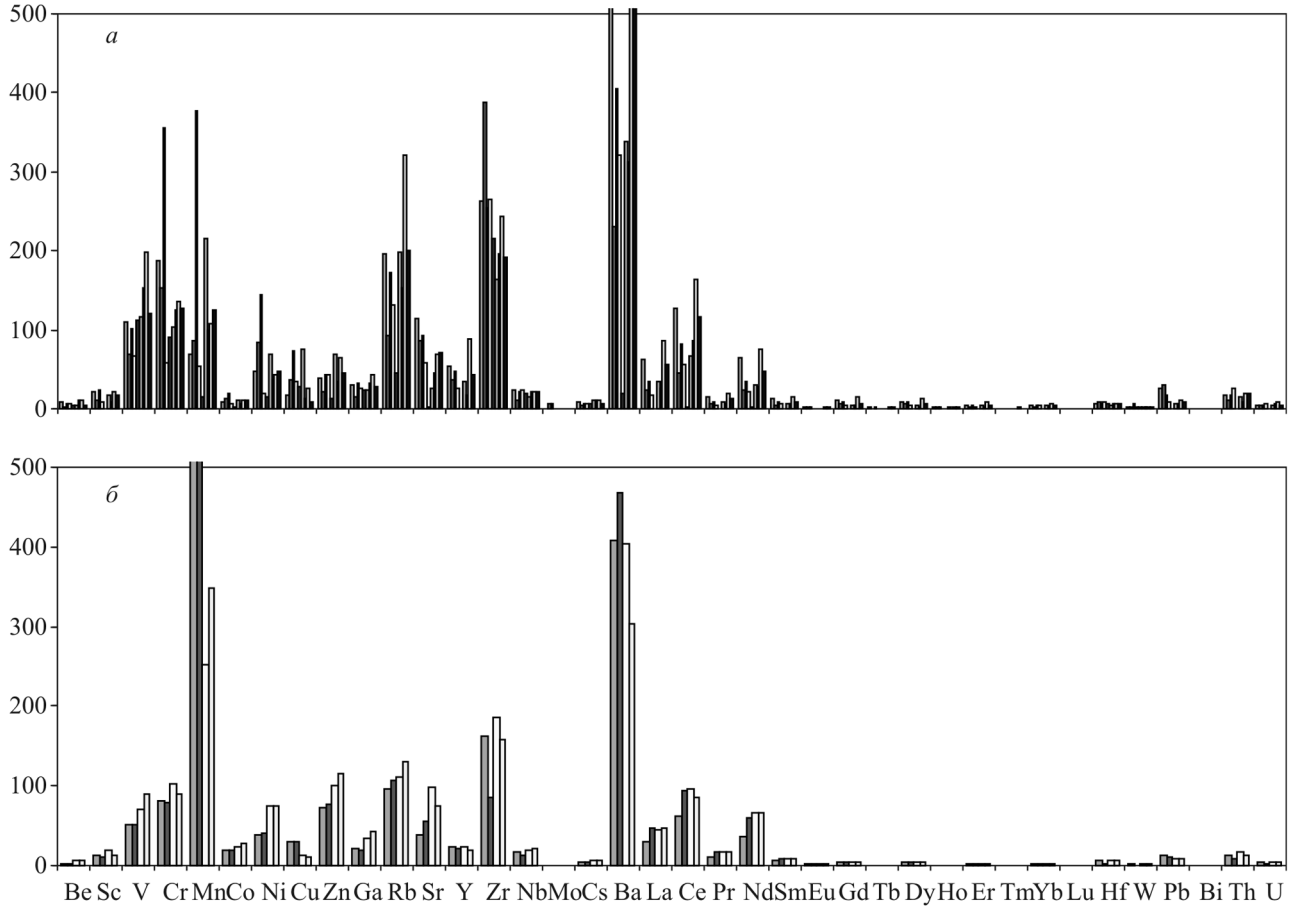


Рис. 101. «Длинные спектры» абсолютного содержания (г/т) элементов-примесей в тонкозернистых обломочных породах верхнего рифея Башкирского мегантиклинория (*а* – бирьянская подсвита зильмердакской свиты) и Камско-Бельского авлакогена (*б* – усинская свита)

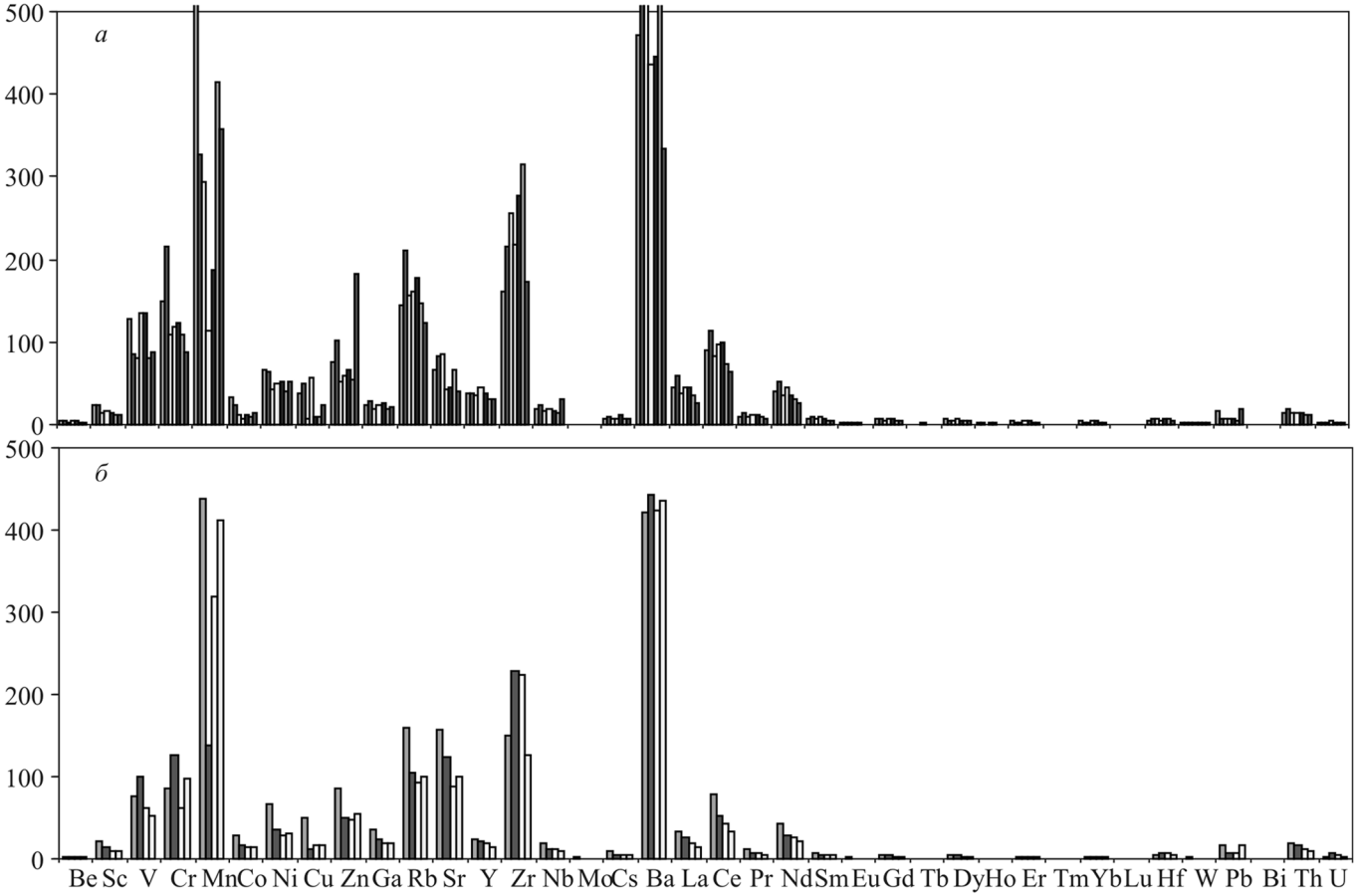


Рис. 102. «Длинные спектры» абсолютного содержания (г/т) элементов-примесей в тонкозернистых обломочных породах верхнего рифея Башкирского мегантиклинория (*а* – бедерышинская подсвита зильмердакской свиты) и Камско-Бельского авлакогена (*б* – приютовская свита)

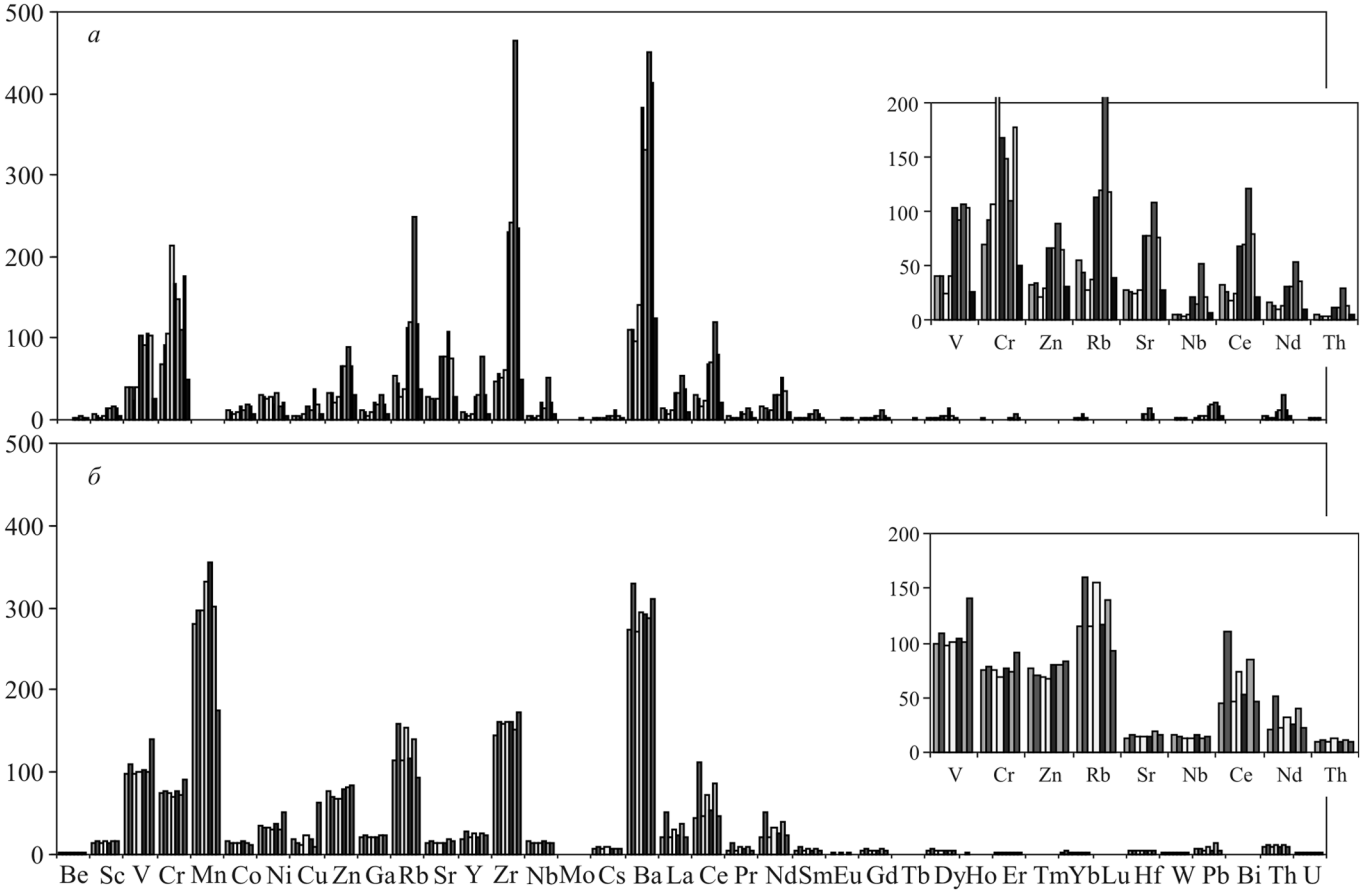


Рис. 103. «Длинные спектры» абсолютного содержания (г/т) элементов-примесей в тонкозернистых обломочных породах карлинской свиты венда Шкаповско-Шиханской впадины (*а*) и зиганской свиты Башкирского мегантиклинория (*б*).

На врезках – фрагменты спектров в увеличенном масштабе

Чтобы исключить сомнения в том, что указанные различия контролируются не особенностями распределения элементов-примесей в верхней континентальной коре (т.е. их кларками), а реальными геологическими ситуациями (в основном составом пород в областях размыва), нами проанализированы аналогичные по набору элементов-примесей «длинные спектры» тонкозернистых обломочных пород разных литостратиграфических подразделений рифея Учуро-Майского региона и Енисейского кряжа, а также алевритистых аргиллитов и глин юры и мела Западно-Сибирского мегабассейна (для этого использованы результаты, положенные в основу ряда наших предшествующих публикаций (Маслов, 2007б; Маслов, Алексеев, 2007; Маслов и др., 2007а, 2007б; Геохимия…, 2008; Федоров и др., 2007)).

Так, ТОП неруенской (8 образцов) и удерейской (9 образцов) свит рифея Учуро-Майского региона и чividинской (5 образцов) свиты Енисейского кряжа характеризуются как общими особенностями, так и отличиями. Абсолютное содержание Be, Sc, Co, Ni, Zn, Ga, Mo, Cs, Pr, Sm, Eu, Gd, Tb, Dy, Ho, Er, Tm, Yb, Lu, Hf, W, Bi, Th в породах всех названных литостратиграфических единиц составляет меньше, а часто и много меньше 50 г/т (рис. 104). В то же время в глинистых сланцах чividинской свиты Енисейского кряжа только Ni, Y, Nb, Pb присутствуют как в большей, так и в меньшей, чем 50 г/т, концентрации. Сходная ситуация наблюдается для Ni и Y и в глинистых сланцах неруенской свиты Учуро-Майского региона, однако содержание Nb и Pb в них меньше 50 г/т. Максимально высокое абсолютное содержание в тонкозернистых обломочных породах всех трех рассматриваемых свит рифея характерно только для Ba. Абсолютное содержание Mn в значительном количестве проанализированных нами образцов глинистых сланцев удерейской и чividинской свит также достаточно высокое, но в нашем распоряжении нет информации о содержании Mn в ТОП неруенской свиты.

Достаточно высокое (но в целом весьма варьирующееся) абсолютное содержание характерно для Zr. Так, в глинистых сланцах неруенской и удерейской свит оно в основном попадает в интервал 200–300 г/т, хотя в ряде образцов неруенской свиты наблюдается содержание Zr на уровне 350–380 г/т. В тонкозернистых обломочных породах чividинской свиты минимальное содержание Zr составляет примерно 140 г/т, тогда как максимальное превышает 500 г/т. Абсолютное содержание V в глинистых сланцах неруенской свиты варьируется от ~90 до 270 г/т, при этом в большинстве образцов концентрация V находится в пределах 100–200 г/т. В глинистых сланцах удерейской и чividинской свит минимальное содержание V в имеющейся у нас выборке составляет ~175 г/т, максимальное же превышает 400 г/т.

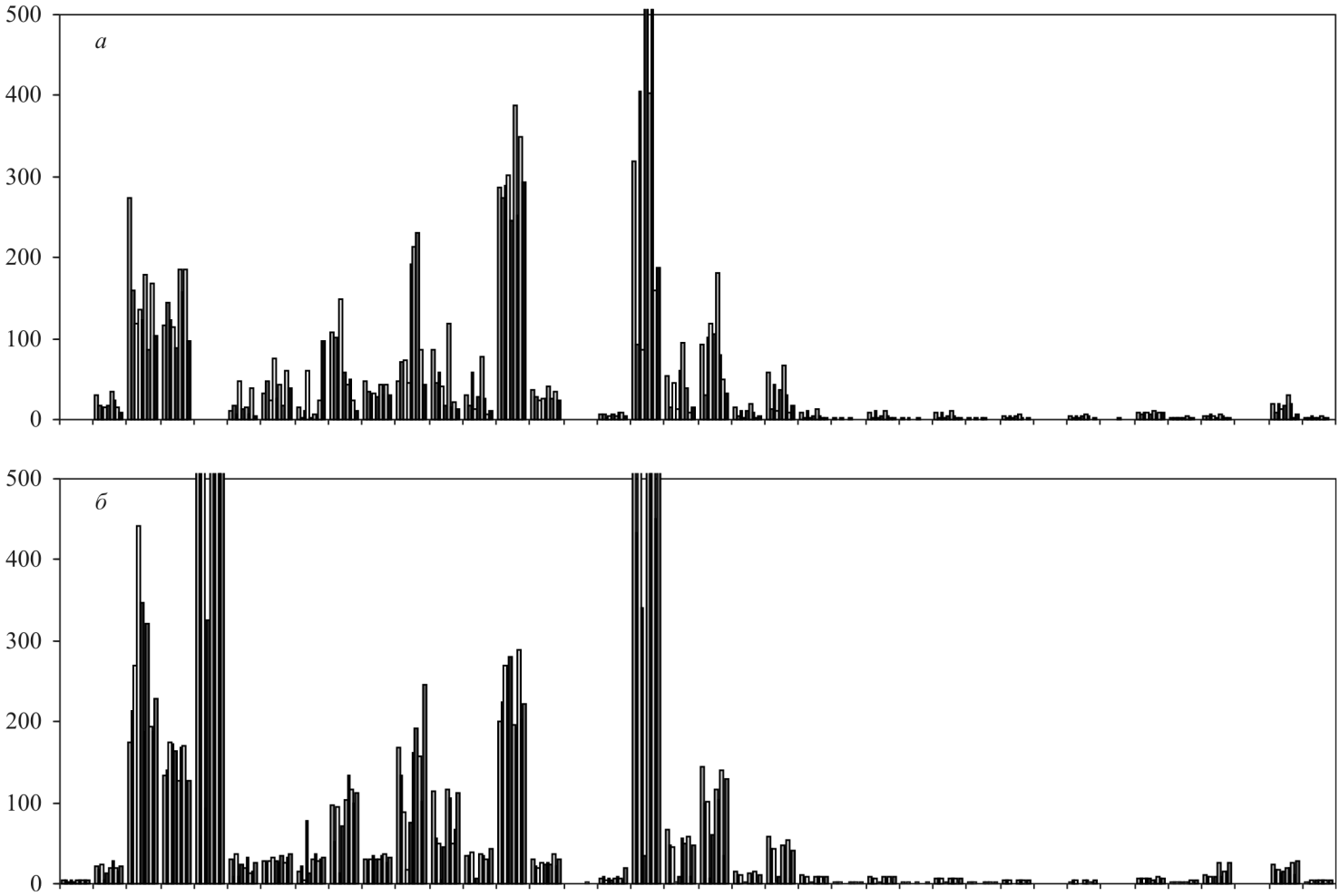
Большинство образцов глинистых сланцев неруенской свиты характеризуется содержанием Rb менее 100 г/т, тогда как в трех из них концентрация указанного элемента составляет ~200 г/т. Примерно третья часть образцов глинистых сланцев удерейского уровня, по имеющейся у нас информации, обладает абсолютным содержанием Rb менее 100 г/т, для другой трети образцов характерна концентрация Rb в интервале 100–200 г/т; максимальное же содержание Rb в ТОП данного уровня составляет ~245 г/т. Примерно такое же распределение абсолютного содержания Rb отличает глинистые сланцы чividинской свиты. Максимальное содержание Rb в них равно 430 г/т. Содержание Cr в одном из пяти образцов глинистых сланцев чividинской свиты составляет

~245 г/т, еще в одном превышает 300 г/т, тогда как в трех других варьируется в пределах 110–175 г/т. В тонкозернистых обломочных породах удерейской свиты во всех 9 проанализированных образцах содержание Cr варьируется в интервале 125–175 г/т. Основная же часть образцов неруенской свиты характеризуется абсолютным содержанием Cr в пределах 85–145 г/т, только в двух из них концентрация Cr приближается к 180 г/т. Приведенные примеры показывают, что ТОП разных свит рифея имеют многочисленные черты сходства, но в то же время обнаруживают и ряд существенных различий, что обусловлено, на наш взгляд, различиями в составе источников сноса и обстановках их формирования.

Общей чертой «длинных спектров» абсолютной концентрации элементов-примесей в тонкозернистых обломочных породах юры (пласт $ЮВ_2$) и мела (пласт $БВ_{6\text{-}7}$) Северо-Покачевского месторождения Широтного Приобья (Западная Сибирь) можно считать весьма высокое абсолютное содержание в большинстве проанализированных образцов Ba (более 500 г/т) и Mn (от 300–350 до 500 г/т и более) и весьма низкую концентрацию Sc, Co, Ni, Cu, Ga, Y, Nb, Mo, Cs, La, Pr, Nd, Sm, Eu, Gd, Tb, Dy, Ho, Er, Tm, Yb, Lu, Hf, W, Pb, Bi, Th, U (рис. 105). Содержание V в алевритистых аргиллитах пласта $БВ_{6\text{-}7}$ варьируется в интервале 90–270 г/т, а в алевроаргиллитах пласта $ЮВ_2$ находится в пределах 60–210 г/т. Содержание Cr в ТОП пласта $ЮВ_2$ составляет 85–170 г/т, а в некоторых образцах тонкозернистых обломочных образований пласта $БВ_{6\text{-}7}$ превышает 500 г/т. Наконец, абсолютное содержание Sr в алевритоглинистых породах пласта $БВ_{6\text{-}7}$ изменяется от 150 до 500 г/т и более, в аналогичных же по гранулометрическому составу породах пластах $ЮВ_2$ минимальная концентрация Sr – 160 г/т, тогда как максимальная – лишь немного превышает 300 г/т. Таким образом, будучи сходны в значительном количестве показателей, проанализированные ТОП имеют и ряд существенных различий, что вызвано, как и для рассмотренных выше глинистых сланцев рифея Учуро-Майского региона и Енисейского кряжа, вероятно, различиями в составе источников сноса и обстановках накопления осадков.

10.3. СРАВНЕНИЕ МЕДИАННЫХ ЗНАЧЕНИЙ РЯДА ИНДИКАТОРНЫХ ОТНОШЕНИЙ ЭЛЕМЕНТОВ-ПРИМЕСЕЙ

Для тонкозернистых обломочных образований айской, прикамской, саткинской, калтасинской, бакальской, надеждинской, авзянской и ольховской свит, а также бирьянской подсвиты зильмердакской свиты и усинской свиты, бедерышинской подсвиты зильмердакской свиты и приютовской свиты рассчитаны и попарно сопоставлены медианные значения ряда индикаторных отношений элементов-примесей (Th/Sc, Th/Cr, La/Sc, Co/Hf, Ce/Cr, La/Sm, La_N/Yb_N, Gd_N/Yb_N, Eu/Eu*) (рис. 106–108). При этом рассматриваемые индикаторные отношения условно считались различающимися при расхождении их значений более чем на 25%, при расхождении 10–25% они относились к категории достаточно сопоставимых, а при расхождении менее 10% указанные отношения принимались как сопоставимые. В результате анализа установлено, что глинистые сланцы и алевритистые аргиллиты айской и прикамской свит характеризуются сопоставимыми медианными значениями таких индикаторных


500
400
300
200
100
0
а
500
400
300
200
100
0
б

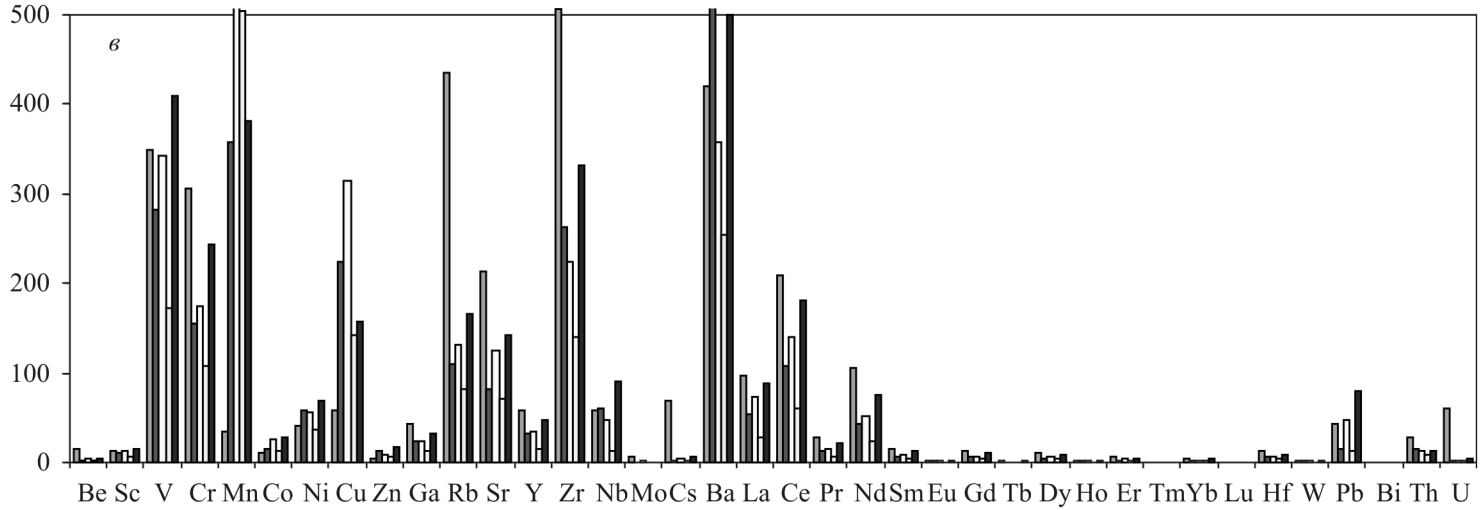


Рис. 104. «Длинные спектры» абсолютного содержания (г/т) элементов-примесей в тонкозернистых терригенных породах рифея Учуро-Майского региона и Енисейского кряжа.

Свиты: *а* – неруенская; *б* – удерейская; *в* – чividинская

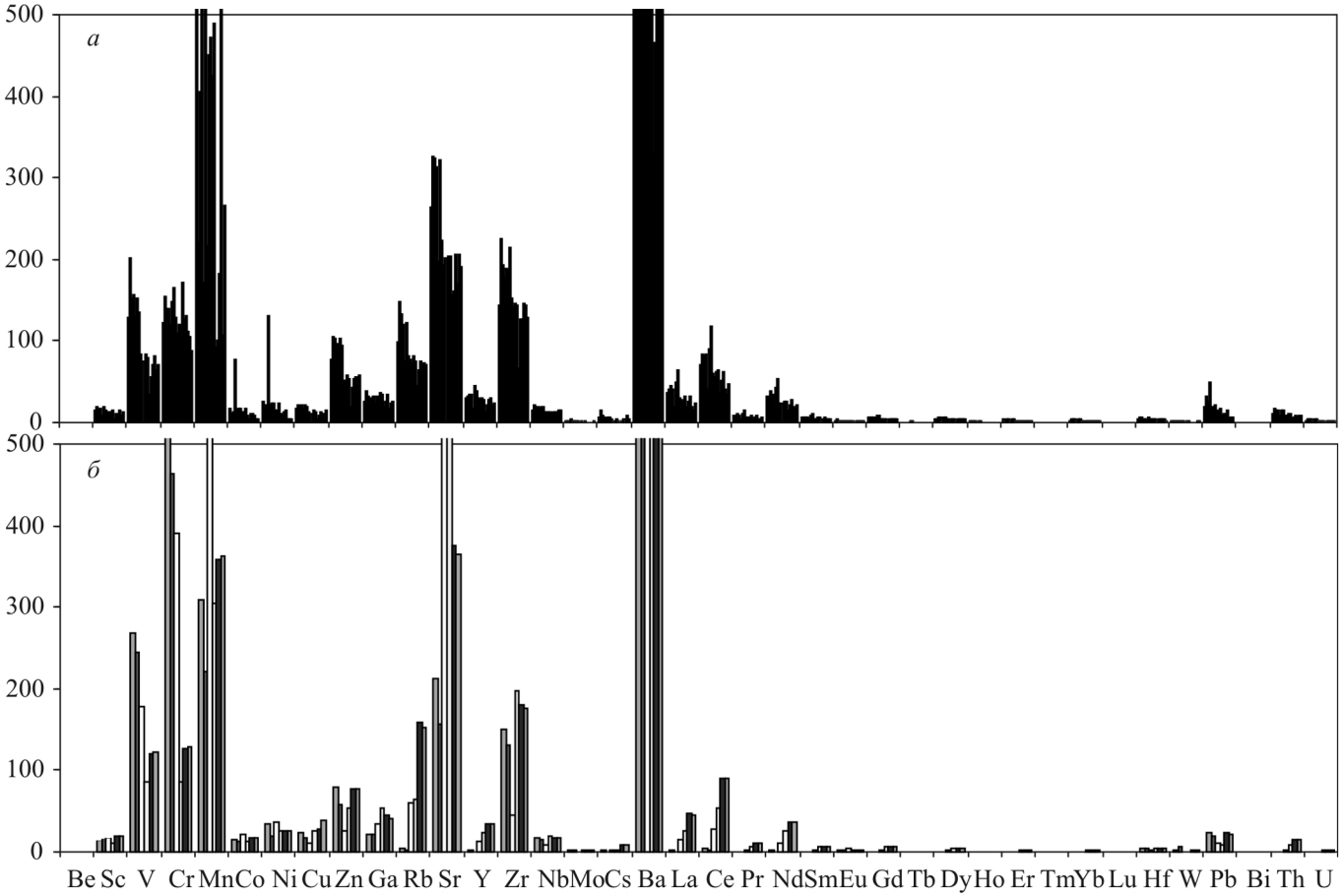


Рис. 105. «Длинные спектры» абсолютного содержания (г/т) элементов-примесей в тонкозернистых терригенных юры и мела Северо-Покачевского месторождения Широтного Приобья.

Пласты: *а* – $ЮВ_2$; *б* – $БВ_{6\text{-}7}$

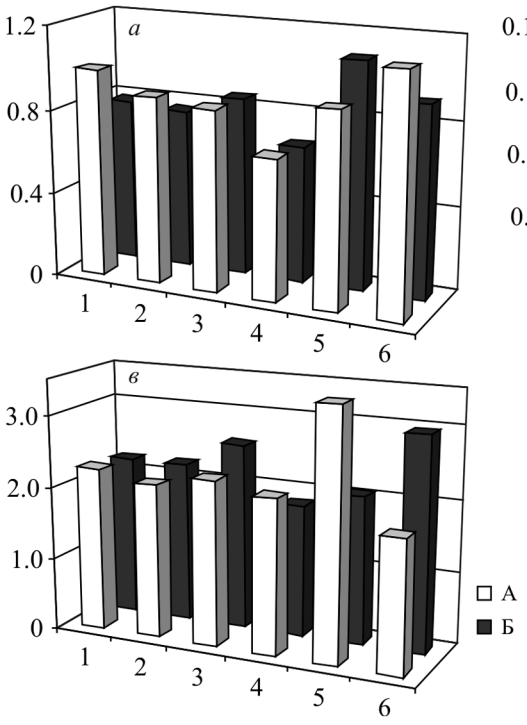


Рис. 106. Медианные значения индикаторных отношений Th/Sc (*а*), Th/Cr (*б*) и La/Sc (*в*) в тонкозернистых обломочных породах рифея (А – Камско-Бельский авлакоген; Б – Башкирский мегантиклинорий).

Уровни: *1* – айско-прикамский; *2* – саткинско-калтасинский; *3* – бакальско-надеждинский; *4* – авзянско-ольховский; *5* – бирьянско-усинский; *6* – бедерышинско-приютовский

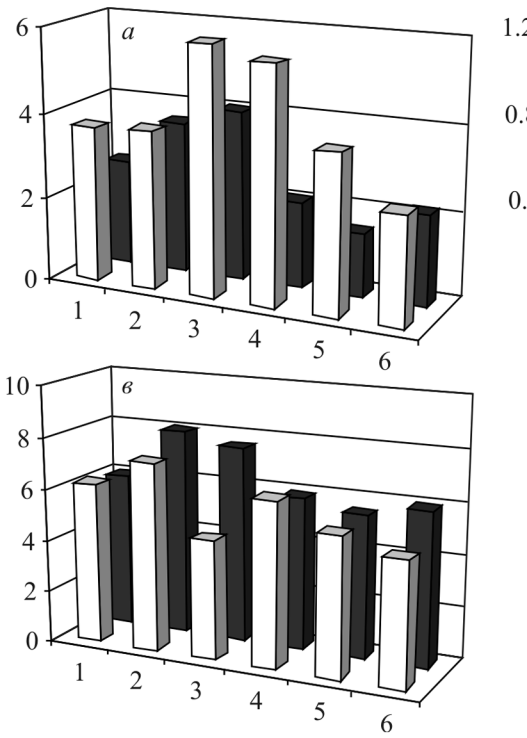


Рис. 107. Медианные значения индикаторных отношений Co/Hf (*а*), Ce/Cr (*б*) и La/Sm (*в*) в тонкозернистых обломочных породах рифея Камско-Бельского авлакогена и Башкирского мегантиклинория.

Условные обозначения см. на рис. 106

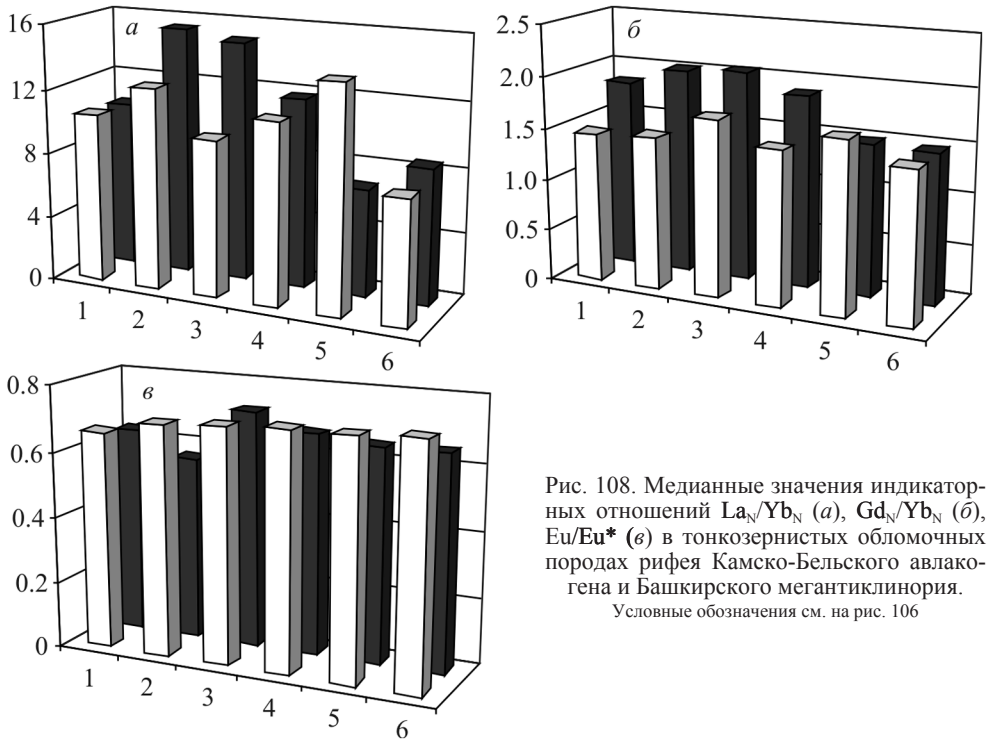


Рис. 108. Медианные значения индикаторных отношений La_N/Yb_N (*а*), Gd_N/Yb_N (*б*), Eu/Eu* (*в*) в тонкозернистых обломочных породах рифея Камско-Бельского авлакогена и Башкирского мегантиклинория.
Условные обозначения см. на рис. 106

отношений элементов-примесей, как La/Sc, Ce/Cr, La/Sm, La_N/Yb_N, а также отрицательной европиевой аномалии. В то же время медианные значения отношений Th/Sc, Th/Cr, Co/Hf и параметра Gd_N/Yb_N в них различаются более чем на 25%, т.е. считаются в нашей классификации различающимися.

Для тонкозернистых алюмосиликокластических пород саткинской и калтасинской свит складывается иная картина. Рассматриваемые образования сопоставимы всего лишь по трем индикаторным отношениям: La/Sc, Co/Hf, La/Sm. Медианные значения Th/Sc и La_N/Yb_N в них принадлежат к категории достаточно сопоставимых, а все остальные отношения относятся к категории различающихся. Последнее особенно ярко проявлено для Gd_N/Yb_N и значения отрицательной Eu-аномалии (соответственно, 2.00 и 1.48, 0.56 и 0.70). Тонкозернистые терригенные породы бакальской и надеждинской свит также сопоставимы всего по трем исследуемым нами параметрам, но это иные параметры, нежели в рассмотренном выше случае. Только два индикаторных отношения (La/Sc и Gd_N/Yb_N) принадлежат здесь к категории достаточно сопоставимых, наибольшие же отличия наблюдаются для медианных значений отношений La_N/Yb_N, и La/Sm (соответственно, 14.87 и 9.72, 7.61 и 4.61).

Глинистые сланцы и алевроаргиллиты авзянской и ольховской свит сопоставимы по медианным значениям отношений Th/Sc и La_N/Yb_N. Еще три индикаторных отношения (La/Sc, Gd_N/Yb_N и La/Sm) и параметр Eu/Eu* различаются для данной пары литостратиграфических единиц рифея менее чем на 25%. Достаточные же различия наблюдаются при сопоставлении медианных значений Th/Cr, Ce/Cr, Co/Hf.

В следующей сравниваемой паре – бирьянской подсвите зильмердакской свиты и усинской свите – тонкозернистые обломочные образования достаточно различны по четырем параметрам. Так, медианное значение Co/Hf в ТОП усинской свиты почти в 2.5 раза выше, чем в глинистых сланцах бирьянской подсвиты. Примерно в 2 раза выше в них медианное значение La_N/Yb_N, а значения Ce/Cr и La/Sc выше, соответственно, в 1.61 и 1.67 раза. Для данной пары сопоставимы только значения Th/Cr и La/Sm. Глинистые же сланцы и алевритистые аргиллиты бедерышинской подсвиты зильмердакской свиты и приютовской свиты, как представляется, имеют больше черт сходства. И хотя в данном случае только один параметр (Gd_N/Yb_N) относится к категории сопоставимых, четыре других индикаторных показателя (Th/Sc, La_N/Yb_N, Co/Hf, La/Sm), а также параметр Eu/Eu* различаются не более чем на 25%.

Суммируя все сказанное, можно отметить, что по медианному значению Th/Sc достаточно различаются только тонкозернистые алюмосиликокластические образования айской и прикамской свит, аналогичные по гранулометрическому составу породы всех других коррелируемых литостратиграфических единиц рифея Башкирского мегантиклинория и Камско-Бельского авлакогена по данному параметру сопоставимы (или достаточно сопоставимы). Сходная ситуация установлена и для параметра La/Sm: его медианные значения в породах сравниваемых пар литостратиграфических единиц рифея оказались достаточно разными только в одном случае (бакальская и надеждинская свиты). Также только одна сопоставляемая пара свит (саткинская и калтасинская) имеет достаточные различия по величине отрицательной европиевой аномалии.

По медианным значениям Th/Cr глинистые сланцы и алевроаргиллиты бакальской и надеждинской свит, а также бирьянской подсвиты и усинской свиты относятся к категории сопоставимых, тогда как остальные сравниваемые подразделения по данному параметру достаточно различны. Медианные значения La/Sc в тонкозернистых алюмосиликокластических породах нижнего рифея сопоставимы, а в породах среднего рифея – достаточно сопоставимы.

По значению La_N/Yb_N достаточно различны глинистые сланцы и алевритистые аргиллиты бакальской и надеждинской свит, а также бирьянской подсвиты зильмердакской свиты и усинской подсвиты. Тонкозернистые терригенные породы айской и прикамской, а также авзянской и ольховской свит относятся к категории сопоставимых. Напротив, по значениям Gd_N/Yb_N исходно глинистые и алевритоглинистые породы айской и прикамской, а также саткинской и калтасинской свит следует рассматривать как достаточно различные, в то время как к категории сопоставимых принадлежат только ТОП бедерышинской подсвиты зильмердакской свиты и приютовской свиты.

Наконец, от четырех до пяти сопоставляемых пар литостратиграфических подразделений рифея Башкирского мегантиклинория и Камско-Бельского авлакогена характеризуются достаточными различиями по медианным значениям Ce/Cr и Co/Hf. По обоим названным параметрам значимо различаются тонкозернистые обломочные породы бакальской и надеждинской, авзянской и ольховской свит, а также бирьянской подсвиты зильмердакской свиты и усинской свиты.

10.4. СОДЕРЖАНИЕ РЯДА ЭЛЕМЕНТОВ-ПРИМЕСЕЙ В ТОНКОЗЕРНИСТЫХ ОБЛОМОЧНЫХ ПОРОДАХ РИФЕЯ И В МАГМАТИЧЕСКИХ ПОРОДАХ – ВОЗМОЖНЫХ ИСТОЧНИКАХ СНОСА

В качестве объектов для сравнения содержания ряда элементов-примесей в ТОП рифея Башкирского мегантиклинория и Камско-Бельского авлакогена и возможных магматических породах источников сноса нами использованы среднепротерозойские базальты ($PR_2\beta$) и протерозойские граниты ($PR\gamma$) (Condie, 1993).

Нормирование содержания ряда элементов-примесей в ТОП на содержание их в среднепротерозойских базальтах показывает, что и глинистые сланцы айской, и алевритистые аргиллиты прикамской свит в значительной степени обогащены (по сравнению с базальтами) Nb (соответственно, 4.45 и $3.35\times PR_2\beta$), U, Th (5.45 и $3.65\times PR_2\beta$), Rb и La (рис. 109, *а*, *б*). В тонкозернистых обломочных породах айского уровня содержится также существенно больше, чем в базальтах, Ce ($2.9\times PR_2\beta$)[22] и Ba ($1.69\times PR_2\beta$); в алевритистых аргиллитах же прикамской свиты содержание двух указанных элементов ниже (1.26 и $0.77\times PR_2\beta$). Меньше (или заметно меньше) в ТОП обоих уровней концентрация Sc (0.49 и $0.26\times PR_2\beta$), Y, Ti (0.49 и $0.35\times PR_2\beta$), Ni, Cr, V (0.35 и $0.30\times PR_2\beta$). Из сказанного очевидно, что тонкозернистые обломочные образования обоих литостратиграфических подразделений достаточно сопоставимы между собой.

Спектры распределения элементов-примесей в ТОП бакальской и надеждинской свит близки между собой и в целом сопоставимы со спектрами ТОП айской и прикамской свит (см. рис. 109, *в*, *г*). Здесь также заметно больше, чем в $PR_2\beta$, Nb (соответственно, 4.62 и $2.92\times PR_2\beta$), Th (6.19 и $4.62\times PR_2\beta$) и Rb (4.40 и $3.33\times PR_2\beta$), наблюдается существенный дефицит Sr, а концентрация Sc, Ti, V заметно ниже (соответственно, 0.51 и $0.38\times PR_2\beta$, 0.46 и $0.30\times PR_2\beta$, 0.38 и $0.29\times PR_2\beta$). В то же время в глинистых сланцах бакальской свиты отмечается гораздо более существенный, чем в аналогичных по гранулометрическому составу породах айской свиты, разброс содержания Pb.

Глинистые сланцы и алевритистые аргиллиты авзянской и ольховской свит также характеризуются достаточно сходными спектрами распределения нормированных на $PR_2\beta$ элементов-примесей (рис. 110). В то же время ряд образцов ТОП из разрезов ольховской свиты обнаруживает заметно более высокое, нежели в среднепротерозойских базальтах, содержание Ba, что нетипично как для подстилающих, так и для перекрывающих уровней рифея Камско-Бельского авлакогена.

Тонкозернистые обломочные породы бирьянской подсвиты зильмердакской свиты и усинской свиты демонстрируют весьма высокое общее сходство с ранее рассмотренными спектрами (рис. 111, *а*, *б*). Достаточно очевидно и сходство спектров друг с другом. Специфической же особенностью глинистых сланцев бирьянского уровня следует признать более высокую концентрацию

---

[22]Здесь и далее указываются сведения о медианном содержании в целом по тому или иному литостратиграфическому подразделению.

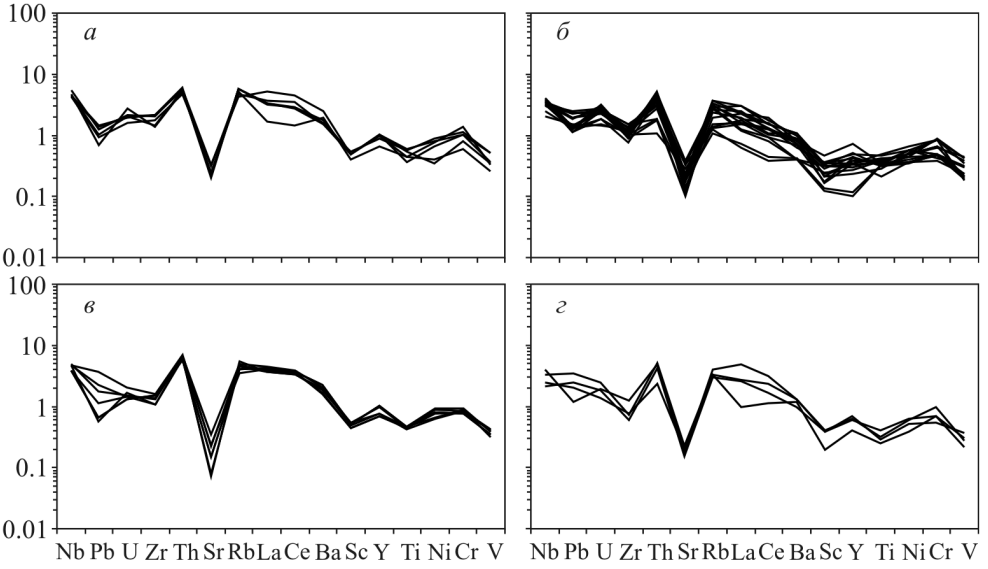


Рис. 109. Содержание элементов-примесей в индивидуальных образцах глинистых сланцев и алевритистых аргиллитов разных литостратиграфических уровней нижнего рифея Башкирского мегантиклинория и Камско-Бельского авлакогена, нормированное на их содержание в среднепротерозойских базальтах (по: Condie, 1993).

Свиты: *а* – айская; *б* – прикамская; *в* – бакальская; *г* – надеждинская

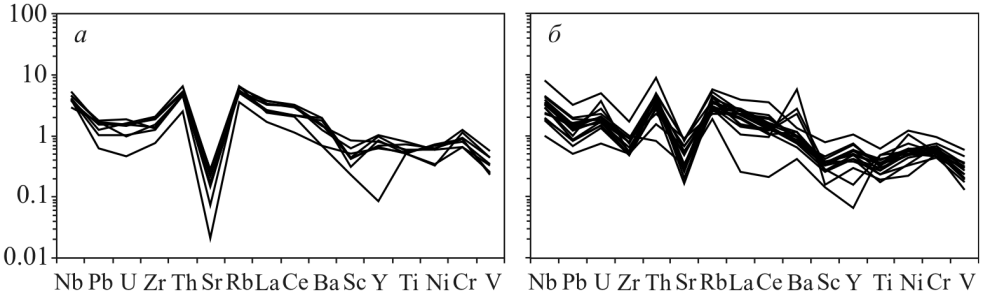


Рис. 110. Содержание элементов-примесей в индивидуальных образцах глинистых сланцев и алевритистых аргиллитов разных литостратиграфических уровней среднего рифея Башкирского мегантиклинория и Камско-Бельского авлакогена, нормированное на их содержание в среднепротерозойских базальтах (по: Condie, 1993).

Свиты: *а* – авзянская; *б* – ольховская

Y (1.21×$PR_2\beta$; ср.: 0.68×$PR_2\beta$ в случае с алевритистыми аргиллитами ольховской свиты) и варьирующееся (по сравнению с $PR_2\beta$) содержание Ni и Cr. Медианное содержание последнего в бирьянских глинистых сланцах (относительно $PR_2\beta$) составляет 0.83, тогда как в ТОП усинского уровня рассматриваемый параметр снижается до 0.54. Интересно также, что ТОП обоих литостратиграфических подразделений характеризуются максимально высоким (относительно среднепротерозойских базальтов) медианным содержанием Nb (соответственно, 5.52×$PR_2\beta$ и 4.47×$PR_2\beta$).

В целом формы нормированных на $PR_2\beta$ спектров элементов-примесей в тонкозернистых обломочных породах бедерышинской подсвиты зильмердакской свиты и приютовской свиты как будто бы сходны друг с другом и спектрами в глинистых сланцах и алевритистых аргиллитах подстилающих уровней (см. рис. 111, *в*, *г*). Однако внимательное сопоставление показывает, что нормированное на $PR_2\beta$ медианное содержание Nb, Rb, La, Ce, Y, Ti в породах бедерышинского уровня заметно выше, чем в алевритистых аргиллитах приютовской свиты, тогда как последние характеризуются существенно более высоким содержанием Pb и Sr (0.47 против 0.28×$PR_2\beta$).

Таким образом, на основе анализа приведенных выше данных можно сделать достаточно обоснованный вывод о том, что при формировании всех рассмотренных нами осадочных последовательностей доминирования в источниках сноса пород основного состава не наблюдалось. По сравнению со среднепротерозойскими базальтами тонкозернистые обломочные породы всех проанализированных литостратиграфических единиц значительно обогащены элементами кислой специализации – Pb, Rb, U, Th, Ba (Интерпретация…, 2001), единственным же присутствующим в существенно повышенных концентрациях элементом основной специализации является Nb.

Нормирование содержания ряда элементов-примесей в ТОП разных уровней рифея Башкирского мегантиклинория и Камско-Бельского авлакогена на содержание их в протерозойских гранитах ($PR\gamma$) демонстрирует сходство спайдер-диаграмм (рис. 112–114), но при внимательном анализе ситуации можно увидеть и различие между ними в том или ином количестве деталей. Так, в глинистых сланцах айской свиты значения $C_{медиана}/C_{PR\gamma}$ для Nb, Zr, Rb, La, Ce, Ba, Sc, Y, Ti, Cr, V значительно (33–2.77 раз) выше, чем в аналогичных по гранулометрическому составу породах прикамской свиты. Примерно такая же ситуация характерна и для тонкозернистой алюмосиликокластики бакальского и надеждинского уровней нижнего рифея. В то же время здесь $C_{медиана}/C_{PR\gamma}$ для Pb и Sr в породах надеждинской свиты выше, чем в породах бакальской. Алевритистые аргиллиты ольховской свиты содержат Sr ~0.94×$PR\gamma$, тогда как в глинистых сланцах авзянской свиты этот параметр примерно в 3 раза ниже. Тонкозернистые терригенные породы бирьянской подсвиты зильмердакской свиты по сравнению с алевритистыми аргиллитами усинского уровня характеризуются варьирующимся, но в целом более высоким содержанием U (соответственно, 1.16 против 0.74×$PR\gamma$), Rb (1.19 и 0.69×$PR\gamma$), Y (0.89 и 0.50×$PR\gamma$), V и особенно Cr (7.28 и 4.72×$PR\gamma$). В то же время ТОП усинского уровня содержат несколько больше (при сопоставлении медианных значений) La (0.72 и 0.96×$PR\gamma$), Ce, Ba (0.49 и 0.54×$PR\gamma$) и Ni (3.13 и 3.83×$PR\gamma$). Глинистые сланцы бедерышинской подсвиты зильмердакской свиты в сопоставлении с протерозойскими гранитами обладают относительно ТОП приютовской

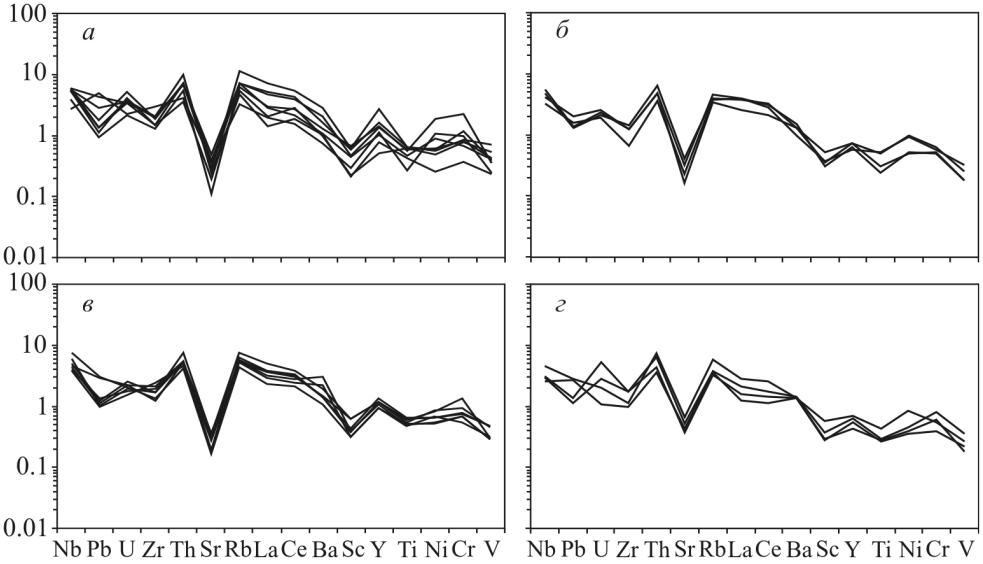


Рис. 111. Содержание элементов-примесей в индивидуальных образцах глинистых сланцев и алевритистых аргиллитов разных литостратиграфических уровней верхнего рифея Башкирского мегантиклинория и Камско-Бельского авлакогена, нормированное на их содержание в среднепротерозойских базальтах (по: Condie, 1993).

Свиты и подсвиты: *а* – бирьянская; *б* – усинская; *в* – бедерышинская; *г* – приютовская

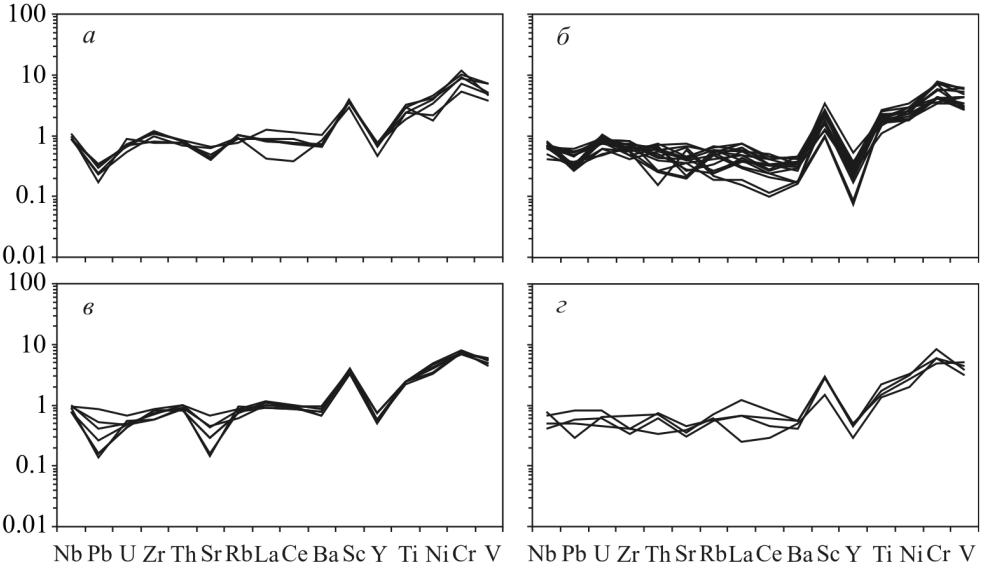


Рис. 112. Содержание элементов-примесей в индивидуальных образцах глинистых сланцев и алевритистых аргиллитов разных литостратиграфических уровней нижнего рифея Башкирского мегантиклинория и Камско-Бельского авлакогена, нормированное на их содержание в протерозойских гранитах (по: Condie, 1993).

Свиты: *а* – айская; *б* – прикамская; *в* – бакальская; *г* – надеждинская

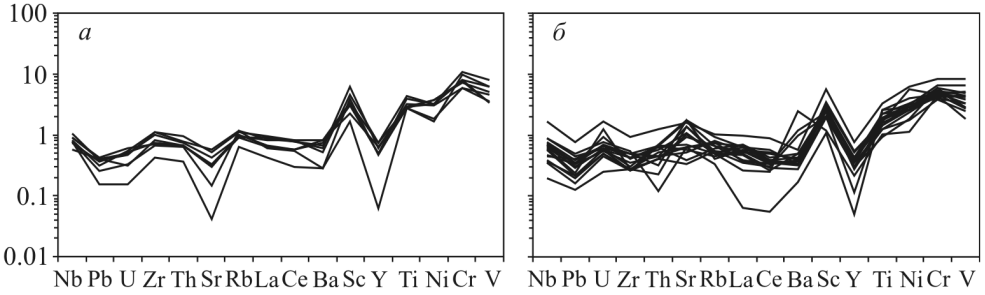


Рис. 113. Содержание элементов-примесей в индивидуальных образцах глинистых сланцев и алевритистых аргиллитов разных литостратиграфических уровней среднего рифея Башкирского мегантиклинория и Камско-Бельского авлакогена, нормированное на их содержание в протерозойских гранитах (по: Condie, 1993).

Свиты: *а* – авзянская; *б* – ольховская

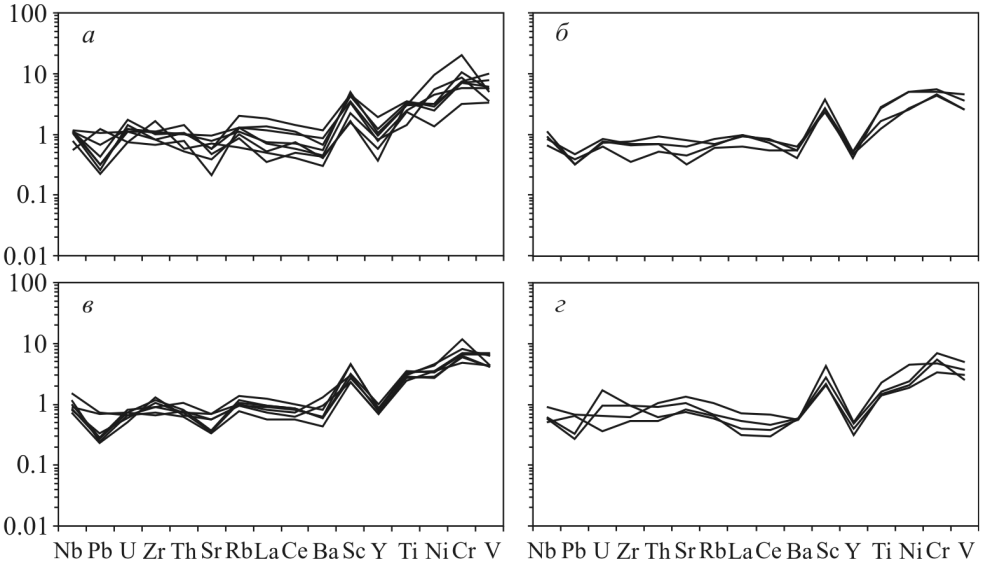


Рис. 114. Содержание элементов-примесей в индивидуальных образцах глинистых сланцев и алевритистых аргиллитов разных литостратиграфических уровней верхнего рифея Башкирского мегантиклинория и Камско-Бельского авлакогена, нормированное на их содержание в протерозойских гранитах (по: Condie, 1993).

Свиты и подсвиты: *а* – бирьянская; *б* – усинская; *в* – бедерышинская; *г* – приютовская

свиты более высоким медианным содержанием Nb (0.90 и 0.60×PRγ), Zr, Rb (1.01 и 0.66×PRγ), La (0.92 и 0.47×PRγ), Ce, Sc (2.97 и 2.47×PRγ), Y, Ti (2.95 и 1.55×PRγ), Ni, Cr (6.53 и 5.08×PRγ), V (4.41 и 3.44×PRγ). В целом же по сравнению с протерозойскими гранитами в глинистых сланцах и алевритистых аргиллитах последних четырех литостратиграфических единиц в более высокой концентрации присутствуют только Sc, Ti, Ni, Cr, V, т.е. элементы основной и ультраосновной специализации (Интерпретация…, 2001).

Изучение приведенного фактического материала позволяет сделать вывод о достаточно значимом сходстве микроэлементного состава ТОП коррелируемых литостратиграфических подразделений рифея Башкирского мегантиклинория и Камско-Бельского авлакогена (айская и прикамская свиты, бакальская и надеждинская свиты, авзянская и ольховская свиты и ряд других единиц разреза) и считать, что формирование их происходило вследствие смешения как основной, так и кислой алюмосиликокластики (это соотношение с течением времени несколько менялось, но в целом оставалось довольно постоянным). В то же время некоторые особенности состава глинистых сланцев и алевроаргиллитов рифея Башкирского мегантиклинория указывают на существование во время их накопления локальных источников сноса. Еще одно весьма важное следствие из выполненного сопоставления концентраций широкого спектра элементов-примесей в тонкозернистых обломочных породах рифея Башкирского мегантиклинория и Камско-Бельского авлакогена – вывод об отсутствии кардинальных различий в абсолютном содержании большинства элементов-примесей в породах, в разной степени преобразованных постседиментационными процессами.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Полученные в результате проведенного исследования данные свидетельствуют, что песчаники рифея и венда Волго-Уральской области различаются как по валовому химическому, так и по минералого-петрографическому составу, хотя и те, и другие представлены широким спектром разновидностей. Так, в соответствии с хорошо известными классификациями Ф.Дж. Петтиджона и М. Хиррона (основанными на данных о химическом составе терригенных пород) в разрезах рифея Камско-Бельского авлакогена преимущественно развиты литарениты, сублитарениты, субаркозы и аркозы, тогда как песчаники венда Шкаповско-Шиханской впадины принадлежат в основном к грауваккам, литаренитам и железистым песчаникам. По петрографическому составу песчаники рифея – это преимущественно лититовые аркозы, субаркозы, сублитарениты и кварцарениты; среди песчаников венда преобладают аркозы и лититовые их разности, субаркозы, литарениты и сублитарениты, а также полевошпатовые арениты (по классификации Ф.Дж. Петтиджона).

Тонкозернистые обломочные породы рифея и венда, как и песчаники, имеют несколько различающийся валовый химический состав. На диаграмме М. Хиррона фигуративные точки тех и других сконцентрированы в полях сланцев и вакк, однако ТОП венда присущи в целом несколько более высокие значения $Fe_2O_{3общ}/K_2O$. На диаграмме НКМ–ФМ фигуративные точки ТОП и рифея, и венда локализованы в основном в полях V и VI (глинистые породы, состоящие из хлорита, монтмориллонита и гидрослюды (поле V) и гидрослюдистые глинистые породы с примесью тонкодисперсных полевых шпатов (поле VI)). При этом у аргиллитов и глинистых сланцев рифея наблюдаются более широкие, чем у тонкозернистых обломочных пород венда, пределы изменения величины НКМ.

Сопоставление валового химического состава песчаников рифея и венда Волго-Уральской области с составом среднего протерозойского кратонного песчаника показало, что для прикамской свиты характерно повышенное содержание Al_2O_3, K_2O, P_2O_5, в то время как содержание TiO_2, $Fe_2O_{3общ}$, MgO, CaO, Na_2O значимо варьируется или имеет более низкие значения. В псаммитах надеждинской и тукаевской свит подавляющее количество породообразующих оксидов имеет как большее, так и меньшее, чем в СПКП, содержание. Для песчаников ольховской свиты характерна повышенная концентрация Al_2O_3, MgO, CaO, Na_2O, K_2O, P_2O_5. Почти во всех образцах пород усинской свиты содержание Al_2O_3, K_2O, P_2O_5 выше, чем в СПКП. В большинстве образцов из леонидовской свиты наблюдается повышенная концентрация Al_2O_3, Na_2O, K_2O, P_2O_5. Псаммиты приютовской свиты отличаются повышенным содержанием Al_2O_3, Na_2O, MgO, P_2O_5. Для песчаников байкибашевской, старопетровской и карлинской свит характерно более высокое, чем в СПКП, содержание оксидов титана, алюминия, железа, магния, натрия, калия, фосфора. Несколько менее широкий спектр оксидов с относительно высоким содержанием присущ салиховскому уровню.

Сопоставление содержания породообразующих оксидов в тонкозернистых обломочных породах с таковым же в PAAS позволило установить, что изученные нами аргиллиты и сланцы обогащены K_2O (прикамская, калтасинская и ольховская свиты), K_2O и MgO (надеждинская, тукаевская, усинская и приютовская свиты), но обеднены TiO_2 (надеждинская свита), TiO_2 и CaO (калтасинская и тукаевская свиты), TiO_2, CaO, P_2O_5 (прикамская свита), TiO_2 и $Fe_2O_{3общ}$ (усинский и приютовский уровни), TiO_2 и Al_2O_3 (каировская и шкаповская серии). В то же время иногда наблюдаются значительные колебания в содержании отдельных оксидов. Так, аргиллиты и сланцы тукаевской свиты характеризуются переменным количеством (больше или меньше PAAS) Al_2O_3, Na_2O и P_2O_5, аналогичные породы каировской и шкаповской серий – MgO, $Fe_2O_{3общ}$, K_2O.

Особенности распределения нормированного на PAAS содержания ряда элементов-примесей (Th, Ba, Rb, Hf, Ta, Y, Yb, La, Eu, Sc и др.) в тонкозернистых обломочных породах рифея Камско-Бельского авлакогена дают основание сделать вывод, что наибольшим сходством с постархейским средним австралийским сланцем обладают глинистые сланцы и аргиллиты надеждинского, тукаевского, усинского и приютовского уровней, тогда как породы двух нижних свит кырпинской серии имеют отчетливо более низкое, чем в PAAS, содержание Ba, Rb, Y, Yb. По сравнению со средним кратонным сланцем архея тонкозернистые обломочные образования всех свит рифея характеризуются почти на порядок более низким содержанием Cr, Ni, а в ряде случаев и Y. Большинство других микроэлементов в глинистых сланцах и мелкозернистых алевролитах нижнего и среднего рифея присутствуют в несколько меньших, чем в среднем архейском кратонном сланце, количествах. Для ТОП усинского уровня характерно более высокое, нежели в архейском кратонном сланце, содержание Th, Hf, Ta, La, Eu, а у сходных с ними по гранулометрическому составу пород приютовского уровня наблюдается более высокая концентрация только трех первых элементов.

Анализ изменения величины K_2O/Al_2O_3 в ТОП рифея Камско-Бельского авлакогена как на уровне медианных для свит значений, так и по индивидуальным образцам, показал, что низкая, свойственная литогенным глинам величина данного параметра характерна только для аргиллитов и глинистых сланцев ряда уровней кырпинской серии (вторая подсвита прикамской свиты, арланская подсвита калтасинской свиты). ТОП остальных литостратиграфических единиц рифейской мегапоследовательности характеризуются значениями K_2O/Al_2O_3, изменяющимися в интервале 0.35–0.40 (или выше), и обнаруживают устойчивую тенденцию к их росту вверх по разрезу. Это дает основания считать, что преобладающая часть тонкозернистой алюмосиликокластики в разрезе рифея Камско-Бельского авлакогена имеет петрогенную природу. Важно подчеркнуть, что по величине K_2O/Al_2O_3 тонкозернистые терригенные образования рифея упомянутого авлакогена существенно отличаются от аналогичных по гранулометрическому составу пород расположенного восточнее Башкирского мегантиклинория.

Дополнительным аргументом в пользу вывода о преимущественно петрогенной природе тонкой алюмосиликокластики служит наличие положительной корреляции между ТМ и ЖМ, с одной стороны, и отрицательной – между НКМ и ГМ, с другой, во всей выборке образцов глинистых сланцев и аргил-

литов рифейской мегапоследовательности. Вместе с тем при обращении к анализу корреляционных связей между названными модулями в выборках ТОП конкретных свит картина может быть более сложной.

Соотношения Zr/Sc и Th/Sc в песчаниках рифея и венда также подтверждают преимущественно петрогенный характер материала, слагающего осадочное выполнение Камско-Бельского авлакогена и Шкаповско-Шиханской впадины. Значительная часть образцов песчаников кырпинской, серафимовской, абдулинской, каировской и шкаповской серий на диаграмме Zr/Sc–Th/Sc сосредоточена в области тренда, определяемого исходным составом пород в областях размыва.

Поступавшая в Камско-Бельский авлакоген в течение почти всего рифея тонкая алюмосиликокластика характеризовалась относительно невысокой зрелостью, что предполагает отсутствие на палеоводосборах достаточно выраженных процессов химического выветривания. В сводном разрезе рифея росту значений K_2O/Al_2O_3 отвечает снижение величины CIA, что указывает на усиление тенденции к аридизации климата в областях эрозии к концу рифея. В целом эта тенденция сопоставима с изменением значений CIA в типовом разрезе рифея. Степень зрелости поступавшей на протяжении венда в бассейн тонкой алюмосиликокластики в байкибашевско-салиховское время снижалась, а в карлинское время не испытывала каких-либо значительных изменений. Из присущих ТОП каировской и шкаповской серий значений CIA, CIW и IVC следует, что степень зрелости кластики, поступавшей в венде в область осадконакопления, была умеренной. Это позволяет предполагать доминирование на палеоводосборах в венде климата близкого к семиаридному/семигумидному. Сделанный нами вывод отличается от вывода о выявленной ранее для верхневендских отложений Беломорско-Кулойского плато (Гражданкин и др., 2005) тенденции замены незрелого обломочного материала, поступавшего из областей с аридным климатом, относительно более зрелой алюмосиликокластикой из областей с мягким гумидным климатом. Учитывая, что состав пород областей размыва, служивших в позднем венде источниками тонкой алюмосиликокластики для северо-западной части Мезенской синеклизы и Шкаповско-Шиханской впадины, был более или менее геохимически сходен, указанные различия, скорее всего, действительно обусловлены приуроченностью этих регионов к разным климатических поясам.

Сравнение медианного содержания широкого спектра элементов-примесей в ТОП рифея и венда Волго-Уральской области показывает, что какого-либо существенного отличия между ними не наблюдается. На основных дискриминантных диаграммах (Th–La, Gd_N/Yb_N–Eu/Eu, Co/Hf–Ce/Cr, La/Sm–Sc/Th, Eu/Eu*–La_N/Yb_N и др.) перекрытие полей составов ТОП рифея и венда варьируется в пределах 60–90%, что с достаточно высокой степенью вероятности указывает на сходство состава размывавшихся во время их формирования пород на палеоводосборах.

Значения ряда индикаторных отношений элементов-примесей и РЗЭ-систематика ТОП верхнего докембрия позволяют предполагать, что, наряду с кислыми магматическими и метаморфическими образованиями, на палеоводосборах присутствовали и породы более основного состава. С учетом положения точек составов на диаграммах Th–La, Ni–Cr, Sc–Th/Sc, Gd_N/Yb_N–Eu/Eu*, Co/Hf–Ce/Cr, Eu/Eu*–La_N/Yb_N и ряде других сделан вывод о преобладании на протяжении

всего позднего докембрия в областях размыва пород с характеристиками, типичными как для литохимически относительно зрелых (постархейских), так и относительно незрелых (архейские гранитоиды и породы ТТГ-ассоциаций) субстратов. На последнее указывает достаточно большое количество образцов с La_N/Yb_N в пределах ~15–17.

Сопоставление данных о составе пород в областях сноса, полученных при минералого-петрографическом изучении песчаников и на основе изучения геохимических особенностей алевритистых аргиллитов и глинистых сланцев, показывает их достаточно высокое сходство. В то же время для ряда уровней рифея Камско-Бельского авлакогена (тукаевский, ольховский и приютовский) использование геохимической информации позволило немного иначе, нежели раньше, представить состав пород в областях питания. Принципиально важным выводом, получить который по минералого-петрографическим данным, на наш взгляд, невозможно, является вывод о заметном (или существенном) вкладе в состав тонкозернистых обломочных пород нижних и средних уровней кырпинской серии продуктов размыва примитивных архейских субстратов. В породах более высоких уровней рифейского разреза доля продуктов размыва подобных образований, видимо, была невелика.

Полученные нами изотопно-геохимические материалы не подтверждают традиционные представления, согласно которым основными источниками тонкой алюмосиликокластики для глинистых пород верхнего венда Шкаповско-Шиханской впадины служили архейские гранатсодержащие гнейсы фундамента Восточно-Европейской платформы.

Nd-модельный возраст ($T_{DM\ 2ст}$) ТОП рифея Камско-Бельского авлакогена варьируется в пределах 2.5–2.9 млрд лет, что указывает на преимущественно архейский возраст источников тонкой алюмосиликокластики для рифейских осадочных последовательностей названной структуры. В то же время Nd-модельный возраст алевритистых аргиллитов и аргиллитов байкибашевской и старопетровской свит составляет ~2.0–2.3 млрд лет. ТОП карлинской свиты характеризуются величиной T_{DM} ~1.9–2.3 млрд лет. Это позволяет предполагать, что в начале и конце позднего венда на окружавших Шкаповско-Шиханскую впадину палеоводосборах доминировали раннепротерозойские кристаллические образования. Для аргиллитов салиховской свиты значение Nd-модельного возраста меньше, чем в аналогичных породах подстилающих и перекрывающих толщ, примерно на 400–700 млн лет. Причина этого, на наш взгляд, в имевшем место в указанное время усилении сноса кластики с растущего восточнее (в современных координатах – на восточном крыле Башкирского мегантиклинория) Белорецкого метаморфического комплекса. Заметное же отличие Nd-модельного возраста ТОП венда Шкаповско-Шиханской впадины от аналогичного возраста ТОП рифея Камско-Бельского авлакогена свидетельствует, возможно, о существенной переработке состава комплексов пород на палеоводосборах или принципиальном изменении схемы минерального питания рассматриваемых нами крупных отрицательных структур на указанном временном рубеже.

На диаграмме SiO_2–(K_2O/Na_2O) фигуративные точки песчаников рифея Камско-Бельского авлакогена сосредоточены в области составов, типичных для обстановок пассивных континентальных окраин, тогда как точки псаммитов венда локализованы преимущественно в поле составов, формировавших-

ся в более активных геодинамических обстановках. Аналогичным образом размещены на данной диаграмме и медианные точки состава песчаников. На диаграмме F1–F2 распределение индивидуальных точек псаммитов разных свит рифея и венда не имеет столь отчетливых различий; большинство из них занимает промежуточное положение между областями составов пассивных и активных континентальных окраин. Медианные точки песчаников венда тяготеют к области составов, типичных для обстановок континентальных вулканических дуг, тогда как точки довендских псаммитов сосредоточены в полях пассивных и активных окраин. На диаграмме (Fe_2O_3*+MgO)–Al_2O_3/SiO_2 индивидуальные точки составов псаммитов верхнего докембрия Волго-Уральской области сконцентрированы в областях составов пассивных и активных континентальных окраин. Примерно такое же положение присуще им и на диаграммах (K_2O+Na_2O)–SiO_2/20–($TiO_2+Fe_2O_3$+MgO), Th–La–Sc, Co–Th–Zr/10. Песчаники венда Шкаповско-Шиханской впадины занимают на указанных треугольных диаграммах несколько иное положение – фигуративные точки их составов в основном сосредоточены в поле зрелых островных дуг. Такое различие рассматривается нами как отражение в составе песчаников венда более активных тектонических процессов в складчатых областях по периферии Восточно-Европейской платформы.

На диаграмме F–Q_m–L_t точки песчаников рифея расположены в полях «внутренних областей кратона» и «рециклированных орогенов». Песчаники трех нижних свит венда на этой диаграмме отвечают преимущественно псаммитам переходных континентальных зон, рециклированных орогенов; песчаники карлинской свиты тяготеют по своему составу к образованиям внутренних областей кратона и рециклированных орогенов.

Положение точек составов песчаников на диаграмме ln(Q/L+CE)–ln(Q/F) показывает, что псаммиты каировской и шкаповской серий тяготеют к области, объединяющей продукты разрушения преимущественно плутонических пород, тогда как псаммиты рифея содержат и существенную долю кластики, сформированной в результате размыва метаморфических образований. Доминирующую роль последняя играет, видимо, в составе песчаников леонидовского уровня верхнего рифея.

Выполненный нами анализ значений Mo/Mn и ряда других индикаторов окислительно-восстановительных обстановок в придонных слоях воды палеобассейна показал, что накопление тонкозернистых обломочных образований рифея Камско-Бельского авлакогена происходило преимущественно в окислительных условиях. Существование застойных обстановок можно предполагать только для отдельных интервалов прикамского, тукаевского и акбердинского времени. Величина Mo/Mn в аргиллитах каировской и шкаповской серий также вполне определенно указывает на отсутствие в поздневендском бассейне осадконакопления, существовавшем в пределах Шкаповско-Шиханской впадины, каких-либо застойных обстановок в придонном слое воды. Таким образом, согласно имеющимся в нашем распоряжении материалам, оснований для выделения в разрезе верхнего венда Шкаповско-Шиханской впадины так называемого «вендского доманика» нет.

Соленость ранне-, средне- и позднерифейского бассейнов осадконакопления, как об этом свидетельствуют литологические и изотопно-геохимические данные, была, вероятно, сопоставима с той, что характерна для современных

морских водоемов. В наиболее мелководных, возможно, изолированных или полуизолированных зонах этих бассейнов в отдельные эпохи создавались условия, благоприятные для формирования эвапоритовых минералов или собственно эвапоритов. На диаграмме Zr/Cu–V/Zr в область значений, характерных как для пресноводных, так и морских тонкозернистых обломочных образований, попадает примерно половина фигуративных точек ТОП рифея, остальные имеют величину Zr/Cu существенно более высокую, чем та, что присуща континентальным/пресноводным образованиям. Тонкозернистые обломочные породы венда Шкаповско-Шиханской впадины по соотношению в них Zr/Cu и V/Zr могут рассматриваться как преимущественно континентальные/пресноводные образования. Это не противоречит ранее полученным нами данным для венда западного склона Среднего Урала (Гражданкин и др., 2010).

Отсутствие среди изученных нами образцов ТОП с признаками эксгаляционных компонентов указывает на достаточно низкую проницаемость коры в области сочленения Восточно-Европейской платформы и современного Южного Урала на протяжении всего рифея.

Сопоставление геохимических особенностей ТОП традиционно коррелируемых (Стратиграфическая…, 2000) разных свит и подсвит рифея и венда Волго-Уральской области и Башкирского мегантиклинория показало, что по медианной величине Th/Sc в достаточной степени различаются только ТОП прикамской и айской свит. Аналогичные по гранулометрическому составу породы других литостратиграфических единиц рифея по данному параметру, в соответствии с принятыми нами градациями, являются сопоставимыми или достаточно сопоставимыми. Близкая ситуация характерна и для параметра La/Sm – его медианные значения в породах сравниваемых пар литостратиграфических единиц оказываются достаточно разными только в случае надеждинской и бакальской свит. ТОП калтасинской и саткинской свит имеют достаточные различия по величине Eu/Eu*. По медианным значениям Th/Cr ТОП надеждинской и бакальской свит, а также усинской свиты и бирьянской подсвиты зильмердакской свиты относятся к категории сопоставимых, тогда как остальные сопоставляемые подразделения по данному параметру достаточно различны. Медианные значения La/Sc в ТОП нижнего рифея сопоставимы друг с другом, а в породах среднего рифея – достаточно сопоставимы. Глинистые сланцы и алевритистые аргиллиты надеждинской и бакальской свит, а также усинской свиты и бирьянской подсвиты зильмердакской свиты достаточно различны по величине La_N/Yb_N. Тонкозернистые терригенные породы айской и прикамской, а также авзянской и ольховской свит принадлежат по данному параметру, напротив, к категории сопоставимых.

Анализ фактического материала позволяет сделать вывод о значимом сходстве микроэлементного состава ТОП коррелируемых литостратиграфических подразделений рифея Башкирского мегантиклинория и Камско-Бельского авлакогена (айская и прикамская свиты, бакальская и надеждинская свиты, авзянская и ольховская свиты и ряд других единиц разреза) и считать, что формирование их происходило вследствие смешения как основной, так и кислой алюмосиликокластики, соотношение которых с течением времени несколько изменялось, но в целом оставалось довольно постоянным. Некоторые же особенности состава ТОП рифея Башкирского мегантиклинория указывают на существование во время их накопления локальных источников сноса.

Еще одним важным следствием из выполненного нами сопоставления концентраций элементов-примесей в ТОП рифея Камско-Бельского авлакогена и Башкирского мегантиклинория служит вывод об отсутствии кардинальных различий в абсолютном содержании большинства элементов-примесей в породах, в разной степени преобразованных постседиментационными процессами.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Алиев М.М., Морозов С.Г., Постникова И.Е. и др. Геология и нефтегазоносность рифейских и вендских отложений Волго-Уральской провинции. М.: Недра, 1977. 157 с.

Аксенов Е.М. История геологического развития Восточно-Европейской платформы в позднем протерозое: Автореф. дис. … д-ра. геол.-минерал. наук в виде науч. докл. СПб.: ИГГД РАН, 1998. 106 с.

Аксенов Е.М., Солонцов Л.Ф. Рифей и венд востока Русской плиты // Докембрийские вулканогенно-осадочные комплексы Урала. Свердловск: УНЦ АН СССР, 1986. С. 117–127.

Аксенов Е.М., Баранов В.В., Кавеев И.Х., Солонцов Л.Ф. Новые данные по верхнему докембрию востока Русской плиты // Изв. АН СССР. Сер. геол., 1984. № 7. С. 144–148.

Андреев Ю.В., Иванова Т.В., Келлер Б.М. и др. Стратиграфия верхнего протерозоя восточной окраины Русской плиты и западного склона Южного Урала // Изв. АН СССР. Сер. геол., 1981. № 10. С. 57–68.

Белоконь Т.В., Горбачев В.И., Балашова М.М. Строение и нефтегазоносность рифейско-вендских отложений востока Русской платформы. Пермь: ИПК «Звезда», 2001. 108 с.

Белоконь Т.В., Балашова М.М., Горбачев В.И. Перспективы изучения нефтегазоносности верхнедокембрийских отложений востока Русской платформы // Отечественная геология, 1994. № 3. С. 3–10.

Белоконь Т.Е., Балашова М.М.. Сиротенко О.И. и др. Геодинамические условия формирования и преобразования рифейских толщ востока Русской платформы // Общие вопросы стратиграфии и геологической истории рифея Северной Евразии. Екатеринбург: ИГГ УрО РАН, 1995. С. 18–19.

Богданова С.В. Земная кора Русской плиты в раннем докембрии (на примере Волго-Уральского сегмента). М.: Наука, 1986. 224 с.

Бутузова Г.Ю. Гидротермально-осадочное рудообразование в рифтовой зоне Красного моря. М.: ГЕОС, 1998. 312 с.

Бяков А.С., Ведерников И.Л. Свидетельства аноксии на рубеже перми и триаса в глубоководных фациях на Северо-Востоке Азии // Докл. РАН, 2007. Т. 417, № 5. С. 654–656.

Валиев Ю.Я. Геохимия бора в юрских отложениях Гиссарского хребта. М.: Наука, 1977. 150 с.

Вейс А.Ф., Ларионов Н.Н., Воробьева Н.Г., Ли Сень-Джо. Микрофоссилии в стратиграфии рифейских отложений Южного Урала (Башкирский мегантиклинорий) и Приуралья (Камско-Бельский авлакоген) // Стратиграфия. Геол. корреляция, 2000. Т. 8, № 5. С. 3–28.

Вендская система: Историко-геологическое и палеонтологическое обоснование. Т. 2: Стратиграфия и геологические процессы / Е.М. Аксенов, В.А. Великанов, А.Ф. Станковский и др.; Отв. ред. Б.С. Соколов, М.А. Федонкин. М.: Наука, 1985. 237 с.

Верхний докембрий восточных районов Татарстана и перспективы его нефтегазоносности / В.И. Козлов, Р.Х. Муслимов, Н.С. Гатиятуллин и др.; Отв. ред. В.Г. Изотов. Уфа: УНЦ РАН, 1995. 218 с.

Гаврилов Ю.О., Щепетова Е.В., Барабошкин Е.Ю., Щербинина Е.А. Аноксический раннемеловой бассейн Русской плиты: седиментология и геохимия // Литология и полезные ископаемые, 2002. № 4. С. 359–380.

Гаррелс Р., Маккензи Ф. Эволюция осадочных пород. М.: Мир, 1974. 272 с.

Гаррис М.А. Геохронологическая шкала Урала и основные этапы его развития в докембрии и палеозое (по данным калий-аргонового метода) // Абсолютный возраст геологических формаций. М.: Наука, 1964. С. 128–156.

Гаррис М.А., Казаков Г.А., Келлер Б.М. и др. Геохронологическая шкала верхнего протерозоя (рифей и венд) // Абсолютный возраст геологических формаций. М.: Наука, 1964. С. 431–455.

Геологическая карта Восточно-Европейской платформы и ее складчатого обрамления (в границах бывшего СССР). Довендские образования / Отв. ред. Ю.Р. Беккер. СПб.: ВСЕГЕИ, 1996. 4 л.

Геохимия тонкозернистых терригенных пород верхнего докембрия Северной Евразии / А.В. Маслов, А.Д. Ножкин, В.Н. Подковыров и др.; Отв. ред. А.В. Маслов. Екатеринбург: УрО РАН, 2008. 274 с.

Глубинное строение и геодинамика Южного Урала (проект Уралсейс). Тверь: Изд-во ГЕРС, 2001. 286 с.

Головенок В.К. Высокоглиноземистые формации докембрия. Л.: Недра, 1977. 267 с.

Горожанин В.М. Новые геохронологические данные по верхнему докембрию Татарии (скв. 20005 Карачевская) // Стратиграфия и литология верхнего докембрия и палеозоя Южного Урала и Приуралья. Уфа: БФ АН СССР, 1983. С. 48–51.

Гражданкин Д.В., Подковыров В.Н., Маслов А.В. Палеоклиматические обстановки формирования верхневендских отложений Беломорско-Кулойского плато (Юго-Восточное Беломорье) // Литология и полезные ископаемые, 2005. № 3. С. 267–280.

Гражданкин Д.В., Маслов А.В., Крупенин М.Т., Ронкин Ю.Л. Осадочные системы сылвицкой серии (верхний венд Среднего Урала). Екатеринбург: УрО РАН, 2010. 280 с.

Дьяконова О.Б. Эволюция литогенеза рифейских отложений юга Камско-Бельского авлакогена: Автореф. дис. … канд. геол.-минерал. наук. Казань: КГУ, 2009. 26 с.

Забродин В.Е. Микрофитолиты рифея Урала и Приуралья: Автореф. дис. ... канд. геол.-минерал. наук. М.: ГИН АН СССР, 1967. 35 с.

Зайдис Б.Б. Использование гидрослюдистых минералов для исследования катагенеза и метаморфизма пород: Автореф. дис. … канд. геол.-минерал. наук. Киев: ИГН АН УССР, 1973. 18 с.

Иванов Д.И. Перспективы нефтегазоносности рифейских отложений платформенного Башкортостана на основе изучения нафтидогенерационного потенциала: Автореф. дис. … канд. геол.-минерал. наук. Уфа: ООО «Башнефть–Геопроект», 2008. 25 с.

Иванова Т.В. Некоторые вопросы седиментогенеза нижнерифейских отложений северо-западной Башкирии // Стратиграфия и литология палеозоя Волго-Уральской области. Казань: Казан. филиал АН СССР, 1970. С. 7–14.

Иванова Т.В., Едренкина О.К. О некоторых палеогеографических особенностях эпох образования рифейско-вендских (бавлинских) отложений западных районов Башкирии, выявленных геохимическими методами // Геологическое строение и перспективы нефтеносности Башкирии. Уфа: УфНИИ, 1971. С. 118–127.

Иванова З.П., Клевцова А.А. Условия накопления додевонских отложений северо-востока Русской платформы в связи с оценкой перспектив их нефтегазоносности // Геологическое строение и нефтегазоносность Пермской области и Прикамья. М.: Гостоптехиздат, 1960. С. 151–168.

Иванова Т.В., Андреев Ю.В., Масагутов Р.Х., Станекзай Н.М. Фациальные особенности вендских отложений // Минерально-сырьевая база Республики Башкортостан: реальность и перспективы. Уфа: Тау, 2002а. С. 149–155.

Иванова Т.В., Андреев Ю.В., Масагутов Р.Х. и др. К истории тектонического развития востока Русской плиты на рифейском этапе // Верхний докембрий Южного Урала и востока Русской плиты. Уфа: ИГ УНЦ РАН, 1993. С. 85–94.

Иванова Т.В., Масагутов Р.Х., Андреев Ю.В. Литологические толщи-реперы в составе рифейских отложений платформенного Башкортостана // Минерально-сырьевая база Республики Башкортостан: реальность и перспективы. Уфа: Тау, 2002б. С. 155–170.

Интерпретация геохимических данных / Отв. ред. Е.В. Скляров. М.: Интермет Инжиниринг, 2001. 288 с.

Ишерская М.В. Литолого-геохимические особенности отложений венда в восточной части платформенной Башкирии // Геохимия осадочных формаций Урала. Свердловск: УНЦ АН СССР, 1978. С. 16–21.

Ишерская М.В., Романов В.А. К стратиграфии рифейских отложений Западной Башкирии. Уфа: ИГ УНЦ РАН, 1993. 35 с.

Ишерская М.В.. Романов В.А. К вопросу о выделении тюрюшевской свиты в разрезе нижнего рифея платформенного Башкортостана // Геол. сб. № 1. Уфа: ИГ УНЦ РАН, 2000. С. 50–52.

Казаков Г.А. Новые данные о возрасте нижних свит нижнебавлинской серии Волго-Уральской области // Геохимия, 1967. № 4. С. 482–485.

Казаков Г.А., Кнорре К.Г., Стрижов В.П. Новые данные о возрасте нижних свит нижнебавлинской серии Волго-Уральской области // Геохимия, 1967. № 4. С. 482–485.

Кей Л.С., Крофорд Д.С., Бартли Д.К. и др. C- и Sr-изотопная хемостратиграфия как инструмент для уточнения возраста рифейских отложений Камско-Бельского авлакогена Восточно-Европейской платформы // Стратиграфия. Геол. корреляция, 2007. Т. 15, № 1. С. 15–34.

Козлов В.И. Проблема создания детальных корреляционных схем верхнего докембрия на Южном Урале и сопредельных районах Русской плиты // Ежегодник-1993. Уфа: УНЦ РАН, 1994. С. 32–36.

Козлов В.И. Корреляция разрезов и обоснование возраста отложений кырпинской серии западного Башкортостана и смежных районов Волго-Уральской области (по данным бурения глубоких скважин) // Изв. Отделения наук о Земле и природных ресурсов АН Республики Башкортостан. Геология, 2008. № 13. С. 58–72.

Козлов В.И., Сергеева Н.Д. Нижний рифей северных районов Волго-Уральской области // Геология и нефтегазоносность северных районов Урало-Поволжья. Пермь: Изд-во Перм. ун-та, 2010. С. 45–49.

Козлов В.И., Сергеева Н.Д., Генина Л.А. и др. К вопросу о выделении надеждинской свиты нижнего рифея на востоке Волго-Уральской области // Геол. сб. № 1. Уфа: ИГ УНЦ РАН, 2000. С. 53–55.

Козлов В.И., Сергеева Н.Д., Генина Л.А., Михайлов П.Н. Аналоги отложений нижнего венда на западе Башкортостана // Геол. сб. № 4. Уфа: ДизайнПолиграфСервис, 2004. С. 71–76.

Козлов В.И., Сергеева Н.Д., Михайлов П.Н., Генина Л.А. Нижний рифей платформенного Башкортостана и перспективы его нефтегазоносности // Минерально-сырьевая база Республики Башкортостан: реальность и перспективы. Уфа: Тау, 2002. С. 185–195.

Козлова Е.В. Находки микрофоссилий в рифейских отложениях востока Русской плиты // Геология докембрия Южного Урала и востока Русской плиты. Уфа: БНЦ УрО АН СССР, 1990. С. 50–56.

Коссовская А.Г., Тучкова М.И. К проблеме минералого-петрохимической классификации и генезиса песчаных пород // Литология и полезные ископаемые, 1988. № 2. С. 8–24.

Крупенин М.Т. Геолого-геохимические типы и систематика РЗЭ месторождений Южно-Уральской магнезитовой провинции // Докл. РАН, 2005. Т. 405, № 2. С. 243–246.

Крупенин М.Т. Диагенетические брекчии в доломитах саткинской свиты нижнего рифея: следы эвапоритового бассейна? // Ежегодник-2006. Екатеринбург: ИГГ УрО РАН, 2007. С. 78–84.

Крупенин М.Т., Прохаска В. Эвапоритовая природа флюидных включений в кристаллических магнезитах саткинского типа // Докл. РАН, 2005. Т. 403, № 5. С. 661–663.

Кузнецов В.Г. Литология. Основы общей (теоретической) литологии: Уч. пособие для вузов. М.: Науч. мир, 2011. 360 с.

Кузнецов Н.Б., Натапов Л.М., Белоусова Е.А. и др. Первые результаты U/Pb-датирования и изотопно-геохимического изучения детритных цирконов из позднедокембрийских песчаников Южного Тимана (увал Джежим-Парма) // Докл. РАН, 2010. Т. 435, № 6. С. 798–805.

Лагутенкова Н.С. Следы вулканической деятельности в отложениях верхнебавлинской серии Пермской области и Башкирской АССР // Докл. АН СССР, 1963. Т. 150, № 6. С. 1352–1355.

Лагутенкова Н.С., Чепикова И.К. Верхнедокембрийские отложения Волго-Уральской области и перспективы их нефтегазоносности. М.: Наука, 1982. 110 с.

Лозин Е.В. Тектоника и нефтеносность платформенного Башкортостана. М.: ВНИИОЭНГ, 1994. Ч. I. 73 с.

Лозин Е.В., Хасанов В.Х. Сейсмогеологические данные о глубинном строении края платформы и Южного Урала // Геология, геофизика и полезные ископаемые Южного Урала и Приуралья. Уфа: БНЦ УрО АН СССР, 1991а. С. 48–58.

Лозин Е.В., Хасанов В.Х. Геодинамическая модель формирования Складчатого Урала по результатам исследований на Троицком профиле ГСЗ // Геология, геофизика и полезные ископаемые Южного Урала и Приуралья. Уфа: БНЦ УрО АН СССР, 1991б. С. 58–63.

Масагутов Р.Х. Литолого-стратиграфическая характеристика и палеогеография позднего докембрия Башкирского Приуралья. М.: Недра, 2002. 224 с.

Масагутов Р.Х., Иванова Т.В., Лозин Е.В. и др. Сопоставление разрезов рифея Камско-Бельской грабеновой впадины // Геология, полезные ископаемые и проблемы геоэкологии Башкортостана: Мат-лы VI Межрегион. науч.-практ. конф. Уфа: ДизайнПолиграфСервис, 2006. С. 51–54.

Маслов А.В. Осадочные породы: методы изучения и интерпретации полученных данных. Екатеринбург: Изд-во УГГУ, 2005. 289 с.

Маслов А.В. Метатерригенные породы архея: основные геохимические ограничения // Геохимия, 2007а. № 4. С. 370–389.

Маслов А.В. Литохимические особенности отложений различных макрофаций в нижнемезозойском разрезе Северо-Покачевского месторождения (Широтное Приобье) // Литология и геология горючих ископаемых. Екатеринбург: Изд-во УГГУ, 2007б. С. 172–178.

Маслов А.В., Алексеев В.П. Особенности химического состава и РЗЭ–Th–Sc-систематика тонкозернистых терригенных пород нижнего мезозоя Шаимского нефтегазоносного района (Западная Сибирь) // Изв. вузов. Геология и разведка, 2007. № 2. С. 21–30.

Маслов А.В., Гареев Э.З. Основные петрохимические особенности и условия образования аркозовых комплексов рифея и венда Южного Урала // Литология и полезные 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 полезные 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., Алексеев В.П., Федоров Ю.Н. Верификация генетических реконструкций по литохимическим показателям для тюменской свиты Шаимского нефтегазоносного района // Пути реализации нефтегазового и рудного потенциала Ханты-Мансийского автономного округа – Югры. Ханты-Мансийск: НАЦ РН им. В.И. Шпильмана, 2007а. Т. 1. С. 246–253.

Маслов А.В., Алексеев В.П., Федоров Ю.Н., Ронкин Ю.Л. РЗЭ-систематика тонкозернистых терригенных пород нижнего мезозоя Шаимского нефтегазоносного района // Состояние, тенденции и проблемы развития нефтегазового потенциала Западной Сибири: Мат-лы междунар. академ. конф. Тюмень: ФГУП «ЗапСибНИИГГ», 2007б. С. 379–384.

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

Маслов А.В., Гареев Э.З., Крупенин М.Т., Демчук И.Г. Тонкая алюмосиликокластика в верхнедокембрийском разрезе Башкирского мегантиклинория (к реконструкции условий формирования). Екатеринбург: ИГГ УрО РАН, 1999. 324 с.

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

Маслов А.В., Гражданкин Д.В., Подковыров В.Н. и др. Состав питающих провинций и особенности геологической истории поздневендского Мезенского бассейна // Литология и полезные ископаемые, 2008а. № 3. С. 290–312.

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., Ишерская М.В. Петро- и геохимические особенности аргиллитов верхнего венда Шкаповско-Шиханской впадины как индикаторы условий их формирования, состава и эволюции источников сноса (предварительные данные) // Ежегодник-2003. Екатеринбург: ИГГ УрО РАН, 2004. С. 87–103.

Маслов А.В., Ишерская М.В. Обстановки накопления терригенных отложений верхнего венда Волго-Уральской области: старопетровская свита Шкаповско-Шиханской впадины // Литосфера, 2005. № 1. С. 41–69.

Маслов А.В., Ишерская М.В. Вариации Eu/Eu* в аргиллитах венда Волго-Уральской области и трассирование границы редкинского и котлинского горизонтов // Стратиграфия. Геол. корреляция, 2006. Т. 14, № 3. С. 57–64.

Маслов А.В., Ишерская М.В. Тонкозернистые терригенные породы рифея Камско-Бельского прогиба: основные черты геохимической систематики // Литосфера, 2008а. № 2. С. 46–66.

Маслов А.В., Ишерская М.В. Рециклинг тонкого терригенного материала в процессе формирования осадочной мегапоследовательности рифея Камско-Бельского авлакогена // Литосфера, 2008б. № 5. С. 39–53.

Маслов А.В., Ишерская М.В., Крупенин М.Т. и др. Литогеохимические особенности тонкозернистых терригенных пород рифея Камско-Бельского авлакогена и условия их формирования // Литология и полезные ископаемые, 2010б. № 2. С. 172–200.

Маслов А.В., Ишерская М.В., Ронкин Ю.Л., Лепихина О.П. Тонкозернистые терригенные породы рифея и венда Камско-Бельского прогиба: сопоставление основных геохимических характеристик // Литосфера, 2008б. № 3. С. 36–49.

Маслов А.В., Ишерская М.В., Ронкин Ю.Л., Лепихина О.П. РЗЭ-, Cr-, Ni-, Co-, Sc-, Hf-, Th-систематика тонкозернистых алюмосиликокластических образований верхнего венда Шкаповско-Шиханской впадины // Изв. вузов. Геология и разведка, 2008в. № 2. С. 20–27.

Маслов А.В., Ишерская М.В., Ронкин Ю.Л. и др. Условия формирования вендских отложений Шкаповско-Шиханской впадины по данным изучения литогеохимических особенностей аргиллитов // Литология и полезные ископаемые, 2006. № 3. С. 279–300.

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, 2003. № 2. С. 75–93.

Маслов А.В., Крупенин М.Т., Киселева Д.В. Литогеохимия тонкозернистых алюмосиликокластических пород серебрянской серии венда Среднего Урала // Геохимия, 2011. № 10. С. 1032–1062.

Маслов А.В., Крупенин М.Т., Ронкин Ю.Л. и др. РЗЭ, Cr, Th и Sc в глинистых сланцах типового разреза рифея как показатели состава и эволюции источников сноса // Литосфера, 2004а. № 1. С. 70–112.

Маслов А.В., Крупенин М.Т., Ронкин Ю.Л. и др. Тонкозернистые алюмосиликокластические образования стратотипического разреза среднего рифея на Южном Урале: особенности формирования, состав и эволюция источников сноса // Литология и полезные ископаемые, 2004б. № 4. С. 414–441.

Маслов А.В., Ножкин А.Д., Подковыров В.Н. и др. Геохимические особенности тонкозернистых терригенных образований базальных уровней рифея Южного Урала, Учуро-Майского региона и Енисейского кряжа: к оценке степени зрелости дорифейских субстратов // Проблемы минералогии, петрографии и металлогении: Мат-лы науч. чтений памяти П.Н. Чирвинского. Пермь: Изд-во Перм. ун-та, 2007в. Вып. 10. С. 171–180.

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., Оловянишников В.Г., Крупенин М.Т., Ишерская М.В. Микроэлементы в глинистых сланцах венда Мезенской и Шкаповско-Шиханской впадин и западной мегазоны Урала как показатель состава и возраста размывавшегося субстрата // Геология и полезные ископаемые западного Урала. Пермь: Изд-во Перм. ун-та, 2004в. С. 20–23.

Маслов А.В., Ронкин Ю.Р., Крупенин М.Т., Гареев Э.З. Рифейские седиментационные бассейны Южного Урала (палеогеография, палеоклимат, источники сноса и палеосоленость водоемов) // Осадочные бассейны Урала и прилегающих регионов: закономерности строения и минерагении. Екатеринбург: ИГГ УрО РАН, 2000. С. 28–52.

Маслов А.В., Ронкин Ю.Л., Крупенин М.Т. и др. Систематика редкоземельных элементов и модельный возраст Nd в аргиллитах венда западного склона Среднего Урала // Докл. РАН, 2005б. Т. 401, № 5. С. 668–672.

Маслов А.В., Ронкин Ю.Л., Крупенин М.Т. и др. Нижнерифейские тонкозернистые алюмосиликокластические осадочные образования Башкирского мегантиклинория на Южном Урале: состав и эволюция источников сноса // Геохимия, 2004г. № 6. С. 648–669.

Мележик В.А. Седиментационные и осадочно-породные бассейны раннего протерозоя Балтийского щита (к проблеме реконструкции постседиментационных преобразований). СПб.: Наука, 1992. 256 с.

Мичурин С.В. Генезис сульфатов и сульфидов в нижнерифейских отложениях Камско-Бельского авлакогена и Башкирского мегантиклинория: Автореф. дис. … канд. геол.-минерал. наук. М.: ГИН РАН, 2008. 26 с.

Морозов С.Г., Иванова Т.В., Андреев Ю.В. Особенности химического состава и генезис осадочных пород верхнего протерозоя востока Русской плиты // Геохимия платформенных и геосинклинальных осадочных пород и руд фанерозойского и верхнепротерозойского возраста: Тез. докл. Всесоюз. совещ. М.: ГЕОХИ АН СССР, 1980. С. 21–23.

Морозов С.Г., Иванова Т.В., Пастухов А.Г. и др. Новые данные о стратиграфии верхнедокембрийских образований Приуралья // Докл. АН СССР, 1972. Т. 202, № 6. С. 917–920.

Неелов А.Н. Петрохимическая классификация метаморфизованных осадочных и вулканогенных пород. Л.: Наука, 1980. 100 с.

Нефтегазоносные и перспективные комплексы центральных и восточных областей Русской платформы. Т. I: Доордовикские отложения центральных и восточных областей Русской платформы / З.П. Иванова, М.М. Веселовская, А.А. Клевцова и др.; Под ред. З.П. Ивановой. Л.: Недра, 1969. 167 с.

Низамутдинов А.Т., Баранов В.В., Диденко А.Н. Геохимические исследования отложений верхнего протерозоя на Измайловской площади востока Татарии // Докембрий востока Русской плиты. Казань: Изд-во Казан. ун-та, 1990. С. 78–117.

Ожиганова Л.Д. Петрографо-минералогические исследования древних отложений // Древние отложения Западной Башкирии. Уфа: БФ АН СССР, 1960. С. 28–82.

Ожиганова Л.Д. К вопросу о распространении аналогов каратауской серии верхнего рифея на востоке Русской платформы // Геология и нефтеносность Башкирии. Уфа: УфНИИ, 1975. С. 18–28.

Ожиганова Л.Д. Нижний рифей Западной Башкирии // Стратиграфия и литология верхнего докембрия и палеозоя Южного Урала и Приуралья. Уфа: БФ АН СССР, 1983. С. 33–39.

Орлов С.Ю., Кузнецов Н.Б., Миллер Е.Л. и др. Возрастные ограничения Протоуральско-Тиманской орогении по детритным цирконам // Докл. РАН, 2011. Т. 440, № 1. С. 87–92.

Петтиджон Ф.Дж. Осадочные породы / Пер. с англ. М.: Недра, 1981. 751 с.

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

Постникова И.Е. Верхний докембрий Русской плиты и его нефтеносность. М.: Наука, 1977. 222 с.

Предовский А.А. Реконструкция условий седиментогенеза и вулканизма раннего докембрия. Л.: Наука, 1980. 152 с.

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

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

Рабочая схема стратиграфии и корреляции разрезов верхнего протерозоя Западной Башкирии: Методические рекомендации / Н.Н. Лисовский, В.С. Афанасьев, Л.Д. Ожиганова и др. Уфа: БФ АН СССР, 1981. 35 с.

Романов В.А. Литолого-палеогеографические схемы и разрезы платформенного Башкортостана для раннерифейских веков // Геол. сб. № 4. Уфа: ИГ УНЦ РАН, 2004. С. 67–70.

Романов В.А., Ишерская М.В. К изучению рифейских отложений Западной Башкирии. Уфа: ИГ УНЦ РАН, 1994а. 32 с.

Романов В.А., Ишерская М.В. Рифей Кулгунинской скважины и корреляция его с одновозрастными отложениями смежных районов Башкирии. Уфа: УНЦ РАН, 1994б. 20 с.

Романов Б.А., Ишерская М.В. Тектоника рифейских отложений Западной Башкирии. Уфа: АН Республики Башкортостан, 1996а. 20 с.

Романов В.А., Ишерская М.В. Средний рифей платформенного Башкортостана. Уфа: АН Республики Башкортостан, 1997. 22 с.

Романов В.А., Ишерская М.В. Рифей платформенного Башкортостана: стратиграфия, тектоника и перспективы нефтегазоносности. Уфа: Гилем, 2001. 126 с.

Ронов А.Б., Хлебникова З.В. Химический состав важнейших генетических типов глин // Геохимия, 1961. № 6. С. 449–469.

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

Ронов А.Б., Ярошевский А.А. Мигдисов А.А. Химическое строение земной коры и геохимический баланс главных элементов. М.: Наука, 1990. 182 с.

Сергеева Н.Д. Приютовская свита верхнего рифея Камско-Бельского авлакогена: строение, состав и минералогические особенности // Геология, полезные ископаемые и проблемы геоэкологии Башкортостана, Урала и сопредельных территорий: Мат-лы VII Межрегион. науч.-практ. конф. Уфа: ДизайнПолиграфСервис, 2008. С. 122–131.

Солонцов Л.Ф., Клевцова А.А., Аксенов Е.М. Новые данные о стратиграфии рифейских отложений востока Русской платформы // Сов. геология, 1966. № 1. С. 70–77.

Стратиграфическая схема рифейских и вендских отложений Волго-Уральской области: Объяснительная записка / Отв. ред. Е.М. Аксенов, В.И. Козлов. Уфа: ИГ УНЦ РАН; ЦНИИГеолнеруд; БашНИПИнефть, 2000. 81 с.

Стратотип рифея. Палеонтология. Палеомагнетизм / Отв. ред. Б.М. Келлер, Н.М. Чумаков. М.: Наука, 1982. 176 с.

Стратотип рифея. Стратиграфия. Геохронология / Отв. ред. Б.М. Келлер, Н.М. Чумаков. М.: Наука, 1983. 184 с.

Страхов Н.М. Проблемы геохимии современного океанского литогенеза. М.: Наука, 1976. 300 с.

Стрекопытов С.В., Дубинин А.В., Волков И.И. Поведение РЗЭ, циркония и гафния в осадках и конкрециях Транстихоокеанского профиля // Геохимия, 1995. № 7. С. 985–997.

Сюндюков А.З., Ревенко Э.А. К вопросу о выделении аналогов каратауской серии в Приуралье // Вопросы геологии восточной окраины Русской платформы и Южного Урала. Уфа: БФ АН СССР, 1969. Вып. 24. С. 11–14.

Тейлор С.Р., МакЛеннан С.М. Континентальная кора: ее состав и эволюция. М.: Мир, 1988. 384 с.

Тимергазин К.Р. Додевонские образования западной Башкирии и перспективы их нефтегазоносности. Уфа: БФ АН СССР, 1959. 311 с.

Ткачев Ю. А., Юдович Я. Э. Статистическая обработка геохимических данных. Л.: Наука, 1975. 233 с.

Федоров Ю.Н., Маслов А.В., Алексеев В.П. и др. Систематика редкоземельных и ряда элементов-примесей в породах юры Северо-Покачевского месторождения (Широтное Приобье) // Горные ведомости, 2007. № 12. С. 24–37.

Формирование земной коры Урала. М.: Наука, 1986. 248 с.

Фролов В.Т. Литология. М.: Изд-во МГУ, 1992. Кн. 1. 336 с.

Фролович Г.М. Сопоставление разрезов докембрийских отложений Камско-Бельской впадины // Изв. АН СССР. Сер. геол., 1980. № 4. С. 75–85.

Хачатрян Р.О. Тектоническое развитие и нефтегазоносность Волжско-Камской антеклизы. М.: Наука, 1979. 171 с.

Холодов В.Н., Недумов Р.И. О геохимических критериях появления сероводородного заражения в водах древних водоемов // Изв. АН СССР. Сер. геол., 1991. № 12. С. 74–82.

Холодов В.Н., Пауль Р.К. Фации и генезис фосфоритов Каратау. Сообщ. 1. Вендско-кембрийский палеоводоем и морфометрия фосфатных пеллет // Литология и полезные ископаемые, 1999. № 4. С. 350–367.

Шванов В.Н. Определение минеральных типов песчаных пород по их химическому составу // Сов. геология, 1974. № 3. С. 60–73.

Шванов В.Н. Петрография песчаных пород (компонентный состав, система, описание минеральных видов). Л.: Недра, 1987. 269 с.

Шварев В.Н., Конев П.Н., Кучина Е.Л. Новые данные по литологии и нефтеносности додевонских осадочных отложений Удмуртской АССР // Геологическое строение и нефтегазоносность северных и западных районов Волго-Уральской провинции. Пермь: КамНИИКИГС, 1991. С. 50–58.

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

Шутов В.Д. Классификация терригенных пород и граувакк // Граувакки. М.: Наука, 1972. С. 9–29.

Юдович Я.Э. Региональная геохимия осадочных толщ. Л.: Наука, 1981. 276 с.

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

Юдович Я.Э., Кетрис М.П., Мерц А.В., Беляев А.А. Петрохимическая диагностика вулканогенных продуктов в черносланцевых отложениях Пай-Хоя // Геохимия, 1984. № 6. С. 868–882.

Юдович Я.Э., Кетрис М.П., Шулепова А.Н., Лавренко Н.С. Геохимическая диагностика вулканогенного материала в черносланцевых отложениях Лемвинской зоны Урала // Геохимия, 1986. № 10. С. 1464–1476.

Янкаускас Т.В. Верхнедокембрийские и кембрийские растительные микрофоссилии европейской части СССР и их стратиграфическое значение: Автореф. дис. ... д-ра геол.-минерал. наук. М.: ГИН АН СССР, 1982. 52 с.

Янов Э.Н. Геохимия кавказского и крымского флиша // Литология и полезные ископаемые, 1971. № 1. С. 84–101.

Япаскурт О.В. Предметаморфические изменения осадочных пород в стратисфере: Процессы и факторы. М.: ГЕОС, 1999. 260 с.

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. No. 1/2. P. 115–129.

Berzin R., Onchen O., Knapp J.H. et al. Orogenic Evolution of the Ural Mountains: Results from an Integrated Seismic Experiment // Science, 1996. V. 274. P. 220–221.

Bhat M.I., Ghosh S.K. Geochemistry of the 2.51 Ga old Rampur pelites, western Himalayas: implications for their provenance and weathering // Prec. Res., 2001. V. 108. No. 1/2. P. 1–16.

Bhatia M.R. Plate tectonics and geochemical composition of sandstones // J. Geol., 1983. V. 91. No. 6. P. 611–627.

Bhatia M.R., Crook K.A.W. Trace element characteristics of graywackes and tectonic setting discrimination of sedimentary basins // Contrib. Mineral. Petrol., 1986. V. 92. No. 2. P. 181–193.

Bierlein F.P. Rare-earth element geochemistry of clastic and chemical metasedimentary rocks associated with hydrotermal sulphide mineralisation in the Olary Block, South Australia // Chem. Geol., 1995. V. 122. P. 77–98.

Bostrom K. The origin and fate of ferromanganoan active ridge sediments // Stockholm Contrib. Geol., 1973. V. 27, No. 2. P. 148–243.

Condie K.C. Another look at rare earth elements in shales // Geochim. et Cosmochim. Acta, 1991. V. 55. P. 2527–2531.

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., Wronkiewicz D.A. The Cr / Th ratio in Precambrian pelites from the Kaapvaal Craton as an index of craton evolution // Earth Planet. Sci. Lett., 1990. V. 97. No. 3/4. P. 256–267.

Cox R., Lowe D.R. Controls on sediment composition on a regional scale: a conceptual review // J. Sed. Res., 1995. V. A65. P. 1–12.

Cox R., Lowe D.R., Cullers R.L. The influence of sediment recycling and basement composition on evolution of mudrock chemistry in the southwestern United States // Geochim. et Cosmochim. Acta, 1995. V. 59. P. 2919–2940.

Cullers R.L. The control on the major- and trace-element evolution of shales, siltstones and sandstones of Ordovician to Tertiary age in the Wet Mountains region, Colorado, U.S.A. // Chem. Geol., 1995. V. 123. P. 107–131.

Cullers R.L. Implications of elemental concentrations for provenance, redox conditions, and metamorphic studies of shales and limestones near Pueblo, CO, USA // Chem. Geol., 2002. V. 191. No. 4. P. 305–327.

Davis B.E. Applied soil trace elements. N.Y.: Wiley & Sons, 1980. 482 p.

Degens E.T., Williams E.G., Keith M.L. Environmental studies of carboniferous sediments. Part I: Geochemical criteria for differentiating marine from fresh-water shales // AAPG Bull., 1957. V. 41, No. 11. P. 2427–2455.

Degens E.T., Williams E.G., Keith M.L. Environmental studies of carboniferous sediments. Part II: Application of geochemical criteria // AAPG Bull., 1958. V. 42, No. 5. P. 981–997.

DePaolo D.J. Neodymium isotopes in the Colorado Front Range and crust-mantle evolution in the Proterozoic // Nature, 1981. V. 291. P. 193–196.

Dickinson W., Suczec C. Tectonic and sand composition // AAPG Bull., 1979. V. 63, No. 12. P. 2164–2182.

Dickinson W.R., Beard L.S., Brakenridge G.R. et al. Provenance of North American Phanerozoic sandstone in relation to tectonic setting // GSA Bull., 1983. V. 94. P. 222–235.

Dobson D.M., Dickens G.R., Rea D.K. Terrigenous sediment on Ceara Rise: a Cenozoic record of South American orogeny and erosion // Palaeogeogr., Palaeoclimat., Palaeoecol., 2001. V. 165. No. 3/4. P. 215–229.

Echtler H.P., Stiller M., Steinhoff F. et al. Preserved collisional crustal structure of the Southern Urals revealed by vibroseis profiling // Science, 1996. V. 274. P. 224–226.

von Eynatten H., Gaupp R. Provenance of Cretaceous synorogenic sandstones in the Eastern Alps: constraints from framework petrography, heavy mineral analysis and mineral chemistry // Sed. Geol., 1999. V. 124. P. 81–111.

Folk R.L. Petrology of Sedimentary Rocks. Austin (USA): Hemphill Publishing Company, 1974. 182 p.

Fralick P.W. Geochemistry of clastic sedimentary rocks: ratio techniques // Geochemistry of Sediments and Sedimentary Rocks. Published by Geol. Can. / Ed. by D.R. Lentz, 2003. Geotext 4. P. 85–103.

Garver J.I., Royce P.R., Smick T.A. Chromium and nickel in shale of the Taconic foreland: a case study for the provenance of fine-grained sediments with an ultramafic source // J. Sed. Res., 1996. V. 66, No. 1. P. 100–106.

Geochemistry of Sediments and Sedimentary Rocks: Evolutionary Considerations to Mineral Deposit-Forming Environments. Published by Geol. Assoc. Can. / Ed. by D.R. Lentz, 2003. Geotext. 4. 184 p.

Ghazi S., Mountney N.P. Petrography and provenance of the Early Permian Fluvial Warchha Sandstone, Salt Range, Pakistan // Sed. Geol., 2011. V. 233. No. 1–4. P. 88–110.

Girty G.H., Hanson A.D., Knaack C., Johnson D. Provenance determined by REE, Th, and Sc analyses of metasedimentary rocks, Boyden Cave Roof Pendant, central Sierra Nevada, California // J. Sed. Res., 1994. V. B 64. P. 68–73.

Gu X.X. Geochemical characteristics of the Triassic Tethys-turbidites in northwestern Sichuan, China: implications for provenance and interpretation of the tectonic setting // Geochim. et Cosmochim. Acta, 1994. V. 58. P. 4615–4631.

Harnois L. The CIW index: a new chemical index of weathering // Sed. Geol., 1988. V. 55. No. 3/4. P. 319–322.

Hatch J.R., Leventhal J.S. Relationship between inferred redox potential of the depositional environment and geochemistry of the Upper Pennsylvanian (Missourian) Stark Shale Member of the Dennis Limestone, Wabaunsee County, Kansas, U.S.A. // Chem. Geol., 1992. V. 99. No. 1–3. P. 65–82.

Haughton P.D.W. A cryptic Caledonian flysch terrane in Scotland // J. Geol. Soc. (London), 1988. V. 145. P. 685–703.

Herron M.M. Geochemical classification of terrigenous sands and shales from core or log data // J. Sed. Petrol., 1988. V. 58. P. 820–829.

Holail H.M., Moghazi A.M. Provenance, tectonic setting and geochemistry of greywackes and siltstones of the Late Precambrian Hammamat Group, Egypt // Sed. Geol., 1998. V. 116. P. 227–50.

Hyndman D.W. Petrology of igneous rocks. N. Y.; L.: McGraw-Hill, 1972. 533 p.

Jahn B.-M., Condie K.C. Evolution of the Kaapvaal Craton as viewed from geochemical and Sm–Nd isotopic analyses of intracratonic pelites // Geochim. et Cosmochim. Acta, 1995. V. 59. P. 2239–2258.

Jones B., Manning D.A.C. Comparison of geochemical indices used for the interpretation of palaeoredox conditions in ancient mudstones // Chem. Geol., 1994. V. 111. P. 111–129.

van de Kamp P.C., Leake B.E. Petrography and geochemistry of feldspathic and mafic sediments of the northeastern Pacific margin // Trans. R. Soc. Edinb. Earth Sci., 1985. V. 76. P. 411–49.

Kroonenberg S.B. Effects of provenance, sorting and weathering on the geochemistry of fluvial sands from different tectonic and climatic environments // Proc. of the 29th Intern. Geol. Congress, 1994. Part A. P. 69–81.

Kuznetsov N.B., Natapov L.M., Belousova E.A. et al. Geochronological, geochemical and isotopic study of detrital zircon suites from late Neoproterozoic clastic strata along the NE margin of the East European Craton: Implications for plate tectonic models // Gondwana Res., 2010. V. 17, No. 2/3. P. 583–601.

Marsaglia K.M. Sandstone detrital modes support Magdalena Fan displacement from the mouth of the Gulf of California // Geology, 2004. V. 32, No. 1. P. 45–48.

Martin H. Effect of steeper Archean geothermal gradients on geochemistry of subduction-zone magmas // Geology, 1986. V. 14. No. 9. P. 753–756.

Maynard J.B., Valloni R., Yu H.-Sh.. Composition of modern deep-sea sands from arc-related basins // Geol. Soc. Spec. Publs. L., 1982. V. 10. P. 551–561.

McLennan S.M. Rare earth elements in sedimentary rocks: influence of provenance and sedimentary processes // Geochemistry and mineralogy of rare earth elements // Rev. in Mineralogy / Eds. B.R. Lipin, G.A. McKay, 1989. V. 21. P. 169–200.

McLennan S.M., Taylor S.R. Sedimentary rocks and crustal evolution: tectonic setting and secular trends // J. Geol., 1991. V. 99. P. 1–21.

McLennan S.M., Taylor S.R., McCulloch M.T., Maynard J.B. Geochemical and Nd–Sr isotopic composition of deep-sea turbidites: crustal evolution and plate tectonic associations // Geochim. et Cosmochim. Acta, 1990. V. 54. P. 2015–2050.

McLennan S.M., Hemming S.R., McDaniel D.K., Hanson G.N. Geochemical approaches to sedimentation, provenance and tectonics // Processes controlling the composition of clastic sediments / Geol. Soc. Am. Spec. Pap. / Eds M.J. Johnsson, A. Basu, 1993. V. 284. P. 21–40.

Nesbitt H.W. Mobility and fractionation of rare elements during weathering of a granodiorite // Nature, 1979. V. 279. P. 206–210.

Nesbitt H.W., Young G.M. Early Proterozoic climates and plate motions inferred from major element chemistry of lutites // Nature, 1982. V. 299. P. 715–717.

Panahi A., Young G.M. A geochemical investigation into the provenance of the Neoproterozoic Port Askaig Tillite, Dalradian Supergroup, western Scotland // Prec. Res., 1997. V. 85. P. 81–96.

Peter J.M. Ancient iron formations: their genesis and use in the exploration for stratiform base metal sulphide deposits, with examples from the Bathurst Mining Camp // Geochemistry of sediments and sedimentary rocks: evolutionary considerations to mineral deposit-forming environments. Published by Geol. Assoc. Can. / Ed. by D.R. Lentz, 2003. Geotext 4. P. 145–176.

Rachold V., Brumsack H.-J. Inorganic geochemistry of Albian sediments from the Lower Saxony Basin NW Germany: palaeoenvironmental constraints and orbital cycles // Palaeogeogr., Palaeoclimat., Palaeoecol., 2001. V. 174. P. 121–143.

Rimmer S.M. Geochemical paleoredox indicators in Devonian–Mississippian black shales, Central Appalachian Basin (USA) // Chem. Geol., 2004. V. 206. P. 373–391.

Rock N.M., Webb J.A., McNaughton N.J. et al. Nonparametric estimation of averages and errors for small datasets in isotope geoscience: a proposal // Chem. Geol., 1987. V. 66. P. 163–177.

Rollinson H.R. Using geochemical data: evaluation, presentation, interpretation. Essex: London Group UK Ltd. 1994. 352 p.

Roser B.D., Korsch R.J. Determination of tectonic setting of sandstone-mudstone suites using SiO_2 content and K_2O/Na_2O ratio // J. Geol., 1986. V. 94. P. 635–650.

Shao L., Stattegger K., Carbe-Schoenberg C.-D. Sandstone petrology and geochemistry of the Turpan Basin (NW China): implications for the tectonic evolution of a continental basin // J. Sed. Res., 2001. V. 71. No. 1. P. 37–49.

Spalletti L.A., Queralt I., Matheos S.D. et al. Sedimentary petrology and geochemistry of siliciclastic rocks from the upper Jurassic Tordillo Formation (Neuquern Basin, western Argentina): Implications for provenance and tectonic setting // J. South American Earth Sciences, 2008. V. 25. P. 440–463.

Suttner L.J., Dutta P.K. Alluvial sandstone composition and paleoclimate framework mineralogy // J. Sed. Petrol., 1986. V. 56. P. 329–345.

Taylor S.R., McLennan S.M. The chemical evolution of the continental crust // Rev. of Geophysics, 1995. V. 33. P. 241–265.

Turgeon S., Brumsack H.-J. Anoxic vs dysoxic events reflected in sediment geochemistry during the Cenomanian–Turonian boundary events (Cretaceous) in the Umbria–Marche Basin of central Italy // Chem. Geol., 2006. V. 234. P. 321–339.

Toulkeridis T., Clauer N., Kroner A. et al. Characterization, povenance, and tectonic setting of Fig Tree greywackes from the Archaean Barbertone Belt, South Africa // Sed. Geol., 1999. V. 124. P. 113–129.

Veizer J. Recycling on the evolving Earth: geochemical record in sediments // Proc. 27th Intern. Geol. Congress. Utrecht: VNU Sci. Press, 1984. V. 11. P. 325–345.

Veizer J., Jansen L. Basement and sedimentary recycling-2: time dimension to global tectonics // J. Geol., 1985. V. 93, No. 6. P. 625–643.

Visser J.N.J., Young G.M. Major element geochemistry and paleoclimatology of the Permo-Carboniferous glaciogene Dwyka Formation and post-glacial mudrocks in Southern Africa // Palaeogeogr., Palaeoclimat., Palaeoecol., 1990. V. 81. P. 49–57.

Walker C.T., Price N.B. Departure curves for computing paleosalinity from boron in illites and shales // AAPG Bull., 1963. V. 47. P. 833–841.

Weltje G.J. Provenance and dispersal of sand-sized sediments: Reconstruction of dispersal patterns and sources of sand-sized Sediments by means of inverse modeling techniques. Utrecht: Universitein Utrecht, 1994. Ser. Geol. Ultraiectina. V. 121. 208 p.

Willner A.P., Ermolaeva T., Stroink L. et al. Contrasting provenance signals in Riphean and Vendian sandstones in the SW Urals (Russia): constraints for a change from passive to active continental margin conditions in the Neoproterozoic // Prec. Res., 2001. V. 110. P. 215–239.

Willner A.P., Sindern S., Metzger R. et al. Typology and single grain U/Pb ages of detrital zircons from Proterozoic sandstones in the SW Urals (Russia): early time marks at the eastern margin of Baltica // Prec. Res., 2003. V. 124. P. 1–20.

Winchester J.A., Floyd P.A. Geochemical discrimination of different magma series and their differentiation products using immobile elements // Chem. Geol., 1977. V. 20. P. 325–343.

Winchester J.A., Max M.D. Tectonic setting discrimination in clastic sequences: an example from the Late Proterozoic Erris Group, NW Ireland // Prec. Res., 1989. V. 45. P. 191–201.

Wronkiewicz D.J., Condie K.C. Geochemistry of Archean shales from the Witwatersrand Supergroup, South Africa: source-area weathering and provenance // Geochim. et Cosmochim. Acta, 1987. V. 51. P. 2401–2416.

Wronkiewicz D.J., Condie K.C. Geochemistry and mineralogy of sediments from the Ventersdorp and Transvaal Supergroups, South Africa: cratonic evolution during the early Proterozoic // Geochim. et Cosmochim. Acta, 1990. V. 54. P. 343–354.

ОГЛАВЛЕНИЕ

Введение 3

Раздел 1

Строение и состав осадочных последовательностей верхнего докембрия Волго-Уральской области

Глава 1. **Стратиграфия верхнедокембрийских отложений** 9

1.1. Нижний рифей 16
1.2. Средний рифей 21
1.3. Верхний рифей 22
1.4. Венд 25

Глава 2. **Условия формирования верхнедокембрийских отложений (по результатам ранее проведенных исследований)** 27

Глава 3. **Минералого-петрографические особенности песчаников и тонкозернистых обломочных пород** 34

3.1. Песчаники 40
3.2. Тонкозернистые обломочные породы 62

Глава 4. **Валовый химический состав песчаников и тонкозернистых обломочных пород** 68

4.1. Песчаники 69
4.2. Тонкозернистые обломочные породы 79

Глава 5. **Элементы-примеси в песчаниках и тонкозернистых обломочных породах** 93

5.1. Песчаники 93
5.1.1. Крупноионные литофильные элементы (Ba, Rb, Sr, Th, U) 93
5.1.2. Высокозарядные элементы (Zr, Nb, Y, Hf) 108
5.1.3. Группа переходных металлов (Cr, Co, Ni, V, Sc) 110
5.1.4. Редкоземельные элементы (La, Sm, Gd, Yb, Lu) 110
5.2. Тонкозернистые обломочные породы 116
5.2.1. Крупноионные литофильные элементы (Cs, Ba, Rb, Sr, Th, U) 126
5.2.2. Высокозарядные элементы (Zr, Nb, Y, Hf) 126
5.2.3. Группа переходных металлов (Cr, Co, Ni, V, Sc, Cu) 128
5.2.4. Редкоземельные элементы (La, Sm, Gd, Yb, Lu) 129

Раздел 2

Основные черты формирования осадочных последовательностей верхнего докембрия Волго-Уральской области (по результатам литогеохимического изучения)

Глава 6. **Литогеохимические особенности песчаников и тонкозернистых обломочных пород как источник информации об условиях формирования осадочных толщ** 139

6.1. Песчаники 139
6.2. Тонкозернистые обломочные породы 144

Глава 7. **Рециклинг песчаного и тонкого терригенного материала в процессе формирования отложений верхнего докембрия Волго-Уральской области** 148

Глава 8. **Основные литогеохимические характеристики песчаников и тонкозернистых обломочных пород рифея и венда Волго-Уральской области** 157

8.1. Песчаники 157
8.2. Тонкозернистые обломочные породы 159

Глава 9. **Основные черты формирования осадочного выполнения Камско-Бельского авлакогена и Шкаповско-Шиханской впадины (по результатам литогеохимического изучения)** 170

9.1. Литогеохимия песчаников 170
9.2. Литогеохимия тонкозернистых обломочных пород 176
9.2.1. Палеогеодинамические обстановки формирования тонкозернистых обломочных пород 176
9.2.2. Зрелость тонкой алюмосиликокластики и палеоклимат в областях размыва 176
9.2.3. Состав пород палеоводосборов 179
9.2.4. Окислительно-восстановительные обстановки в придонном слое воды 195
9.2.5. Палеосоленость бассейнов осадконакопления 197
9.2.6. Эксгаляционный материал 199

Глава 10. **Литогеохимические особенности тонкозернистых обломочных пород рифея Камско-Бельского авлакогена и Башкирского мегантиклинория** 204

10.1. Сопоставление «коротких спектров» 205
10.2. Сопоставление «длинных спектров» 207
10.3. Сравнение медианных значений ряда индикаторных отношений элементов-примесей 215
10.4. Содержание ряда элементов-примесей в тонкозернистых обломочных породах рифея и в магматических породах – возможных источниках сноса 222

Заключение 228

Список литературы 235

Научное издание

Андрей Викторович МАСЛОВ

ЛИТОГЕОХИМИЯ ТЕРРИГЕННЫХ ПОРОД ВЕРХНЕГО ДОКЕМБРИЯ ВОЛГО-УРАЛЬСКОЙ ОБЛАСТИ

Рекомендовано к изданию ученым советом
Института геологии и геохимии им. А.Н. Заварицкого
и президиумом УрО РАН

Редактор **Т.П. Гуськова**
Технический редактор **Е.М. Бородулина**
Корректор **Г.Н. Старкова**
Компьютерная верстка **Н.С. Глушковой**

ISBN 978-5-7691-2307-8



НИСО УрО РАН № 21(12)–50. Подписано в печать 27.09.12.
Формат 70×100 1/16. Бумага типографская. Печать офсетная.
Усл. печ. л. 20. Уч.-изд. л. 20. Тираж 200 экз. Заказ №

Оригинал-макет изготовлен в РИО УрО РАН.
620990, Екатеринбург, ул. Первомайская, 91.

Отпечатано в типографии
«Уральский центр академического обслуживания».
620990, Екатеринбург, ул. Первомайская, 91.