

---

---

Научная статья

УДК 551

DOI: 10.31084/2619-0087/2024-3-4

## ПОЛОЖЕНИЕ ФИГУРАТИВНЫХ ТОЧЕК ГЛИНИСТЫХ ПОРОД СТРАТОТИПА РИФЕЯ НА РЯДЕ ДИСКРИМИНАТНЫХ ДИАГРАММ ДЛЯ РЕКОНСТРУКЦИИ СОСТАВА ПИТАЮЩИХ ПРОВИНЦИЙ

**А. В. Маслов**

*Институт геологии — обособленное структурное подразделение Федерального государственного бюджетного научного учреждения Уфимского федерального исследовательского центра Российской академии наук, 450077, г. Уфа, ул. К. Маркса, 16/2, amas2004@mail.ru*

На примере глинистых пород стратотипического разреза рифея (Башкирский мегантиклинорий, Южный Урал) выполнено сопоставление результатов реконструкции состава пород-источников тонкой алюмосиликокластики с помощью ряда дискриминантных диаграмм ( $Al_2O_3$  —  $TiO_2$ , Zr —  $TiO_2$ , Y/Ni — Cr/V, Cr/Th — Th/Sc и др.). Показано, что точки состава индивидуальных образцов глинистых пород на большинстве диаграмм образуют достаточно компактную область, в которой их совокупности, принадлежащие различным стратонам, имеют существенное перекрытие. На диаграмме F1 — F2 фигуративные точки глинистых пород присутствуют во всех ее классификационных полях, а области точек разных свит/подсвит часто не имеют перекрытия. В целом почти все проанализированные диаграммы позволяют получить достаточно сопоставимые результаты.

*Ключевые слова:* Башкирский мегантиклинорий, рифей, глинистые породы, дискриминантные диаграммы, источники сноса

*Благодарности:* При подготовке настоящей работы использован ряд данных, любезно предоставленных автору Э. З. Гареевым и М. Т. Крупениным. Привлечены также аналитические материалы, полученные по образцам глинистых пород, отобранным В. М. Горожаниным и С. Г. Ковалевым. Всем перечисленным коллегам автор искренне признателен.

Original article

## POSITION OF DATA POINTS OF THE RIPHEAN STRATOTYPE CLAY ROCKS ON THE DIAGRAMS FOR THE PROVENANCE

**A. V. Maslov**

*Institute of Geology — Subdivision of the Ufa Federal Research Centre of the Russian Academy of Sciences, 16/2, K. Marx St., Ufa, 450077, Russia, amas2004@mail.ru*

Using clay rocks of the Riphean stratotype (Bashkir meganticlinorium, Southern Urals) as an example, we compared the results of reconstructing the composition of provenances of fine-grained aluminosiliciclastics obtained by dint of a number of discriminant diagrams ( $Al_2O_3$  —  $TiO_2$ , Zr —  $TiO_2$ , Y/Ni — Cr/V, Cr/Th — Th/Sc, etc.). It is shown that the data points of individual clay rock samples on most diagrams form a fairly compact area in which their sets, belonging to different strata, have a significant overlap. In diagram F1 — F2, data points of clay rocks are present in all its classification fields, and the areas of points of different formations/subformations often do not overlap. In general, almost all the charts we analyzed provide fairly comparable results.

*Keywords:* Bashkirian meganticlinorium, Riphean, mudrocks, diagrams for provenance reconstruction

---

Для цитирования: Маслов А. В. Положение фигуративных точек глинистых пород стратотипа рифея на ряде дискриминантных диаграмм для реконструкции состава питающих провинций // Геологический вестник. 2024. № 3. С. 37–47. DOI: 10.31084/2619-0087/2024-3-4

For citation: Maslov A. V. (2024) Position of data points of the riphean stratotype clay rocks on the diagrams for the provenance. *Geologicheskii vestnik*. 2024. No. 3. P. 37–47. DOI: 10.31084/2619-0087/2024-3-4

---

© А. В. Маслов, 2024

*Acknowledgements:* In preparing this work, a number of data were used, kindly provided to the author by E. Z. Gareev and M. T. Krupenin. Analytical materials obtained from clay rock samples selected by V. M. Gorozhanin and S. G. Kovalev were also used. The author is sincerely grateful to all of these colleagues.

## Введение

Один из основных вопросов, стоящих перед исследователем при изучении осадочных толщ, — реконструкция состава пород-источников сноса. Решается этот вопрос самыми разными методами — от изучения петрографического состава галек конгломератов (если они есть в том или ином разрезе) и песчаников, анализа химического состава минералов тяжелой фракции последних до исследования литогеохимических и изотопно-геохимических особенностей песчаников и глинистых пород [Маслов и др., 2019, 2020; Бадида и др., 2020а, 2020б]. В последние годы к его решению активно привлекаются сведения об U-Pb-изотопном возрасте обломочного циркона в песчаниках, а также результаты датирования галек магматических пород в конгломератах [Маслов и др., 2018б]. В итоге только литогеохимические приемы и подходы позволяют создать множество различных диаграмм с областями состава различных источников алюмосиликокластике, опирающихся на содержание и индикаторные отношения, как ряда основных породообразующих оксидов, так и редких и рассеянных элементов. Но насколько сопоставимы получаемые при этом выводы?

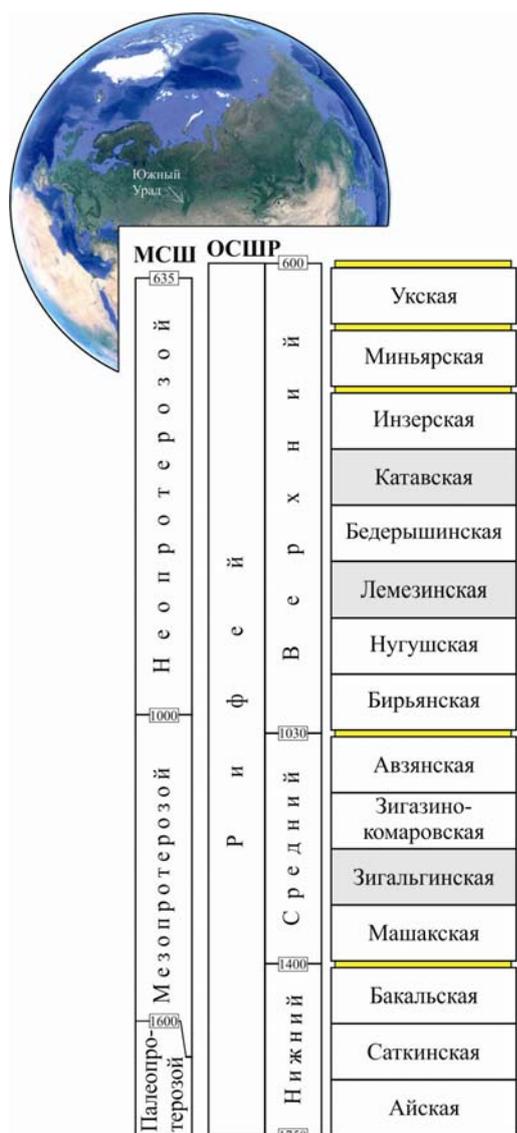
В настоящей заметке мы попытались ответить на этот вопрос, рассмотрев положение фигуративных точек глинистых пород стратотипа рифея (Башкирский мегантиклинорий, Южный Урал) на диаграммах, использующих только породообразующие оксиды (данные рентгенофлуоресцентного анализа о содержании основных породообразующих оксидов в обломочных породах, где бы он не выполнялся, почти не вызывают вопросов, тогда как к определениям содержания редких и рассеянных элементов, полученным методом ICP-MS в ряде организаций, такие вопросы все еще есть), оксид и какой-либо элемент, принадлежащий к категории редких и рассеянных, а также отношения последних или дискриминантные функции. Для упрощения задачи далее выполнен анализ только парных диаграмм.

### Литостратиграфия стратотипа рифея и особенности валового химического состава слагающих его глинистых пород

Стратотип рифея объединяет три крупные осадочные серии — бурзянскую, юрматинскую

и каратаускую (рис. 1). Названные серии сложены терригенными и карбонатными породами, а в основании бурзянской и юрматинской серий среди них присутствуют вулканиты [Стратотип. ..., 1983].

Бурзянская серия (мощность 4000–7000 м) несогласно залегает на архейско-раннепротерозойских образованиях тараташского комплекса и объединяет по периферии Тараташского антиклинория айскую, саткинскую и бакальскую свиты. Айская свита представлена терригенными (конгломераты, песчаники, глинистые сланцы) и вулканогенными породами. Возраст циркона в последних составляет  $1752 \pm 11$  млн лет [Краснобаев и др., 2013б]. Обломки пород в песчаниках навыйской подсвиты айской свиты — это микрокварциты, зерна гранулированного и полициклического кварца и слюдистые породы. Гальки в конгломератах представлены кварцитами, кварцевыми и полевошпатово-кварцевыми песчаниками, кварцито-песчаниками и фрагментами кислых магматических (субвулканических?) пород. По периферии тараташского комплекса в составе конгломератов преобладают фрагменты бластомилонитов, мигматитов, кварциты и амфиболовые гранитоиды [Ленных, Петров, 1974, 1978]. Ю. Р. Беккером с соавторами [1977] в конгломератах установлены также хорошо окатанные гальки кварцитов «шокшинского типа». Данные Л. В. Анфимова [1990 и др.] позволяют предполагать, что значительную роль в питании седиментационного бассейна начала рифея играли также осадочно-метаморфические образования. В песчаниках липовской подсвиты айской свиты наблюдаются зерна микрокварцитов, слюдистых пород, гранулированного и поликристаллического кварца. Конгломераты данного уровня сложены микроклиновыми гранитами, кварцевыми порфирами, железистыми кварцитами и измененными основными эффузивами. В песчаниках чудинской подсвиты айской свиты обломки пород представлены слюдистыми сланцами, микрокварцитами, зернами поликристаллического, полициклического и гранулированного кварца; наблюдаются также сростки кварца и плагиоклаза. Саткинская свита сложена преимущественно доломитами; резко подчиненную роль играют в ее разрезах глинистые сланцы. Бакальская свита объединяет в нижней части низкоуглеродистые глинистые сланцы, а в верхней — несколько терригенных и карбо-



**Рис. 1. Обзорная схема и сводная стратиграфическая колонка стратотипа рифея**

Условные обозначения: Серый фон — литостратиграфические подразделения, практически не содержащие глинистых пород. Желтый фон — перерывы без указания длительности. МСШ — Международная стратиграфическая шкала (версия 2022 г.). ОСШР — Общая стратиграфическая (геохронологическая) шкала России (версия 2022 г.); возраст нижних границ среднего и нижнего рифея (млн лет) показан в соответствии с представлениями [Краснобаев и др., 2013а, 2013б; Семихатов и др., 2015].

**Fig. 1. Overview diagram and a summary stratigraphic column of the Riphean stratotype**

Legend: Gray background — lithostratigraphic units containing no clay rocks.

Yellow background — breaks without specifying duration. MSW — International Stratigraphic Scale (version 2022). OSWR — General stratigraphic (geochronological) scale of Russia (version 2022); the age of the lower boundaries of the Middle and Lower Riphean (Ma) is shown in accordance with the ideas [Krasnobaev et al., 2013a, 2013b; Semikhatov et al., 2015].

натных пачек. В центральной части Башкирского мегантиклинория с указанными свитами сопоставляются соответственно большеинзерская, суранская и юшинская свиты [Стратотип..., 1983].

Юрматинская серия (мощность 4500–6000 м) по периферии Тараташского антиклинория объединяет зигальгинскую, зигазино-комаровскую и авзянскую свиты. Зигальгинская свита сложена почти исключительно кварцевыми кварцитовидными песчаниками и кварцито-песчаниками. Зигазино-комаровская свита состоит из пачек переслаивания глинистых сланцев, алевролитов и песчаников. Авзянская свита объединяет несколько карбонатных и терригенных толщ. В центральной части мегантиклинория ниже зигальгинской свиты (согласно с ней и несогласно на подстилающей юшинской свите) залегает машакская свита, сложенная песчаниками, конгломератами и тонкозернистыми обломочными породами, метабазами и метариолитами. Циркон из последних имеет U — Pb возраст  $1383 \pm 3$ ,  $1386 \pm 5$  и  $1386 \pm 6$  млн лет [Краснобаев и др., 2013а]. Среди обломков пород в песчаниках машакской свиты наблюдаются алевролиты, микрокварциты, «зеленые» сланцы, гематитизированные фрагменты основных вулканитов и карбонатных (?) пород [Парначев и др., 1986]. Конгломераты в разрезах этого уровня стратотипа рифея слагаются исключительно бедной гаммой обломков пород [Швецов, 1974; Ротарь, 1976; Парначев и др., 1986]. Среди них преимущественно встречаются гальки кварцито-песчаников; в конгломератах нижних подсвит машакской свиты иногда можно видеть обломки филлитовидных сланцев. Изредка диагностируются железистые кварцито-песчаники, в том числе субаркозовые, и песчанико-кварциты, обломки измененных основных эффузивов.

Каратауская серия (мощность 3500–6000 м) в западной и центральной зонах Башкирского мегантиклинория объединяет зильмердакскую, катавскую, инзерскую, миньярскую и укскую свиты. Зильмердакская свита включает четыре подсвиты. Нижняя (бирьянская) в основном сложена аркозовыми песчаниками. Вторая и четвертая подсвиты (нугушская и бедерьшинская) представлены пачками переслаивания песчаников, алевролитов, глинистых сланцев и аргиллитов. Третья снизу подсвита (лемезинская) объединяет почти исключительно кварцевые кварцитовидные песчаники. U — Pb изотопный возраст самого молодого зерна обломочного циркона в песчаниках бирьянской подсвиты составляет  $964 \pm 57$  млн лет [Маслов

и др., 2018a]. В песчаниках бирьянской подсвиты зильмердакской свиты содержится довольно широкий спектр обломков пород [Маслов, 1983, 1990]. Это сростки кварца и плагиоклаза или калиевого полевого шпата, микрокварциты, кварцевые песчаники, кварцевые и полевошпатово-кварцевые алевролиты, слюдистые и слюдисто-кварцевые сланцы, зерна гранулированного, поликристаллического и полициклического кварца, а также микропегматиты, фрагменты микропертитов и основной массы кислых эффузивов. Гальки конгломератов представлены кварцевыми, полевошпатово-кварцевыми и граувакково-аркозовыми песчаниками, микрокварцитами, песчанико-кварцитами, кварцито-песчаниками и собственно кварцитами; изредка наблюдаются гальки окварцованных кислых эффузивов. Катавская свита сложена преимущественно глинистыми известняками и мергелями. Инзерская свита представлена пачками переслаивания глауконито-кварцевых песчаников, алевролитов и аргиллитов; в основании свиты в ряде ее западных и северо-западных разрезов присутствуют известняки — т. н. подинзерские слои. Миньярская свита сложена в основном доломитами. Укская свита объединяет аргиллиты, песчаники и известняки.

### Фактический материал

Для рассмотрения положения фигуративных точек глинистых пород стратотипа рифея на дискриминантных диаграммах, позволяющих судить о составе пород в областях размыва, нами использована база данных о валовом химическом составе тонкозернистых отложений — аргиллитов, глинистых сланцев и глинистых алевролитов, включающая сведения о содержании основных породообразующих оксидов и редких и рассеянных элементов в 76 образцах, отобранных из хорошо известных естественных разрезов стратотипа рифея и некоторых скважин. К их числу принадлежат разрезы айской свиты по р. Ай выше г. Куся и в окрестностях гор Бол. и Мал. Миасс, разрез половинкинской подсвиты саткинской свиты в г. Сатка, разрез макаровской (нижней) подсвиты бакальской свиты на северной окраине г. Бакал и разрезы малобакальской (верхней) подсвиты той же свиты в карьерах Бакальского рудоуправления, фрагменты разрезов машакской свиты на хр. Бол. Шатак, обнажения зигазино-комаровской и авзянской свит в районе бывшего хут. Катаскин, разрезы и их фрагменты зильмердакской свиты

на восточном склоне хр. Зильмердак, в долине р. Мал. Инзер ниже д. Реветь, на южной окраине г. Миньяр, по правому борту долины р. Лемеза выше устья руч. Шаркраук, в долине р. Сатки в районе д. Пороги, фрагменты разрезов и обнажения инзерской свиты в окрестностях пос. Инзер и г. Катав-Ивановск, разрез миньярской свиты в щебеночном карьере над ж. д. ст. Бьянка, фрагменты разрезов нижней подсвиты укской свиты в окрестностях хут. Кулмас и на восточной окраине г. Усть-Катав. Информация о строении большинства названных объектов приведена в монографии [Маслов и др., 2001].

Определение содержания основных породообразующих оксидов в глинистых породах проведено в разные годы в ПГО «Башкиргеология» (г. Уфа), ИГГ УрО РАН (г. Екатеринбург) и ИГ УФИЦ РАН (г. Уфа) методами «мокрой химии» и рентгенофлуоресцентного анализа (РФА). Точность исследований методом РФА в ИГГ УрО РАН составляла 1–5% для элементов, с содержанием выше 1–5 мас. %, и до 12–15% для элементов с концентрацией ниже 0.5 мас. %. Содержание редких и рассеянных элементов установлено в ИГГ УрО РАН методом ICP-MS. Пределы их обнаружения составляли от 0.005 до 0.1 г/т при точности анализа 3–15 отн. %.

Присущие глинистым породам стратотипа рифея значения  $(\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O}) / \text{Al}_2\text{O}_3$  и  $(\text{Fe}_2\text{O}_3^* + \text{MgO}) / \text{SiO}_2$  в соответствии с систематикой глинистых пород по валовому химическому составу [Юдович, Кетрис, 2000], позволяют считать их исходно каолиновыми (?), смектитовыми с примесью каолинита и иллита, хлорит-смектит-иллитовыми и иллитовыми глинам [Маслов, Подковыров, 2023]. На графике  $\text{K}/\text{Al} - \text{Mg}/\text{Al}$  [Turgeon, Brumsack, 2006] фигуративные точки глинистых пород тяготеют к референтной точке иллита. Свойственные глинистым породам рифея величины  $\text{K}_2\text{O} / \text{Al}_2\text{O}_3$  и  $\text{Ga} / \text{Rb}$  также дают основание предполагать, что среди них преобладают иллитовые разности [Маслов и др., 2016]. Степень постседиментационных изменений пород рифея Башкирского мегантиклинория варьирует от метагенеза до начального катагенеза [Анфимов, 1997; Кагарманова, 1998]. Существенными вторичными (постседиментационными) изменениями валового химического состава глинистые породы стратотипа рифея затронуты слабо.

По данным [Юдович, Кетрис, 2000], в обломочных породах, сложенных материалом, прошедшим только один седиментационный цикл, как правило,

сохраняется свойственная материнским магматическим породам корреляция между различными петрохимическими модулями. Например, между титановым ( $ТМ = TiO_2 / Al_2O_3$ ) и железным ( $ЖМ = (Fe_2O_3^* + MnO) / (TiO_2 + Al_2O_3)$ ) модулями наблюдается положительная корреляция, а между модулями общей щелочности ( $НКМ = (Na_2O + K_2O) / Al_2O_3$ ) и гидролизатным ( $ГМ = (Al_2O_3 + TiO_2 + Fe_2O_3^* + MnO) / SiO_2$ ) — отрицательная. В выборке глинистых сланцев рифея ТМ и ЖМ имеют коэффициент корреляции 0.154 (при  $n = 76$ , эта величина  $r_{xy}$  для 5%-ного уровня значимости не является статистически достоверной [Соловов, Матвеев, 1985]), а НКМ и ГМ связаны статистически значимой отрицательной корреляцией ( $r = -0.465$ ). Отношение  $K_2O / Al_2O_3$  в глинистых породах является еще одним индикатором природы тонкой алюмосиликокластики [Cox, Lowe, 1995; Cox et al., 1995]. Если глинистые породы сложены в основном литогенным материалом, то им свойственны значениями  $K_2O / Al_2O_3 < 0.3$ . Для пород, в составе которых преобладает материал первого седиментационного цикла, величина  $K_2O / Al_2O_3 > 0.4$ . Для всей рассматриваемой нами в настоящей заметке выборки глинистых пород рифея значение  $K_2O / Al_2O_3$  равно  $0.33 \pm 0.13$ . Это предполагает, что в их составе есть определенная доля литогенного материала. Напротив, исходя из локализации фигуративных точек глинистых пород на диаграмме  $Zr / Sc — Th / Sc$  [McLennan et al., 1993] представляется, что в составе глинистых сланцев, аргиллитов и мелкозернистых алевролитов стратотипа рифея преобладает тонкая алюмосиликокластика первого седиментационного цикла (т.е. петрогенный материал) (рис. 2).

### Обсуждение фактического материала

На диаграмме  $Al_2O_3 — TiO_2$  [McLennan et al., 1979] фигуративные точки индивидуальных образцов глинистых пород стратотипа рифея расположены достаточно компактно и образуют область, описываемую значениями  $15 < Al_2O_3 < 22$  мас. % и  $0.5 < TiO_2 < 1.1$  мас. % (рис. 3а). Значительная часть точек расположена между линиями диаграммы «6 гранит + 1 базальт» и «3 гранит + 1 базальт». Несколько меньше их находится между линиями «Базальт» и «3 гранит + 1 базальт» ближе к последней. Все это дает основание считать, что источниками тонкой алюмосиликокластики для глинистых пород стратотипа рифея являлись преимущественно магматические и метаморфи-

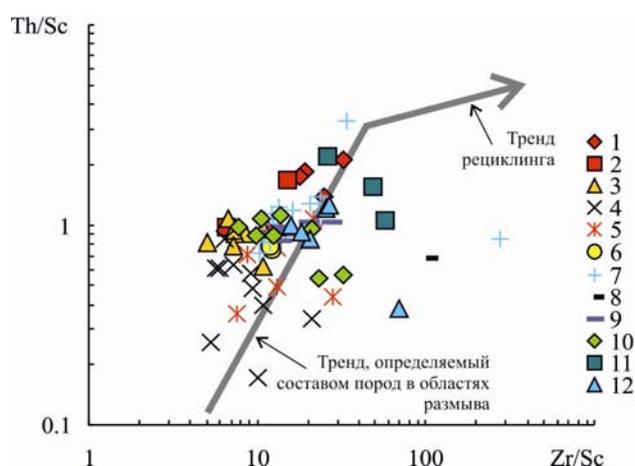


Рис. 2. Распределение фигуративных точек индивидуальных образцов глинистых пород стратотипа рифея на диаграмме  $Zr/Sc — Th/Sc$

Условные обозначения: Свиты и подсвиты: 1 — айская; 2 — саткинская; 3 — бакальская; 4 — машакская; 5 — зигазино-комаровская; 6 — авзянская; 7 — бирьянская; 8 — нугушская; 9 — бедерышинская; 10 — инзерская; 11 — миньярская; 12 — укская.

Fig. 2. Distribution of data points of individual samples of the Riphean stratotype clay rocks on the  $Zr/Sc — Th/Sc$  diagram

Legend: Formations and subformations: 1 — Ai; 2 — Satka; 3 — Bakal; 4 — Mashak; 5 — Zigaza-Komarovo; 6 — Avzyan; 7 — Biryani; 8 — Nugush; 9 — Bederysh; 10 — Inzer; 11 — Minyar; 12 — Uk.

ческие (гнейсы, гранито-гнейсы) породы кислого состава. Единичные фигуративные точки глинистых пород машакской и миньярской свит, а также бедерышинской подсвиты зильмердакской свиты тяготеют к линии «Базальт». Если это не артефакт, то, вероятно, в их составе присутствует существенная доля продуктов размыва основных магматических пород, но, как хорошо известно, роль такого рода материала быстро снижается уже недалеко от его источников.

Средняя для всей совокупности проанализированных нами глинистых пород точка состава расположена почти точно на линии «3 гранит + 1 базальт» (см. рис. 3б). Таким образом, распределение фигуративных точек глинистых пород стратотипа рифея на диаграмме  $Al_2O_3 — TiO_2$  позволяет считать, что на протяжении более 1 млрд лет в областях сноса преобладали магматические и метаморфические породы кислого состава вместе с метаосадочными образованиями.

На графике  $Zr — TiO_2$  [Hayashi et al., 1977] подавляющее большинство точек состава индивидуальных образцов глинистых пород стратотипа рифея локализовано в области значений, характерных для кислых магматических и метаморфических пород (см. рис. 3в). Лишь несколько

точек глинистых сланцев саткинской, бакальской и машакской свит расположены не в указанной области, что предполагает присутствие в них несколько более основного материала. Средняя для всей совокупности образцов точка расположена в области составов, типичных для продуктов размыва кислых субстратов (см. рис. 3 г). В итоге положение фигуративных точек глинистых пород стратотипа рифея на рассматриваемой диаграмме сопоставимо с тем, что мы видим и на графике  $Al_2O_3 — TiO_2$ .

На диаграмме  $Y / Ni — Cr / V$  [Mongelli et al., 2006] вся совокупность фигуративных точек индивидуальных образцов глинистых пород, как и средняя точка, расположены ближе к референтной точке гранита (рис. 4а, 4б). По данным К. Конди [Condie, 1993], значения  $Y / Ni$  и  $Cr / V$  для средних протерозойских гранитов составляют 3 и 0.9, а для средних архейских гранитов — 1.67 и 1.07. Для среднего состава глинистых сланцев стратотипа рифея эти параметры, по нашим данным, равны  $0.70 \pm 0.63$  и  $1.13 \pm 0.48$ , что подразумевает существенное преобладание в составе исследуемых тонкозернистых обломочных пород продуктов разрушения кислых магматических и метаморфических образований.

Еще одна диаграмма, на которой ее авторами показано соотношение продуктов размыва кислых и основных магматических пород, это диаграмма  $Cr / Th — Th / Sc$  в версии, предложенной в публикации [Bracciali et al., 2007]. Подавляющее большинство точек состава индивидуальных образцов глинистых пород стратотипа рифея расположено здесь в области значений, характерных для обломочных пород с содержанием от 10 до 40% продуктов эрозии основных магматических пород (см. рис. 4в). Вблизи референтной области «Основные магматические породы» на данном графике локализованы одна точка аргиллитов укской свиты и две точки тонкозернистых обломочных пород машакской свиты. Весьма большая величина  $Cr / Th$  (если это не артефакт) свойственна одному образцу аргиллитов нугушской подсвиты зильмердакской свиты. Положение средней точки состава глинистых пород стратотипа рифея на рассматриваемой диаграмме ( $Cr / Th_{\text{среднее}} — 14.56 \pm 20.40$  и  $Th / Sc_{\text{среднее}} — 0.97 \pm 0.47$ ) отвечает присутствию в них примерно 20–30% продуктов разрушения основных магматических пород (рис. 4 г). Таким образом, из распределения и на данном графике точек состава глинистых пород очевидно преобладание в них кислой тонкой алюмосиликокластики.

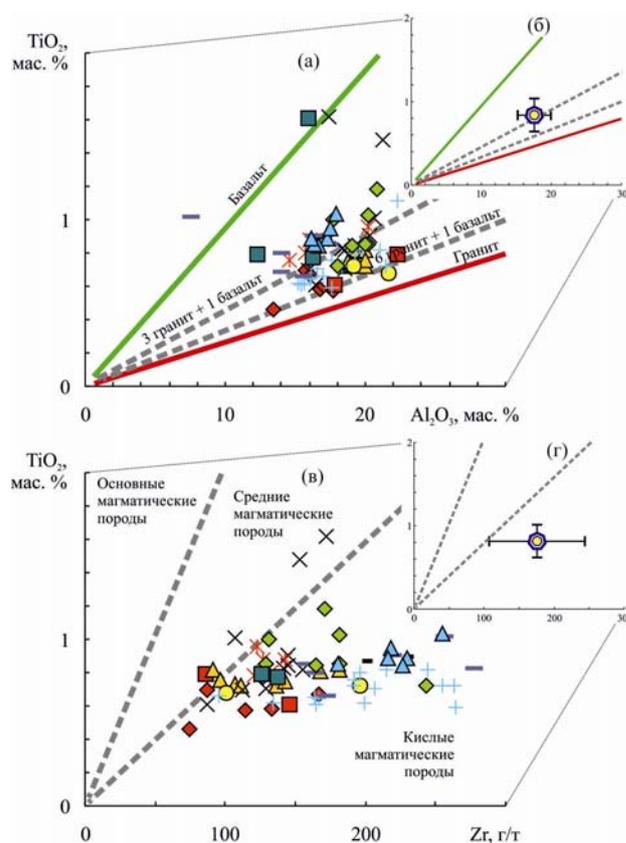


Рис. 3. Положение точек состава индивидуальных образцов глинистых пород стратотипа рифея (а, в) и средней для всей исследуемой выборки их точки (б, г) на диаграммах  $Al_2O_3 — TiO_2$  и  $Zr — TiO_2$ . Условные обозначения см. рис. 2.

Fig. 3. Position of the data points of individual samples of the Riphean stratotype clay rocks (a, v) and their average point (б, г) on the  $Al_2O_3 — TiO_2$  and  $Zr — TiO_2$  diagrams. Legend see on fig. 2.

Широко известная диаграмма  $La / Sc — Th / Co$  [Cullers, 2002] также демонстрирует, что за исключением нескольких индивидуальных образцов тонкозернистых обломочных пород машакского стратиграфического уровня, подавляющее большинство других сложено продуктами размыва кислых магматических образований (рис. 5а). В указанном поле находится и средняя для всей выборки точка (см. рис. 5б).

Таким образом, распределение индивидуальных и средних точек состава глинистых пород типового разреза рифея на всех рассмотренных выше диаграммах позволяет считать, что преобладающая доля слагающей их тонкой алюмосиликокластики сформирована за счет эрозии на палеоводосборах кислых магматических

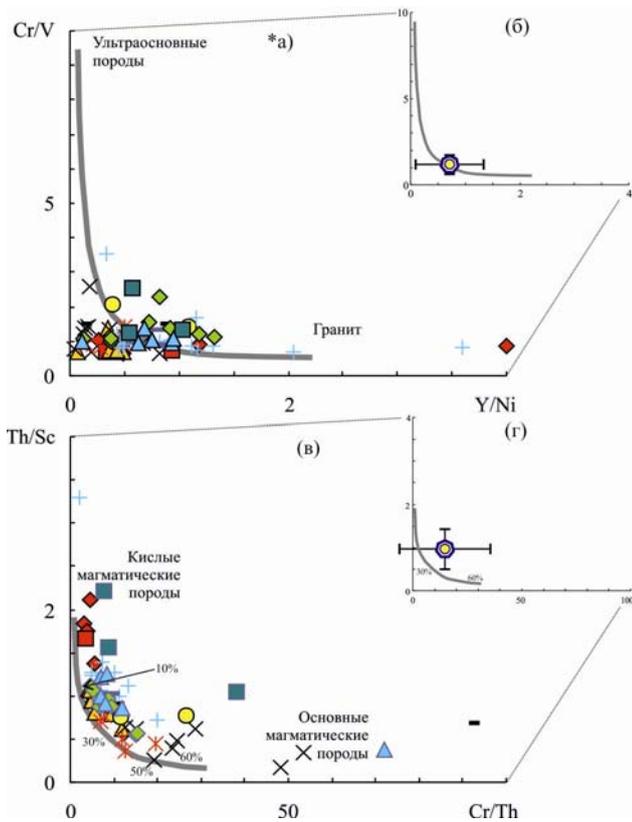


Рис. 4. Положение точек состава индивидуальных образцов глинистых пород стратотипа рифея (а, в) и средней для всей исследуемой выборки их точки (б, г) на диаграммах Y / Ni — Cr / V и Cr / Th — Th / Sc. Условные обозначения см. рис. 2.

Fig. 4. Position of the data points of individual samples of the Riphean stratotype clay rocks (a, v) and their average point (б, г) on the Y / Ni — Cr / V and Cr / Th — Th / Sc diagrams. Legend see on fig. 2.

и метаморфических образований. Это хорошо согласуется и с данными микропетрографического исследования состава песчаников и конгломератов ряда стратонев бурзянской, юрматинской и каратауской серий.

Несколько иначе расположены индивидуальные точки состава глинистых пород стратотипа рифея на диаграмме F1 — F2 [Roser, Korsch, 1988] (см. рис. 5в). Они присутствуют во всех класси-

<sup>1</sup>  $F1 = 30.638 (TiO_2 / Al_2O_3) - 12.541 (Fe_2O_3^* / Al_2O_3) + 7.329 (MgO / Al_2O_3) + 12.031 (Na_2O / Al_2O_3) + 35.402 (K_2O / Al_2O_3) - 6.382$ ;  $F2 = 56.5 (TiO_2 / Al_2O_3) - 10.879 (Fe_2O_3^* / Al_2O_3) + 30.875 (MgO / Al_2O_3) - 5.404 (Na_2O / Al_2O_3) + 11.112 (K_2O / Al_2O_3) - 3.89$ .  $Fe_2O_3^*$  — везде в тексте суммарное железо в виде  $Fe_2O_3$ .

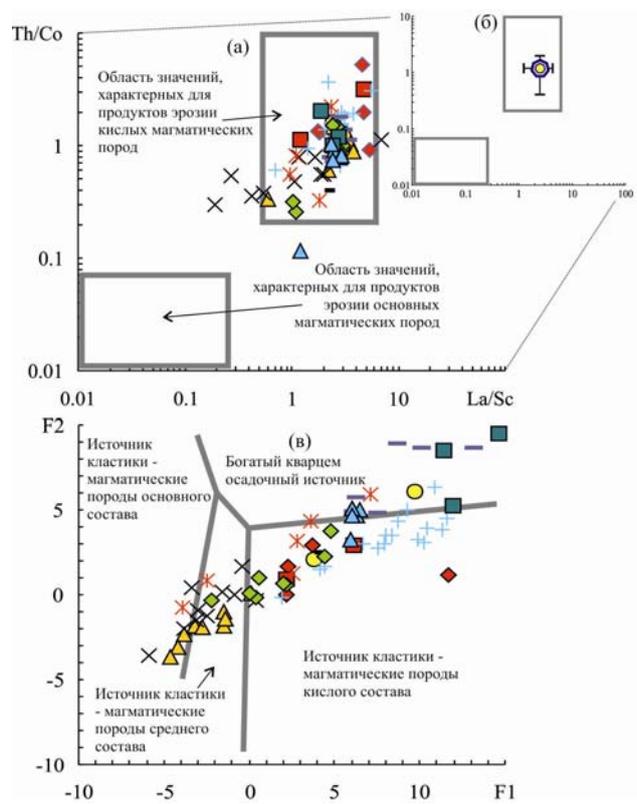


Рис. 5. Положение точек состава индивидуальных образцов глинистых пород стратотипа рифея (а, в) и средней для всей исследуемой выборки их точки (б) на диаграммах La / Sc — Th / Co и F1 — F2. Условные обозначения см. рис. 2.

Fig. 5. The position of the data points of individual samples of the Riphean stratotype clay rocks (a, v) and their average point (б) on the La / Sc — Th / Co and F1 — F2 diagrams. Legend see on fig. 2.

фикационных полях данного графика, образуя некий тренд от области относительно небольших величин F1 и F2, где локализованы фигуративные точки глинистых пород бакальской (это довольно странно, так как на большинстве рассмотренных выше графиков глинистые породы данного уровня бурзяния располагались среди составов с высокой долей кислой алюмосиликокластики) и машакской свит, до области достаточно высоких значений дискриминантных функций, где находятся в основном точки глинистых сланцев и аргиллитов бирьянской подсвиты зильмердакской свиты, миньярской и укской свит. Здесь же в поле «Богатого кварцем осадочного источника» находятся почти все точки состава аргиллитов бедерышинской подсвиты зильмердакской свиты. Такое распределение фигуративных точек глинистых пород

рифеев на графике F1 — F2 в какой-то мере адекватно их распределению на других диаграммах, рассмотренных в этой заметке, но ряд его особенностей вызывает вопросы, на которых мы здесь останавливаться не будем.

### Выводы

Фигуративные точки индивидуальных образцов глинистых пород рифея Южного Урала на большинстве проанализированных диаграмм образуют достаточно компактную область, в которой их совокупности, принадлежащие различным стратонам, имеют существенное перекрытие. Особенности распределения точек состава на диаграммах  $Al_2O_3$  —  $TiO_2$ ,  $Zr$  —  $TiO_2$ ,  $Y/Ni$  —  $Cr/V$ ,  $Cr/Th$  —  $Th/Sc$  и  $La/Sc$  —  $Th/Co$  предполагают, что источниками доминирующей части слагающей глинистые породы тонкой алюмосиликокластики являлись кислые магматические и метаморфические породы. На диаграмме F1 — F2 точки состава глинистых пород стратотипа рифея локализованы во всех классификационных полях диаграммы, а совокупности их, принадлежащие разным свитам/подсвитам, часто не имеют перекрытия (например, миньярская и укская свиты, бирьянская подсвита и машакская свита, бакальская свита и бедерышинская подсвита). Возможно, что это связано как с особенностями расчета дискриминантных функций, где учитываются почти все основные породообразующие оксиды, так и с более «тонкой» реакцией данной диаграммы на состав пород-источников тонкой алюмосиликокластики для глинистых пород стратотипа рифея. В целом же почти все из проанализированных в данной заметке диаграмм позволяют получить вполне сопоставимые результаты.

### Список литературы

- Анфимов Л. В.* Литогенез в рифейских осадочных толщах Башкирского мегантиклинория (Ю. Урал). Екатеринбург: УрО РАН, 1997. 288 с.
- Анфимов Л. В.* Типоморфизм обломочного кварца из песчаников базальных толщ рифея на западном склоне Южного Урала // Региональная минералогия Урала. Тез. докл. Свердловск: УрО АН СССР, 1990. С. 150–153.
- Бадида Л. В., Маслов А. В., Мизенс Г. А.* Реконструкция состава пород питающих провинций. Статья 3. Современные методы исследования тяжелых обломочных минералов (гранатов, турмалинов, хромшпинелидов, рутила и др.) // Литосфера. 2020а. Т. 20. № 2. С. 149–167.
- Бадида Л. В., Маслов А. В., Мизенс Г. А.* Реконструкция состава пород питающих провинций. Статья 4. Современные

методы исследования тяжелых обломочных минералов (цирконов, апатитов) // Литосфера. 2020б. Т. 20. № 3. С. 363–385.

*Беккер Ю. Р., Солонцов Л. Ф., Аксенов Е. М.* Корреляция верхнего докембрия (рифеев) Русской платформы и ее обрамления // Корреляция докембрия. Т. 2. Металлогения докембрия. М.: Наука, 1977. С. 172–189.

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

*Кагарманова Н. И.* Глинистые породы рифея Башкирского мегантиклинория. Екатеринбург: ИГГ УрО РАН, 1998. 158 с.

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

*Ленных В. И., Петров В. И.* Новые данные о магматизме и метаморфизме пород западного склона Южного Урала в связи с историей его тектонического развития // Тектоника и магматизм Южного Урала. М.: Наука, 1974. С. 129–141.

*Ленных В. И., Петров В. И.* Стратиграфия айской свиты и проблема ее возраста // Вулканизм, метаморфизм и железистые кварциты обрамления Тараташского комплекса. Свердловск: УНЦ АН СССР, 1978. С. 33–43.

*Маслов А. В.* Основные петрографические особенности псаммитовых пород бирьянской подсвиты зильмердакской свиты в стратотипическом разрезе // Стратиграфия и литология верхнего докембрия и палеозоя Южного Урала и Приуралья. Уфа: БФАН СССР, 1983. С. 12–17.

*Маслов А. В.* Рифейские аркозовые комплексы Южного Урала // Литология и полезные ископаемые. 1990. № 4. С. 29–42.

*Маслов А. В., Ерохин Е. В., Гердес А., Ронкин Ю. Л., Иванов К. С.* Первые результаты U — Pb LA-ICP-MS-изотопного датирования обломочных цирконов из аркозовых песчаников бирьянской подсвиты зильмердакской свиты верхнего рифея (Южный Урал) // Доклады академии наук. 2018а. Т. 482. № 5. С. 558–561.

*Маслов А. В., Крупенин М. Т., Гареев Э. З., Анфимов Л. В.* Рифей западного склона Южного Урала (классические разрезы, седименто- и литогенез, минерогения, геологические памятники природы). Екатеринбург: ИГГ УрО РАН, 2001. Т. I. 351 с., Т. II. 134 с., Т. III. 130 с. Т. IV. 103 с.

*Маслов А. В., Мельничук О. Ю., Мизенс Г. А., Титов Ю. В.* Реконструкция состава пород питающих провинций. Статья 1. Минералого-петрографические подходы и методы // Литосфера. 2019. Т. 19. № 6. С. 813–839.

*Маслов А. В., Мельничук О. Ю., Мизенс Г. А., Титов Ю. В., Червяковская М. В.* Реконструкция состава пород питающих провинций. Статья 2. Литологический и изотопно-геохимические подходы и методы // Литосфера. 2020. Т. 20. № 1. С. 40–62.

Маслов А. В., Подковыров В. Н. Интенсивность химического выветривания в позднем докембрии: новые данные по стратотипу рифея (Южный Урал) // Стратиграфия. Геологическая корреляция. 2023. Т. 31. № 2. С. 109–124.

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

Маслов А. В., Школьник С. И., Летникова Е. Ф., Вишневская И. А., Иванов А. В., Страховенко В. Д., Черкашина Т. Ю. Ограничения и возможности литогеохимических и изотопных методов при изучении осадочных толщ. Новосибирск: ИГМ СО РАН, 2018б. 383 с.

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

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

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

Соловов А. П., Матвеев А. А. Геохимические методы поисков рудных месторождений. — М.: Изд-во МГУ, 1985. — 232 с.

Стратотип рифея. Стратиграфия. Геохронология / Отв. ред. Келлер Б. М., Чумаков Н. М. М.: Наука, 1983. 184 с.

Швецов П. Н. Нижний и средний рифей западного склона Башкирского Урала (основы структурно-формационного анализа) / Автореф. дис. ... канд. геол.-мин. наук. Казань: Казанский госуниверситет, 1974. 19 с.

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

Braccialli L., Marroni M., Pandolfi L., Rocchi S. Geochemistry and petrography of Western Tethys Cretaceous sedimentary covers (Corsica and Northern Apennines): from source areas to configuration of margins // Sedimentary Provenance and Petrogenesis: Perspectives from Petrography and Geochemistry / Eds Arribas J., Critelli S., Johnsson M. J. Geological Society of America. Special Paper. 2007. No 420. P. 73–93. DOI: <https://doi.org/10.1130/2006.2420> (06)

Condie K. C. Chemical composition and evolution of the upper continental crust: contrasting results from surface samples and shales // Chemical Geology. 1993. V. 104. P. 1–37. DOI: [https://doi.org/10.1016/0009-2541\(93\)90140-E](https://doi.org/10.1016/0009-2541(93)90140-E)

Cox R., Lowe D. R. Controls on sediment composition on a regional scale: a conceptual review // Journal of Sedimentary Research. 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 // Geochimica at Cosmochimica Acta. 1995. V. 59. P. 2919–2940.

Cullers R. L. Implications of elemental concentrations for provenance, redox conditions, and metamorphic studies of shales and limestones near Pueblo, CO, USA // Chemical Geology. 191 (4), 305–327. [https://doi.org/10.1016/S0009-2541\(02\)00133-X](https://doi.org/10.1016/S0009-2541(02)00133-X)

Hayashi K., Fujisawa H., Holland H., Ohmoto H. Geochemistry of ~1.9 Ga sedimentary rocks from northeastern Labrador, Canada // Geochimica at Cosmochimica Acta. 1977. V. 61. P. 4115–4137. [https://doi.org/10.1016/S0016-7037\(97\)00214-7](https://doi.org/10.1016/S0016-7037(97)00214-7)

McLennan S. M., Fryer B. J., Young G. M. The geochemistry of the carbonate-rich Espanola Formation (Huronian) with emphasis on the rare earth elements // Canadian Journal of Earth Sciences. 1979. V. 16. P. 230–239. <https://doi.org/10.1139/e79-022>

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 / Eds Johnsson M. J., Basu A. Geological Society of America. Special Paper. 1993. No. 284. P. 21–40. DOI: <https://doi.org/10.1130/SPE284-p21>

Mongelli G., Critelli S., Perri F., Sonnino M., Perrone V. Sedimentary recycling, provenance and paleoweathering from chemistry and mineralogy of Mesozoic continental redbed mudrocks, Peloritani Mountains, Southern Italy // Geochemical Journal. 2006. V. 40. P. 197–209. DOI: [10.2343/geochemj.40.197](https://doi.org/10.2343/geochemj.40.197)

Roser B. P., Korsch R. J. Provenance Signatures of Sandstone-Mudstone suites determined using discriminant function analysis of major-element data // Chemical Geology. 1988. V. 67. P. 119–139. [https://doi.org/10.1016/0009-2541\(88\)90010-1](https://doi.org/10.1016/0009-2541(88)90010-1)

Turgeon S., Brumsack H.-J. Anoxic vs dysoxic events reflected in sediment geochemistry during the Cenomanian-Turonian Boundary Event (Cretaceous) in the Umbria-Marche basin of central Italy // Chemical Geology. 2006. V. 234. P. 321–339. DOI: [10.1016/j.chemgeo.2006.05.008](https://doi.org/10.1016/j.chemgeo.2006.05.008)

## References

Anfimov L. V. (1997) Litogenez v rifeyskikh osadochnykh tolshchakh Bashkirskogo megantiklinoriya (Yu. Ural) [Lithogenesis in the Riphean sedimentary strata of the Bashkir meganticlinorium (S. Urals)]. Ekaterinburg: UB RAS. 288 p. (In Russian).

Anfimov L. V. (1990) Tipomorfizm oblomochnogo kvartsa iz peschanikov bazal'nykh tolshch rifeya na zapadnom sklone Yuzhnogo Urala [Typomorphism of detrital quartz from sandstones of the basal Riphean strata on the western slope of the Southern Urals]. *Regional mineralogy of the Urals*. Abstract volume. Sverdlovsk: UB USSR Academy of Sciences. P. 150–153. (In Russian).

Badida L. V., Maslov A. V., Misens G. A. (2020a) Rekonstruktsiya sostava porod pitayushchikh provintsiy. Stat'ya 3. Sovremennyye metody issledovaniya tyazhelykh oblomochnykh mineralov (granatov, turmalinov, khromshpinelidov, rutila i dr.) [Reconstruction of the composition of the rocks of the feeding provinces. Article 3. Modern methods

- for studying heavy clastic minerals (garnets, tourmalines, chrome spinels, rutile, etc.). *Lithosphere*, 20 (2), 149–167. DOI: 10.24930/1681-9004-2020-20-2-149-167 (In Russian).
- Badida L. V., Maslov A. V., Misens G. A. (2020) Rekonstruktsiya sostava porod pitayushchikh provintsiy. Stat'ya 4. Sovremennyye metody issledovaniya tyazhelykh oblomochnykh mineralov (tsirkonov, apatitov) [Reconstruction of the composition of the rocks of the feeding provinces. Article 4. Modern methods for studying heavy clastic minerals (zircons, apatites)]. *Lithosphere*, 20 (3), 363–385. DOI: 10.24930/1681-9004-2020-20-3-363-385 (In Russian).
- Bekker Yu. R., Solontsov L. F., Aksenov E. M. (1977) Korrelyatsiya verkhnego dokembriya (rifeya) Russkoy platformy i yeye obramleniya [Correlation of the Upper Precambrian (Riphean) of the Russian Platform and its framing]. *Correlation of the Precambrian. V. 2. Metallogeny of the Precambrian*. Moscow: Nauka Publ. 172–189. (In Russian).
- Braccialli L., Marroni M., Pandolfi L., Rocchi S. (2007) Geochemistry and petrography of Western Tethys Cretaceous sedimentary covers (Corsica and Northern Apennines): from source areas to configuration of margins. *Sedimentary Provenance and Petrogenesis: Perspectives from Petrography and Geochemistry* / Eds Arribas J., Critelli S., Johnsson M. J. Geological Society of America. Special Paper, No 420, 73–93. DOI: [https://doi.org/10.1130/2006.2420\(06\)](https://doi.org/10.1130/2006.2420(06))
- Condie K. C. (1993) Chemical composition and evolution of the upper continental crust: contrasting results from surface samples and shales. *Chemical Geology*, 104, 1–37. DOI: [https://doi.org/10.1016/0009-2541\(93\)90140-E](https://doi.org/10.1016/0009-2541(93)90140-E)
- Cox R., Lowe D. R. (1995) Controls on sediment composition on a regional scale: a conceptual review. *Journal of Sedimentary Research*, A65, 1–12.
- Cox R., Lowe D. R., Cullers R. L. (1995) The influence of sediment recycling and basement composition on evolution of mudrock chemistry in the southwestern United States. *Geochimica at Cosmochimica Acta*, 59, P. 2919–2940. [https://doi.org/10.1016/0016-7037\(95\)00185-9](https://doi.org/10.1016/0016-7037(95)00185-9)
- Cullers R. L. (2002) Implications of elemental concentrations for provenance, redox conditions, and metamorphic studies of shales and limestones near Pueblo, CO, USA. *Chemical Geology*, 191 (4), 305–327. DOI: [https://doi.org/10.1016/S0009-2541\(02\)00133-X](https://doi.org/10.1016/S0009-2541(02)00133-X)
- Hayashi K., Fujisawa H., Holland H., Ohmoto H. (1977) Geochemistry of ~1.9 Ga sedimentary rocks from northeastern Labrador, Canada. *Geochimica at Cosmochimica Acta*, 61, 4115–4137. [https://doi.org/10.1016/S0016-7037\(97\)00214-7](https://doi.org/10.1016/S0016-7037(97)00214-7)
- Kagarmanova N. I. (1998) Glinistyye porody rifeya Bashkirskogo megantiklinoriya [Riphean mudrocks of the Bashkirian meganticlinorium]. Ekaterinburg: IGG UB RAS, 158 p. (In Russian).
- Krasnobaev A. A., Kozlov V. I., Puchkov V. N., Sergeeva N. D., Busharina S. V., Lepekhina E. N. (2013a) Zirconology of Navysh volcanic rocks of the Ai suite and the problem of the age of the Lower Riphean boundary in the Southern Urals. *Doklady Earth Sciences*, 448 (2), 185–190. <https://doi.org/10.1134/S1028334X13020050>
- Krasnobaev A. A., Kozlov V. I., Puchkov V. N., Busharina S. V., Sergeeva N. D., Paderin I. P. (2013b) Zircon geochronology of the Mashak volcanic rocks and the problem of the age of the Lower-Middle Riphean boundary (Southern Urals). *Stratigraphy and Geological Correlation*, 21 (5), 465–481. <https://doi.org/10.1134/S0869593813050055>
- Lennykh V. I., Petrov V. I. (1974) Novyye dannyye o magmatizme i metamorfizme porod zapadnogo sklona Yuzhnogo Urala v svyazi s istoriyey yego tektonicheskogo razvitiya [New data on magmatism and metamorphism of rocks on the western slope of the Southern Urals in connection with the history of its tectonic development]. *Tectonics and magmatism of the Southern Urals*. Moscow: Nauka Publ. 129–141. (In Russian).
- Lennykh V. I., Petrov V. I. (1978) Stratigrafiya ayskoy svity i problema yeye vozrasta [Stratigraphy of the Ai formation and the problem of its age]. *Volcanism, metamorphism and ferruginous quartzites framing the Taratash complex*. Sverdlovsk: UC USSR Academy of Sciences. 33–43. (In Russian).
- Maslov A. V. (1983) Osnovnyye petrograficheskiye osobennosti psammitovykh porod bir'yanskoy podsvity zil'merdakskoy svity v stratotipicheskom razreze [Main petrographic features of psammitic rocks of the Biryan Subformation of the Zilmerdak Formation in the stratotype section]. *Stratigraphy and lithology of the Upper Precambrian and Paleozoic of the Southern Urals and the Urals*. Ufa: BF USSR Academy of Sciences. 12–17. (In Russian).
- Maslov A. V. (1990) Rifeyskiye arkozovyye komplekсы Yuzhnogo Urala [Riphean arkosic complexes of the Southern Urals]. *Lithology and mineral resources*, (4), 29–42. (In Russian).
- Maslov A. V., Erokhin Y. V., Gerdes A., Ronkin Y. L., Ivanov K. S. (2018a) First results of U — Pb LA — ICP — MS isotope dating of detrital zircons from arkose sandstone of the Biryan subformation of Zilmerdak formation (Upper Riphean, South Urals). *Doklady Earth Sciences*, 482 (2), 1275–1277. <https://doi.org/10.1134/S1028334X18100136>
- Maslov A. V., Krupenin M. T., Gareev E. Z., Anfimov L. V. (2001) Rifey zapadnogo sklona Yuzhnogo Urala (klassicheskiye razrezy, sedimento- i litogenez, minerageniya, geologicheskiye pamyatniki prirody) [Riphean of the western slope of the Southern Urals (classical sections, sedimentation and lithogenesis, minerageny, geological natural monuments)]. Ekaterinburg: IGG UB RAS. V. I, 351 p., V. II, 134 p., V. III, 130 p., V. IV, 103 p. (In Russian).
- Maslov A. V., Melnichuk O. Yu., Misens G. A., Titov Yu. V. (2019) Rekonstruktsiya sostava porod pitayushchikh provintsiy. Stat'ya 1. Mineralogo-petrograficheskiye podkhody i metody [Reconstruction of the composition of rocks of feeding provinces. Article 1. Mineralogical and petrographic approaches and methods]. *Lithosphere*, 19 (6), 813–839. DOI: 10.24930/1681-9004-2019-19-6-834-860 (In Russian).
- Maslov A. V., Melnichuk O. Yu., Misens G. A., Titov Yu. V., Chervyakovskaya M. V. (2020) Rekonstruktsiya sostava porod pitayushchikh provintsiy. Stat'ya 2. Lito- i izotopno-geokhimicheskiye podkhody i metody [Reconstruction of the composition of the rocks of the feeding provinces. Article 2. Litho- and isotope-geochemical approaches and methods]. *Lithosphere*, 20 (1), 40–62. DOI: 10.24930/1681-9004-2020-20-1-40-62 (In Russian).
- Maslov A. V., Podkovyrov V. N. (2023) Intensity of Chemical Weathering in the Late Precambrian: New Data on the

- Riphean Stratotype, South Urals. *Stratigraphy and Geological Correlation*, 31 (1), 1–16. DOI: 10.1134/S0869593823020065
- Maslov A. V., Podkovyrov V. N., Gareev E. Z., Graunov O. V. (2016) Paleoclimate changes in the Late Precambrian: evidence from the Upper Precambrian section of the South Urals. *Lithology and Mineral Resources*, 51 (2), 117–135. <https://doi.org/10.1134/S002449021602005X>
- Maslov A. V., Shkolnik S. I., Letnikova E. F., Vishnevskaya I. A., Ivanov A. V., Strakhovenko V. D., Cherkashina T. Yu. (2018b) Ogranicheniya i vozmozhnosti litogekhimicheskikh i izotopnykh metodov pri izuchenii osadochnykh tolshch [Limitations and capabilities of litho-geochemical and isotope methods in the study of sedimentary strata]. Novosibirsk: IGM SB RAS, 2018b. 383 p. (In Russian).
- McLennan S. M., Fryer B. J., Young G. M. (1979) The geochemistry of the carbonate-rich Espanola Formation (Huronian) with emphasis on the rare earth elements. *Canadian Journal of Earth Sciences*, 16, 230–239. <https://doi.org/10.1139/e79-022>
- McLennan S. M., Hemming S. R., McDaniel D. K., Hanson G. N. (1993) Geochemical approaches to sedimentation, provenance and tectonics. *Processes controlling the composition of clastic sediments* / Eds Johnsson M. J., Basu A. *Geological Society of America. Special Paper*, No 284. 21–40. DOI: <https://doi.org/10.1130/SPE284-p21>
- Mongelli G., Critelli S., Perri F., Sonnino M., Perrone V. (2006) Sedimentary recycling, provenance and paleoweathering from chemistry and mineralogy of Mesozoic continental redbed mudrocks, Peloritani Mountains, Southern Italy. *Geochemical Journal*, 40, 197–209. DOI: 10.2343/geochemj.40.197
- Parnachev V. P., Rotar' A. F., Rotar' Z. M. (1986) Srednerifeyskaya vulkanogenno-osadochnaya assotsiatsiya Bashkirskogo megantiklinoriya (Yuzhnyy Ural) [Middle Riphean volcanic-sedimentary association of the Bashkir meganticlinorium (Southern Urals)]. Sverdlovsk: UB of the USSR Academy of Sciences. 104 p. (In Russian).
- Roser B. P., Korsch R. J. (1988) Provenance Signatures of Sandstone-Mudstone suites determined using discriminant function analysis of major-element data. *Chemical Geology*, 67, 119–139. [https://doi.org/10.1016/0009-2541\(88\)90010-1](https://doi.org/10.1016/0009-2541(88)90010-1)
- Rotar' A. F. (1976) K voprosu o sostave i stratigraficheskom polozhenii konglomeratov mashakskoy svity na Yuzhnom Urale [On the question of the composition and stratigraphic position of conglomerates of the Mashak formation in the Southern Urals]. *Conglomerates and their role in understanding the geological history of the Urals*. Sverdlovsk: UC USSR Academy of Sciences. 14–20. (In Russian).
- Semikhatov M. A., Chumakov N. M., Kuznetsov A. B. (2015) Isotope age of boundaries between the general stratigraphic subdivisions of the Upper Proterozoic (Riphean and Vendian) in Russia: the evolution of opinions and the current estimate. *Stratigraphy and Geological Correlation*, 23, 568–579. <https://doi.org/10.1134/S0869593815060088>
- Shvetsov P. N. (1974) Nizhnii i sredniy rifey zapadnogo sklona Bashkirskogo Urala (osnovy strukturno-formatcionnogo analiza) [Lower and Middle Riphean of the western slope of the Bashkir Urals (basics of structural and formational analysis)] / Extended abst. dis....cand. geol.-min. sci. Kazan: Kazan State University. 19 p. (In Russian).
- Solovov A. P., Matveev A. A. (1985) Geokhimicheskiye metody poiskov rudnykh mestorozhdeniy [Geochemical methods for searching for ore deposits]. Moscow: Moscow State University Publ. 232 p. (In Russian).
- Stratotip rifeya. Stratigrafiya. Geokhronologiya [Riphean stratotype. Stratigraphy. Geochronology] (1983) (B. M. Keller, N. M. Chumakov). Moscow: Nauka Publ. 184 p. (In Russian).
- Turgeon S., Brumsack H.-J. (2006) Anoxic vs dysoxic events reflected in sediment geochemistry during the Cenomanian-Turonian Boundary Event (Cretaceous) in the Umbria-Marche basin of central Italy. *Chemical Geology*, 234, 321–339. <https://doi.org/10.1016/j.chemgeo.2006.05.008>
- Yudovich Ya. E., Ketris M. P. (2000) Osnovy litokhimii [Fundamentals of lithochemistry]. Saint-Petersburg: Nauka Publ., 479 p. (In Russian).

#### Сведения об авторе:

**Маслов Андрей Викторович**, доктор геол.-минерал. наук, Институт геологии — обособленное структурное подразделение Федерального государственного бюджетного научного учреждения Уфимского федерального исследовательского центра Российской академии наук (ИГ УФИЦ РАН), Россия, г. Уфа. [amas2004@mail.ru](mailto:amas2004@mail.ru), ORCID 0000-0003-4902-5789.

#### About the author:

**Maslov Andrei Victorovich**, Dr. Sci (Geol., Mineral.), Institute of Geology — Subdivision of the Ufa Federal Research Centre of the Russian Academy of Sciences (IG UFRC RAS), Russia, Ufa. [amas2004@mail.ru](mailto:amas2004@mail.ru)

*Автор заявляет об отсутствии конфликта интересов.  
The author declares no conflicts of interests.*

Статья поступила в редакцию 16.08.2024; одобрена после рецензирования 27.08.2024; принята к публикации 01.10.2024

The article was submitted 16.08.2024; approved after reviewing 27.08.2024; accepted for publication 01.10.2024