

ТИПЫ РЕК, ПИТАВШИХ В РИФЕЕ СЕДИМЕНТАЦИОННЫЕ БАССЕЙНЫ ЮГО-ВОСТОЧНОЙ ОКРАИНЫ СИБИРСКОЙ ПЛАТФОРМЫ: ЭСКИЗ РЕКОНСТРУКЦИИ**А.В. Маслов^{1,2}, В.Н. Подковыров³**¹ФГБУН Институт геологии и геохимии УрО РАН, ул. Вонсовского 15, г. Екатеринбург, 620016;
e-mail: amas2004@mail.ru²ФГБУН Геологический институт РАН, Пыжевский пер. 7, г. Москва, 119017³ФГБУН Институт геологии и геохронологии докембрия РАН, наб. Макарова 2, г. Санкт-Петербург, 199034

Поступила в редакцию 22 мая 2020 г.

Рассмотрены некоторые геохимические особенности тонкозернистых обломочных/глинистых пород ряда свит рифея Юдомо-Майского региона юго-восточной Якутии. Сравнение характера распределения фигуративных точек состава образцов и средних точек состава глинистых пород различных свит на диаграммах $(La/Yb)_N-Eu/Eu^*$ и $(La/Yb)_N-Th$, на которых показаны области состава донных осадков устьевых частей современных рек различных категорий, позволило сделать ряд выводов. Так, индивидуальные точки состава на диаграмме $(La/Yb)_N-Eu/Eu^*$ сосредоточены в основном в областях донных осадков устьевых частей современных рек, питающихся продуктами эрозии преимущественно осадочных (категории 1 и 2) и вулканических пород (категория 4), а также в зонах их перекрытия. Средняя точка состава глинистых пород трехгорной свиты на этой диаграмме расположена в области донных осадков устьевых частей современных рек, дренирующих магматические/метаморфические террейны/комплексы/провинции (категория 3). Средние точки состава глинистых сланцев димской, талынской и светлинской свит тяготеют к зоне перекрытия областей донных осадков устьевых частей современных рек категорий 1, 2 и 3, т. е. в их составе присутствуют продукты размыва как осадочных образований, так и магматических и метаморфических комплексов. Это достаточно хорошо соответствует реальной геологической ситуации. В то же время в составе глинистых пород более высоких уровней рифея Юдомо-Майского региона продукты размыва магматических/метаморфических террейнов/комплексов/провинций либо отсутствуют, либо доля их весьма невелика. На графике $(La/Yb)_N-Th$ большинство фигуративных точек глинистых пород рифея также тяготеет к областям 1, 2 и 4. Средние их точки состава в основном приурочены к зоне перекрытия областей донных осадков устьевых частей современных рек категорий 1 и 2. Средняя точка состава глинистых пород усть-кирбинской свиты расположена в области донных осадков устьевых частей современных рек, питающихся продуктами эрозии пород вулканических провинций. Это также не противоречит известной геологической ситуации.

Ключевые слова: рифей, глинистые породы, геохимия, категории/типы рек, Юдомо-Майский регион, Дальний Восток России.

Литогеохимические особенности тонкозернистых обломочных/глинистых пород (глинистые сланцы, аргиллиты, мелкозернистые глинистые алевролиты) в последние десятилетия широко используются для реконструкции состава пород источников сноса [49, 57, 58, 75, 77, 86, 91, 93, 95 и др.], оценки степени зрелости кластики и интенсивности процессов выветривания на палеоводосборах [31, 79, 82, 105 и др.], особенностей рециклирования осадочного материала [73, 76, 78, 96 и др.], окислительно-восстановительных параметров бассейнов осадконакопления [77, 81,

89, 107 и др.], расшифровки палеогеодинамических и палеогеографических обстановок формирования осадочных последовательностей [37, 38, 55, 56, 72, 80, 93 и др.], а также решения ряда других вопросов, в первую очередь – понимания общих особенностей эволюции состава верхней континентальной коры [71, 72, 87, 92, 104, 106 и др.].

В последнее время, как нам представляется, появилась также возможность реконструировать тип речных систем, выступавших в прошлом поставщиками тонкой алюмосиликокластики в бассейны осадкона-

копления [33, 34, 36]. Она основывается на геохимических характеристиках алевритопелитовых осадков приустьевых частей современных рек, дренирующих различные по составу и площади водосборы [66]. Авторами указанной работы показано, что в зависимости от размера водосборов, а также состава слагающих их комплексов пород может быть выделен ряд категорий современных рек, поверхностные донные осадки приустьевых частей которых различаются по своим геохимическим характеристикам.

К первой категории относятся «крупные реки»* (world's major rivers), т. е. реки, характеризующиеся сложно построенными водосборами, площадь которых превышает 100 000 км² (Миссисипи, Нигер, Янцзы, Волга, Маккензи, Дунай, Желтая, Сев. Двина, Фрейзер и др.). Так, водосборный бассейн р. Миссисипи сложен почти исключительно морскими и континентальными осадочными породами фанерозоя [99]. Водосборный бассейн р. Нигер представлен докембрийскими гнейсами и гранитами, кристаллическими сланцами, кварцитами, основными вулканитами. Распространены здесь также раннепалеозойские песчаники и четвертичные флювиально-озерные отложения [90, 100]. Водосборный бассейн р. Маккензи объединяет домезозойские осадочные и метаморфические образования, изверженные породы, а также кристаллические комплексы [94, 103]. Бассейн р. Дунай сложен метаморфическими образованиями, флишевыми осадочными толщами, известняками и доломитами мезозоя [67, 88]. Водосборный бассейн р. Желтая объединяет архейские гнейсы и мигматиты, кристаллические сланцы, филлиты и конгломераты протерозоя, а также морские осадочные образования и туфы палеозоя, континентальные толщи мезозоя [108, 109]. На территории водосбора р. Сев. Двина можно видеть почти исключительно осадочные образования [12, 101]. Бассейн р. Фрейзер представлен метаморфизованными верхнедокембрийскими и кембрийскими породами, мезозойско-кайнозойскими отложениями, гранитоидами и вулканитами [69, 99].

Вторую категорию, согласно [66], представляют реки, дренирующие осадочные образования (rivers draining «mixed/sedimentary» formations) (pp. Сена, Флай, Чубут, Сефид Руд, Мойола** и др.). К третьей категории принадлежат реки, питающиеся продуктами размыва «магматических/метаморфиче-

ских» террейнов/провинций (rivers draining «igneous/metamorphic» terranes) (pp. Каура, Аро, Уме, Луле, Фойл и др.). Наконец, реки четвертой категории – это реки, дренирующие провинции, сложенные в основном вулканическими породами (rivers draining «volcanic» rocks) (типичные примеры – pp. Камчатка, Уаикато, Сикс Майл, Галец и др.). Информации о строении водосборных бассейнов названных типов рек в литературе, к сожалению, немного. С учетом ряда ограничений, часть из которых рассмотрена ниже, перечисленные категории рек можно считать некими обобщенными «геохимическими образами» [32], отражающими состав и размеры водораздельных пространств/питающих провинций, выступавших источниками обломочного материала для осадочных последовательностей геологического прошлого.

На основе аналитических данных, приведенных в публикации [66], нами [32, 33] предложены парные диаграммы $(La/Yb)_N^{***} - Eu/Eu^*$, $(La/Yb)_N - Th$ и др.; на них поля донных отложений крупных рек (реки категории 1) и рек, дренирующих осадочные образования (реки категории 2), характеризуются примерно 60–80-процентным перекрытием, а поля донных осадков рек, питающихся продуктами размыва водосборов, сложенных, с одной стороны, магматическими и метаморфическими образованиями, а, с другой, вулканическими породами, перекрытия не имеют. Эти диаграммы были использованы при реконструкции категорий водосборных пространств, являвшихся источниками тонкозернистого алюмосиликокластического материала для осадочных последовательностей рифея Башкирского мегантиклинория (западный склон Южного Урала) [34] и венда Кваркушско-Каменногорского мегантиклинория (западный склон Среднего Урала) [35], а также осадочных толщ верхнего палеозоя, выполняющих Юрюзано-Сылвинскую впадину Предуральского предгорного прогиба, и позволили получить, как нам представляется, достаточно интересные результаты. В настоящей публикации мы применили этот подход и к анализу рифейских осадочных последовательностей Юдомо-Майского региона юго-восточной Якутии (рис. 1). Цель нашей работы – реконструкция типов/категорий рек, которые транспортировали в область осадконакопления (Юдомо-Майский прогиб/бассейн) в рифее тонкую алюмосиликокластику.

*Точнее – «осадки устьевых частей «крупных рек»».

**К сожалению, нам не удалось найти какую-либо информацию по составу водосборов рек как этой, так и двух других категорий рек.

***Содержание лантаноидов нормировано на хондрит [106].

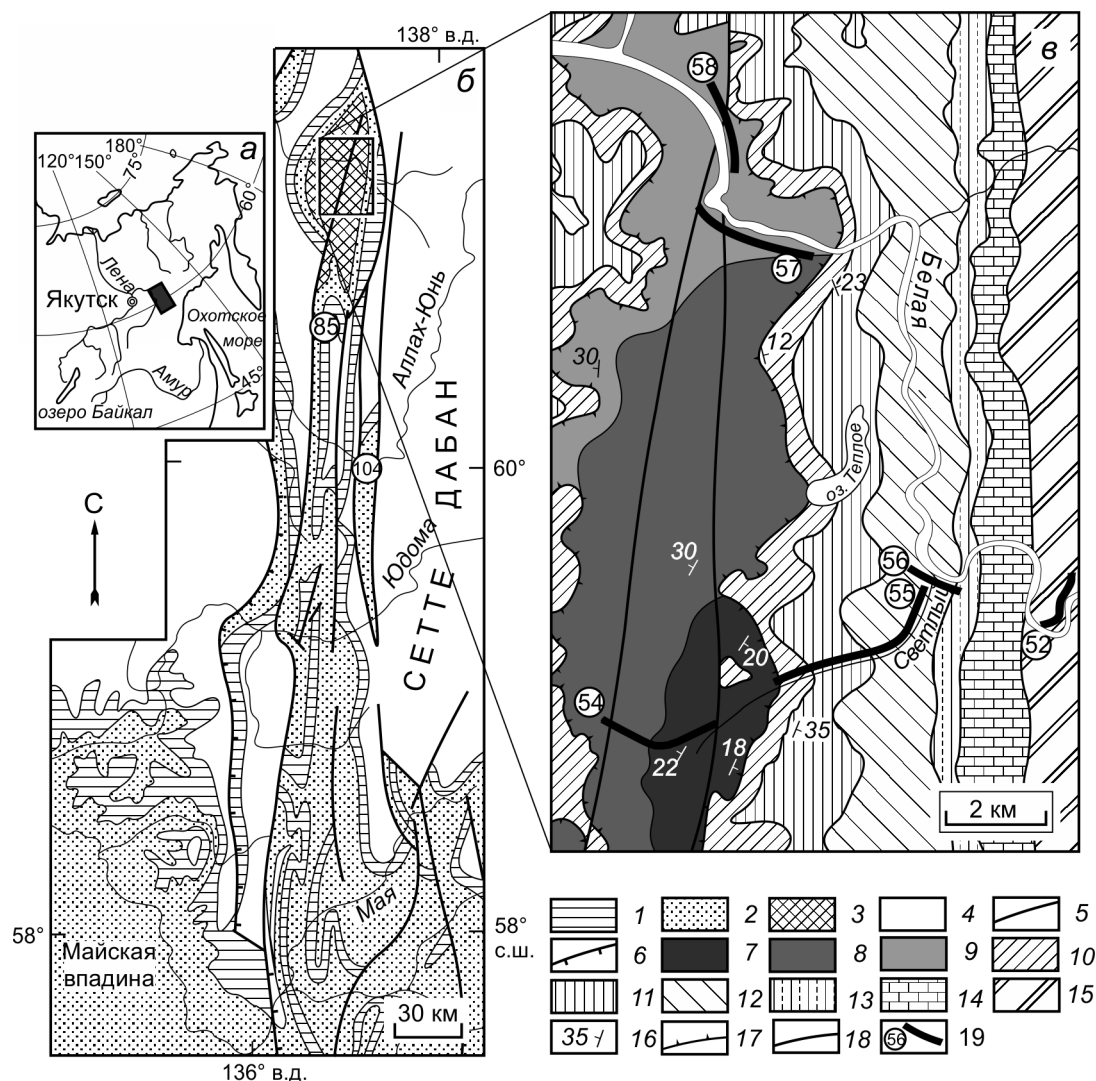


Рис. 1. Обзорная схема (а), схематическая геологическая карта Юдомо-Майского региона и положение изученных разрезов (б) и схема геологического строения Горностаховского антиклинория (в), по [7], с некоторыми изменениями.

а – Прямоугольником показан район исследований.

б: 1 – венд; 2 – средний и верхний рифей; 3 – нижний рифей; 4 – фанерозой; 5 – основные разломы; 6 – Нельканский краевой шов Сибирской платформы; в: 7–9 – нижний рифей (свиты: 7 – пионерская, 8 – трехгорная, 9 – димская); 10–14 – средний рифей (свиты: 10 – талынская, 11 – светлинская, 12 – тоттинская, 13 – малгинская, 14 – ципандинская); 15 – верхний рифей, лахандинская серия; 16 – элементы залегания; 17 – несогласное залегание; 18 – разломы; 19 – расположение разрезов и обнажений и их номера (52 – разрез по склону горы на правом берегу р. Белая, в 1.5 км ниже устья руч. Суордах; 54 – разрез по руч. Трехгорка, верховья р. Светлый, левый приток р. Белая; 55 – разрез в нижнем течении руч. Светлый; 56 – обнажения на левом берегу р. Белая в районе устья руч. Светлый; обнажения 57 и 58 – левый борт долины р. Белая в районе устья руч. Дим; 85 – левый берег р. Сахара в среднем ее течении (скалы на склоне горы в 500–700 м выше моста на дороге от пос. Эльдикан до пос. Светлый); 104 – разрез на левом берегу р. Аллах-Юнь, западное крыло Сетте-Дабанского антиклинория).

**ЛИТОСТРАТИГРАФИЯ И ОСНОВНЫЕ
ЧЕРТЫ ФОРМИРОВАНИЯ ОСАДОЧНЫХ
ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОСТЕЙ РИФЕЯ ЮДОМО-
МАЙСКОГО РЕГИОНА**

**Литостратиграфия осадочных
последовательностей рифея**

Юдомо-Майский регион, исследованию которого посвящены публикации многих известных отечест-

венных специалистов, после блестящей монографии М.А. Семихатова и С.Н. Серебрякова [51] рассматривается как гипостратотипическая местность рифея. Представления о литостратиграфическом каркасе рифея названного региона последних 20–25 лет суммированы в работах [1, 2, 26, 39 и ссылки там], легендах к ряду дальневосточных серий листов Государственной геологической карты РФ (1996–1999 гг.),

объяснительных записках к таким листам, в том числе к листу О-53 – Нелькан [11]. Современная сейсмостратиграфическая модель строения осадочного выполнения Юдомо-Майского бассейна приведена в публикации [50].

Разрез рифея Юдомо-Майского региона считается в последние десятилетия объединяющим шесть крупных седиментационных серий – уянскую и учурскую (нижний рифей), аимчанскую и керпыльскую (средний рифей), лахандинскую и уйскую (верхний рифей), однако удревнение возраста вулканитов на вышней подсветы айской свиты, представляющих базальные уровни стратотипа рифея на Южном Урале, до 1752 ± 11 млн лет [17] и соответственно возможность принятия изотопного возраста нижней границы рифея на уровне 1750 ± 10 млн лет [25] позволяет думать, что к нижней части нижнего рифея можно также отнести и улканскую серию (рис. 2).

Фундамент рассматриваемого региона представлен, по данным [26, 50 и ссылки там], архейскими кристаллическими породами батомгской серии (кристаллические сланцы, гранулиты и эклогиты), диоритами, кварцевыми диоритами, гранитами, плагио- и лейкогранитами, а также тоналитами джагдаканского и хоюндинского комплексов. Входят в его состав дуниты и перидотиты кондерского комплекса протерозоя.

Породы улканской серии несогласно залегают на коре выветривания, развитой по породам кристаллического фундамента [2]. Серия объединяет топориканскую, улкачанскую и элгэтэйскую свиты [13, 19, 54]. Первая (мощность до 200 м) представлена песчаниками с прослоями гравелитов и конгломератов. Вторая (~750 м) сложена основными вулканитами, их туфами и терригенными породами, а третья (мощность до 2000 м) состоит из основных и кислых вулканитов, а также туфогенно-осадочных и собственно осадочных пород. U-Pb-изотопный возраст циркона из трахириолитов элгэтэйской свиты составляет по разным оценкам от 1732 ± 4 [15, 16] до 1722 ± 6 млн лет [28].

Уянская серия также состоит из трех свит (бириндинская, конкулинская и адаргайская), нижняя из которых залегают с перерывом, корой выветривания и угловым несогласием на отложениях различных горизонтов улканской серии, а также метаморфических породах фундамента [2, 9, 13, 19, 54]. Бириндинская свита (до 380 м) объединяет красноцветные песчаники и гравелиты, среди которых в верхней части свиты присутствуют покровы базальтов. Конкулинская свита (100–950 м) представлена конгломератами с валунами и гальками кислых вулканитов, источником которых были, по всей видимости, породы улканской серии [9], гравелитами и песчаниками, среди которых в верхней части свиты появляются алевролиты. Она с

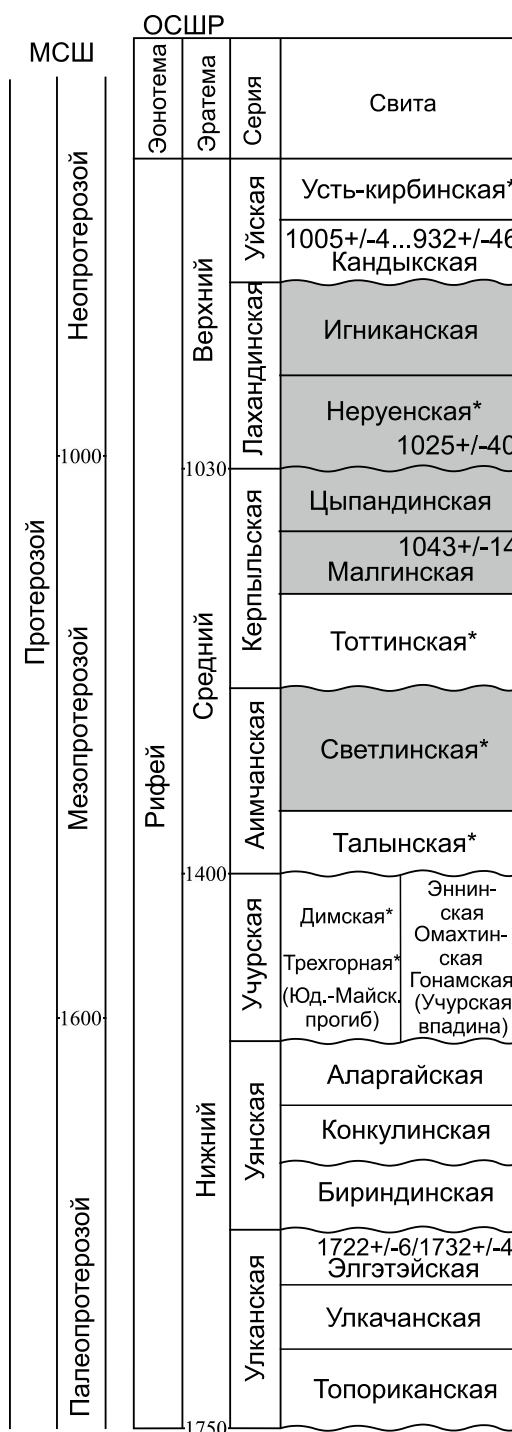


Рис. 2. Сводная стратиграфическая колонка отложений рифея Юдомо-Майского региона, по [9, 19, 51 и др.].

ОСШР – Общая стратиграфическая (геохронологическая) шкала России (по состоянию на 2019 г., http://www.vsegei.com/ru/info/stratigraphy/stratigraphic_scale/, дата обращения 30 декабря 2020 г.; возраст нижних границ среднего и нижнего рифея показан в соответствии с современными представлениями [24, 25, 54]), МСШ – Международная стратиграфическая шкала (версия v2020/03, www.stratigraphy.org, дата обращения 30 декабря 2020 г.). Значения изотопного возраста в млн лет. * – подразделения разреза, для которых в данной статье рассматриваются литогеохимические особенности глинистых пород.

размывом перекрывает породы бириндинской свиты, а местами – кору выветривания по породам кристаллического фундамента. Адаргайская свита (до 180 м) сложена в основном песчаниками и алевролитами с прослоями доломитов. U-Pb-изотопный возраст обломочных цирконов, присутствующих в терригенных породах уянской серии, составляет 2065...2025 млн лет, позволяя думать, что источником обломочного материала для указанных образований выступали породы Алданского/Алдано-Станового щита [9 и ссылки в этой работе].

Учурская серия объединяет в Учурской впадине гонамскую, омахтинскую и эннинскую, а на севере Юдомо-Майского прогиба – трехгорную и димскую свиты [51, 53, 62 и др.]. Представительные данные о геохимических особенностях песчаников и тонкозернистых обломочных пород нижнего рифея имеются в настоящее время только для трехгорной и димской свит [46, 48 и др.], т. к. осадочные последовательности Учурской впадины все еще остаются в этом отношении недостаточно изученными. Именно аналитические данные для глинистых пород трехгорной и димской свит и использованы в настоящей работе. Трехгорная свита (мощность ~1200 м) сложена песчаниками, алевролитами и глинистыми сланцами с прослоями доломитов и известняков. Димская свита (1800–2000 м) представлена глинистыми сланцами, алевролитами и песчаниками с прослоями и пачками доломитов. Источники сноса для отложений учурской серии в одноименной впадине располагались к юго-западу, на Алданском щите (т. н. раннепротерозойская Sm-Nd изотопная провинция, занимающая большую часть его территории [21]) и в пределах Омнинского/Батомгского поднятия. По мнению автора публикации [50], клиновидные фации, уверенно фиксирующиеся по сейсмическим данным среди отложений гонамской свиты, свидетельствуют в пользу предположений о сносе обломочного материала во время их формирования с востока (Майское поднятие?). Отложения в северной части Юдомо-Майского прогиба формировались за счет материала, поступавшего в область седиментации с запада [46, 51]. Распределение редкоземельных элементов (РЗЭ) в песчаниках димской и трехгорной свит близко к таковому в метавулканитах федоровской толщи/комплекса Алданского щита [48]. В целом же источниками обломочного материала для аркозовых песчаников нижнего рифея Юдомо-Майского прогиба выступали, по всей видимости, комплексы пород, сходные по своим геохимическим характеристикам со средними и кислыми вулканитами федоровской толщи, метавулканическими и метаосадочными породами нижнего

протерозоя Алданского щита и высококалийевыми гранитоидами и вулканитами улканского комплекса.

Аимчанская серия объединяет талынскую и светлинскую свиты [51]. В Юдомо-Майском прогибе серия залегает с угловым несогласием на разных уровнях трехгорной и димской свит, а южнее перекрывает непосредственно породы кристаллического фундамента/метаморфические образования палеопротерозоя [9, 51]. Талынская свита (750–1200 м) сложена пакетами и пачками переслаивания песчаников, алевролитов и глинистых сланцев. Светлинская свита (500–1100 м) представлена преимущественно доломитами, подчиненную роль в ее разрезах играют низкоуглеродистые алевролиты и глинистые сланцы. Источники обломочного материала на аимчанском этапе располагались, по всей видимости, к западу от Юдомо-Майского прогиба [51]. М.А. Калинин с соавторами [18] считают, что источником обломочного материала и для аимчанской, и для учурской серий являлась Сибирская платформа, в то же время «... некоторое увеличение содержания терригенного материала в среднерифейских осадках в восточном направлении позволяет предполагать наличие и восточного источника сноса» [18, с. 113].

Керпыльская серия объединяет тоттинскую, малгинскую и цыпандинскую свиты [51]. Тоттинская свита (600–900 м) представлена глауконито-кварцевыми алевролитами, песчаниками и глинистыми сланцами. Она с размывом залегает в Юдомо-Майском прогибе на отложениях светлинской свиты, местами полностью срезая их и перекрывая, в таком случае, породы талынской свиты [51]. В ряде мест тоттинская свита, как и талынская, залегает на породах кристаллического фундамента. Малгинская свита (300–470 м) сложена в основном известняками, среди которых наблюдаются как строматолитовые, так и битуминозные разновидности. Pb-Pb-изотопный возраст известняков малгинской свиты составляет 1043 ± 14 млн лет [42]. В составе цыпандинской свиты (300–500 м) преобладают доломиты, в том числе битуминозные. Считается, что источниками сноса в керпыльское время были расположенные к западу от среднерифейского бассейна кристаллические комплексы фундамента Сибирской платформы, хотя, возможно, существовали и локальные поднятия внутри бассейна [46, 51, 84]. Для талынского и тоттинского уровней не исключается привнос кластики из областей, находившихся к югу и востоку от Юдомо-Майского бассейна (Батомгское поднятие) [48, 84 и ссылки в этих работах]. Имеется точка зрения, что источником обломочного материала для отложений нижнего и среднего рифея рассматриваемой нами

области могли быть также магматические и метаморфические комплексы Якутского свода [59]. По данным [14, 27, 41, 61], цирконы из габбродиоритов и гранитов Батомгского поднятия по морфологии, окраске и возрасту схожи с наиболее широко распространенными популяциями обломочных цирконов в песчаниках учурской (популяция 2.065–2.025 млрд лет) и керпыльской (популяция 2.06–1.82 млрд лет) серий Юдомо-Майского прогиба.

Локальное распространение в осадочных последовательностях учурской, айчанской и керпыльской серий имеют щелочные и толеитовые базальты с высокими содержаниями Ba, K и Pb, пониженными концентрациями Th, Nb, Sr и ряда других элементов и значениями ϵ_{Nd} порядка -0.1 . Считается, что они фиксируют несколько импульсов рифтогенеза, имевших место ~ 1.50 , 1.38 и 1.32 млрд лет назад [45].

Лахандинская серия перекрывает подстилающие отложения с перерывом и корой выветривания в основании и включает две региональные свиты – нуруенскую и игниканскую [20, 51]. Нуруенская свита (650–700 м) сложена аргиллитами, известняками и доломитами. Pb-Pb-изотопный возраст известняков свиты составляет 1025 ± 40 млн лет [52]. Игниканская свита (300–330 м) объединяет строматолитовые известняки и доломиты при подчиненной роли глинистых сланцев и аргиллитов. Отложения лахандинской серии сформированы за счет материала, поступавшего, по всей видимости, как с запада, из внутренних районов Сибирской платформы, так и с Батомгского поднятия [46, 48].

Завершает разрез рифея в Юдомо-Майском прогибе уйская серия, в состав которой входят кандыкская и усть-кирбинская свиты [51]. Кандыкская свита (900–2000 м) представлена неравномерным чередованием песчаников, алевролитов и аргиллитов. U-Pb-изотопный возраст бадделеита из силла, залегающего среди отложений кандыкской свиты, составляет 1005 ± 4 и 974 ± 7 млн лет [102]. Sm-Nd-изотопный возраст этого же силла равен 981 ± 69 млн лет [43] и 932 ± 46 млн лет [85]*. В разрезах усть-кирбинской свиты (500–3500 м) также преобладают терригенные породы. Тонко- и грубозернистая алюмосиликокластика поступала в бассейн уйского времени с расположенных к западу от него выступов кристаллического фундамента Сибирского кратона, а также с локальных поднятий, в роли одного из которых возможно выступал Охотский массив [46, 48, 84]. В целом, как

подчеркнуто на основе анализа изотопно-геохимических данных в публикации [48], главными источниками обломочного материала для песчаников среднего и верхнего рифея Юдомо-Майского прогиба являлись раннепротерозойские магматические и метаморфические образования восточных районов Алданского щита, Батомгского поднятия, а также возможно гранитоиды нелюкинского комплекса зоны сочленения Чара-Олекминского и Алданского блоков.

Основные черты формирования осадочных последовательностей рифея

В соответствии с представлениями [28 и др.], накопление вулканогенных и терригенных пород улканской серии происходило в обстановках внутриматерикового рифтогенеза. А.Н. Диденко с соавторами [15] предполагают, что вулканические породы улканской серии образованы в обстановках, сходных с современными трансформными (сдвиго-раздвиговыми, рифтовыми) континентальными окраинами. По мнению авторов публикации [9], формирование отложений уйской серии имело место в мелководном внутриматериковом бассейне в аллювиально-дельтовых, литоральных и сублиторальных фациях. Позднее основными типами седиментационных бассейнов стали эпикратонные/интракратонные моря с доминированием терригенно-кабонатных отложений приливно-отливных равнин и внутреннего шельфа. Источниками сноса для них выступали магматические и метаморфические комплексы пород, близкие по составу к верхней континентальной коре, а также протерозойские гранодиоритовые массивы [61]. Области размыва располагались как к западу от Юдомо-Майского региона (собственно Сибирская платформа), откуда поступали цирконы с возрастными 2.02–2.06 млрд лет, так и к востоку (?). Гипотетический восточный блок поставлял в осадки цирконы с возрастными 2.06–1.82 и 1.55–1.32 млрд лет. По представлениям [14, 41, 50], обломочные цирконы первой из указанных популяций могли поступать в область осадконакопления и с Батомгского выступа фундамента.

В начале позднего рифея эпиплатформенный бассейн эволюционировал в умеренно глубоководный рифтогенный прогиб и прекратил своё существование около 940–950 млн лет назад [44, 47, 84]. Во время формирования отложений нижней части уйской серии в размыв были вовлечены магматические и метаморфические породы фундамента, близкие по своим геохимическим характеристикам к протерозойским гранитоидам Алданского щита. Накопление осадочных образований верхней части уйской серии происходило за счет разрушения менее зрелых ком-

*В.Г. Варнавский [2, стр. 99] полагает, что представление о том, что «... позднепротерозойские силлы и вмещающие их породы кандыкской свиты образовались в интервале времени 940–1100 млн лет, ошибочно».

плексов пород, включая, по-видимому, и присутствующие в ее разрезах вулканиты. Источниками алюмосиликокластики в это время выступали внутрибассейновые поднятия и/или гипотетический восточный массив суши.

ЛИТОГЕОХИМИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ ГЛИНИСТЫХ ПОРОД РИФЕЯ

Образцы и методы исследования

Отбор образцов/проб для литогеохимических исследований производился В.Н. Подковыровым из наиболее полных, ранее изученных разрезов в привязке к данным монографии [51] (положение и список этих разрезов приведен в подписи к рис. 1). Для большинства разрезов с тонким (< 0.5–0.8 м) переслаиванием пород интервал опробования составлял 10–30 м с отбором основных литотипов (песчаники, аргиллиты/глинистые сланцы и др.). В разрезах с преобладанием карбонатных пород опробованы прослойки и пачки терригенных пород. В дальнейшем выполнено петрографическое изучение образцов и отбор представительных (по составу и доле в разрезах) образцов/проб для анализа их валового химического состава (более подробно см. в работах [44, 46, 48, 76]).

Сведения о валовом химическом составе (содержание основных породообразующих оксидов и некоторых редких и рассеянных элементов) в глинистых породах трехгорной, димской, талынской, тоттинской, нуруенской и усть-кирбинской свит приведены в таблицах 1 и 2 (приложения)*. Они получены соответственно методами РФА и «мокрой химии» в Центральной химической лаборатории ПГО «Севзапгеология», а также методом ИСП МС в Институте геологии и геохимии УрО РАН (г. Екатеринбург) (более подробную информацию о методике этих работ см. в публикациях [30, 45, 46 и ссылки там]).

Некоторые общие литогеохимические особенности глинистых пород

Наиболее общие литогеохимические особенности глинистых/тонкозернистых обломочных пород ряда литостратиграфических подразделений рифея Юдомо-Майского региона уже были с той или иной степенью детальности рассмотрены ранее, в том числе и нами [7, 23, 30, 46, 48 и др.], поэтому ниже речь пойдет только о некоторых из них, необходимых для раскрытия темы данной работы.

Фигуративные точки глинистых сланцев рифея Юдомо-Майского региона на классификационной диа-

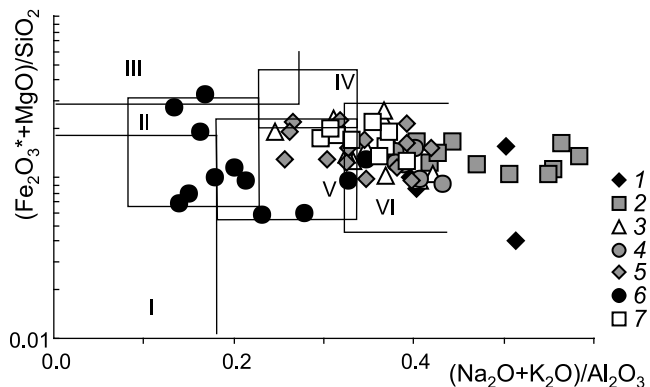


Рис. 3. Положение фигуративных точек состава тонкозернистых обломочных пород рифея на диаграмме $(\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O})/\text{Al}_2\text{O}_3 - (\text{Fe}_2\text{O}_3^* + \text{MgO})/\text{SiO}_2$. Свиты: 1 – трехгорная; 2 – димская; 3 – талынская; 4 – светлинская; 5 – тоттинская; 6 – нуруенская; 7 – усть-кирбинская. Поля глин: I – преимущественно каолиновых; II – преимущественно смектитовых с примесью каолинита и иллита; III – преимущественно хлоритовых с примесью Fe-иллита; IV – хлорит-иллитовых; V – хлорит-смектит-иллитовых; VI – иллитовых со значительной примесью дисперсных полевых шпатов.

грамме $(\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O})/\text{Al}_2\text{O}_3 - (**\text{Fe}_2\text{O}_3^* + \text{MgO})/\text{SiO}_2$ (диаграмма НКМ–ФМ [63]) расположены в основном в полях II (преимущественно смектитовые с примесью каолинита и иллита глины), V (хлорит-смектит-иллитовые глины) и VI (иллитовые глины со значительной примесью дисперсных полевых шпатов). На фоне значительной дисперсии составов глинистых пород по параметру $(\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O})/\text{Al}_2\text{O}_3$ (от 0.15 до 0.65), ряд литостратиграфических подразделений обнаруживают приуроченность точек состава присутствующих в их разрезах глинистых пород к определенным полям диаграмм (рис. 3). Так, точки глинистых сланцев димской свиты, базального подразделения нижнерифейской учурской серии, сконцентрированы в поле VI, что отражает наличие в их составе существенной доли тонкодисперсных полевых шпатов и указывает на отсутствие более или менее значительного переотложения обломочного материала. Преимущественно в полях V и IV расположены точки состава глинистых сланцев тоттинской свиты. В поле II локализованы точки состава глинистых сланцев нуруенской свиты; это свидетельствует о существенном вкладе в их состав смектит-каолинового материала раннеландинских кор выветривания [46].

По величине гидролизатного модуля $((\text{Al}_2\text{O}_3 + \text{TiO}_2 + \text{Fe}_2\text{O}_3^* + \text{MnO})/\text{SiO}_2)$, [63]) подавляющее большинство глинистых пород рифея Юдомо-Майского

*<http://itig.as.khb.ru/POG>

** Fe_2O_3^* – суммарное железо.

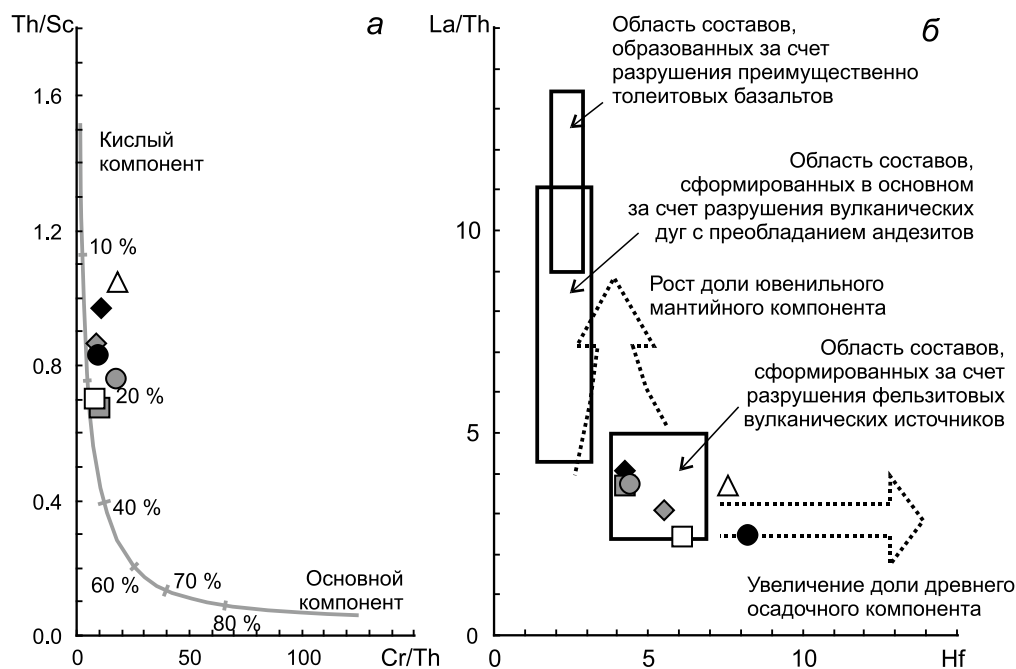


Рис. 4. Распределение средних точек состава глинистых пород различных литостратиграфических подразделений рифея Юдомо-Майского региона на диаграммах Cr/Th–Th/Sc (а) и Hf–La/Th (б).

Условные обозначения см. рис. 3.

региона является, в соответствии с приведенной в указанной работе классификацией, нормо- и суперсиаллитами; подчиненную роль играют гипосиаллиты и гидролизаты. К последним относится ряд образцов глинистых сланцев неруенской и талынской, а также усть-кирбинской свит [30].

Минимальным средним содержанием Th (~7.8 г/т, минимум – 6.9, максимум – 8.7 г/т) характеризуются в разрезе рифея глинистые сланцы светлинской свиты. Максимальное среднее содержание Th (~15.0 г/т) наблюдается в глинистых породах неруенской свиты. Разброс минимальных и максимальных содержаний Th в породах этого уровня рифея составляет почти порядок (минимум – 2.9, максимум – 30.8 г/т).

Максимальная величина $Cr/Th_{\text{среднее}}$ (18.3) присуща глинистым сланцам талынской свиты, минимальная (7.9) характерна для глинистых пород усть-кирбинской свиты. Среднее отношение Th/Sc максимально (~1.1) в глинистых породах талынской свиты; минимальное среднее значение данного параметра (0.7) свойственно тонкозернистым обломочным породам димской и усть-кирбинской свит. Распределение средних точек состава глинистых пород различных литостратиграфических подразделений на диаграмме Cr/Th–Th/Sc [70] в версии [68] показывает, что доля продуктов размыва магматических образований основного состава на протяжении всего рифея не пре-

вышала, вероятно, 20 %, а часто была и заметно меньше (рис. 4, а).

Среднее содержание Hf в глинистых породах рифея Юдомо-Майского региона варьирует от 4.2 г/т (димская свита) до 8.2 г/т (неруенская свита). Максимальная средняя величина La/Th (~4.1) характерна для глинистых пород трехгорной свиты, тогда как минимальная (2.5) наблюдается в тонкозернистых обломочных породах усть-кирбинского уровня. По соотношению Hf и La/Th основная масса исследованных нами образцов близка к PAAS (средний постархейский австралийский глинистый сланец, [106]) и «зрелому фельзитовому источнику» в терминологии [83, 97] (рис. 4, б) [30].

Максимально высокие (~15.4...17.5) средние значения $(La/Yb)_N$ характерны для глинистых сланцев трехгорной и димской свит учурской серии. Глинистые сланцы талынской, светлинской и тоттинской свит характеризуются заметно более низкими значениями данного параметра, варьирующими от 9.2 до 11.8. Глинистые породы неруенской и усть-кирбинской свит имеют значения $(La/Yb)_{\text{Нсреднее}}$ в интервале ~5.6...6.9.

Средние величины отрицательной европейской аномалии (Eu/Eu*) в глинистых породах рифея Юдомо-Майского региона варьируют от 0.56 (неруенская свита) до 0.71 (димская свита).

ОБСУЖДЕНИЕ

Прежде чем обратиться к анализу распределения индивидуальных фигуративных и средних точек состава глинистых пород рифея Юдомо-Майского региона на диаграммах $(La/Yb)_N-Eu/Eu^*$ и $(La/Yb)_N-Th$, остановимся на ряде важных для последующего рассмотрения материала обстоятельств. В-первых, при анализе литогеохимических особенностей тонкозернистых обломочных пород мы исходим из того, что состав осадков прибрежных и мелководных частей морских бассейнов в значительной мере сходен с составом донных отложений приустьевых частей рек, поставляющих в них обломочный материал. Названные области осадконакопления, в соответствии с представлениями А.П. Лисицына [29], принадлежат к т. н. маргинальным филтрам – поясам шириной от сотен километров для крупных водных артерий до сотен метров для небольших рек, в пределах которых происходит смешение речных и морских вод. Изменения уровня океана, приливно-отливные, сгонно-нагонные, вдольбереговые и другие течения ведут к перемещению осадочного материала маргинальных филтров на шельфы [8 и др.]. В результате осадки последних в определенной, а иногда и существенной, степени наследуют литогеохимические характеристики взвешенного материала, транспортируемого реками разных категорий.

Во-вторых, мы считаем, что: 1) основными источниками вещества для формирования глинистых осадков выступают силикатные породы, подвергающиеся выветриванию на палеоводосборах, и ранее накопленные глинистые и алевроито-глинистые образования; 2) в разрезах морских терригенных толщ доминируют механогенные глины, образовавшиеся «... в результате переотложения всех других глинистых, обломочных и метаморфических слюдистых пород» [60, с. 306]; 3) масштабы стадияльных изменений осадочного материала значительно меньше тех, что имеют место на стадиях гипер- и седиментогенеза [65].

В-третьих, мы допускаем, что: 1) области точек составов донных отложений различных категорий современных рек на диаграммах $(La/Yb)_N-Eu/Eu^*$, $(La/Yb)_N-Th$ и др. можно «спроецировать» в геологическое прошлое; 2) распределение РЗЭ и Th в древних отложениях прибрежно-континентальных, прибрежно- и мелководно-морских обстановок не имело принципиальных отличий от того, что наблюдается в настоящее время; 3) можно в той или иной степени абстрагироваться от эволюции геохимических характеристик комплексов пород, слагавших водосборы в докембрии и фанерозе.

Последнее хорошо видно на рис. 5, где на графике с координатами $(La/Yb)_N$ и Eu/Eu^* показано распределение средних точек состава гранитов, фельзитов, андезитов и известково-щелочных базальтов (все по данным [71]) разного возраста (архейских, раннеархейских, ранне- и среднепротерозойских и др.). Так, если представить себе гипотетическую ситуацию, в которой на водоразделах развиты только фельзиты раннего или позднего архея, раннего или среднего протерозоя, или палеозоя, то при условии «трансляции» (т. е. почти без трансформаций при мобилизации и транспортировке продуктов их разрушения) их геохимических характеристик в осадки конечных водоемов стока, на диаграмме $(La/Yb)_N-Eu/Eu^*$ все точки таких разновозрастных источников будут расположены в области донных осадков рек категории 4 (реки, дренирующие вулканогенные комплексы).

Точно так же, за некоторыми исключениями, ведут себя на графике $(La/Yb)_N-Eu/Eu^*$ точки состава известково-щелочных базальтов и андезитов различного возраста. Иными словами, вне зависимости от того, сложены ли водосборные пространства тех или иных рек позднеархейскими или позднепротерозойскими андезитами, породами, несомненно, несколько отличающимися по своим геохимическим характеристикам, продукты их разрушения оказываются в одной и той же области диаграммы $(La/Yb)_N-Eu/Eu^*$, то есть некоторые различия в геохимических особенностях разновозрастных, но петрографически однотипных пород, оказываются микшированы, и соответственно ими можно пренебречь.

Представления о том, что ряд редких и рассеянных элементов, в том числе и РЗЭ, слабо растворимы в воде и вследствие этого почти без потерь перемещаются из областей сноса в бассейны осадконакопления [70, 71, 74, 77, 87, 91, 98, 106 и др.] и что определенные типы магматических пород характеризуются определенными ассоциациями редких и рассеянных элементов [17, 64 и др.], позволяют также наметить возможные источники кластики для осадочных последовательностей рифея Юдомо-Майского региона. Для этого мы использовали данные о содержании ряда редких и рассеянных элементов в породах некоторых кристаллических комплексов центральной и восточной части Алданского щита, Батомгского выступа и Улканского прогиба, опубликованные в работах [3–6, 14–16, 22, 27, 40 и др.]. К сожалению, подобных данных в современной геологической литературе все еще немного, и это делает многие выводы нашей работы в существенной степени предположительными.

По указанным данным на диаграммах $(La/Yb)_N-Eu/Eu^*$ и $Cr/Th-Eu/Eu^*$ (рис. 6) нами намечены поля

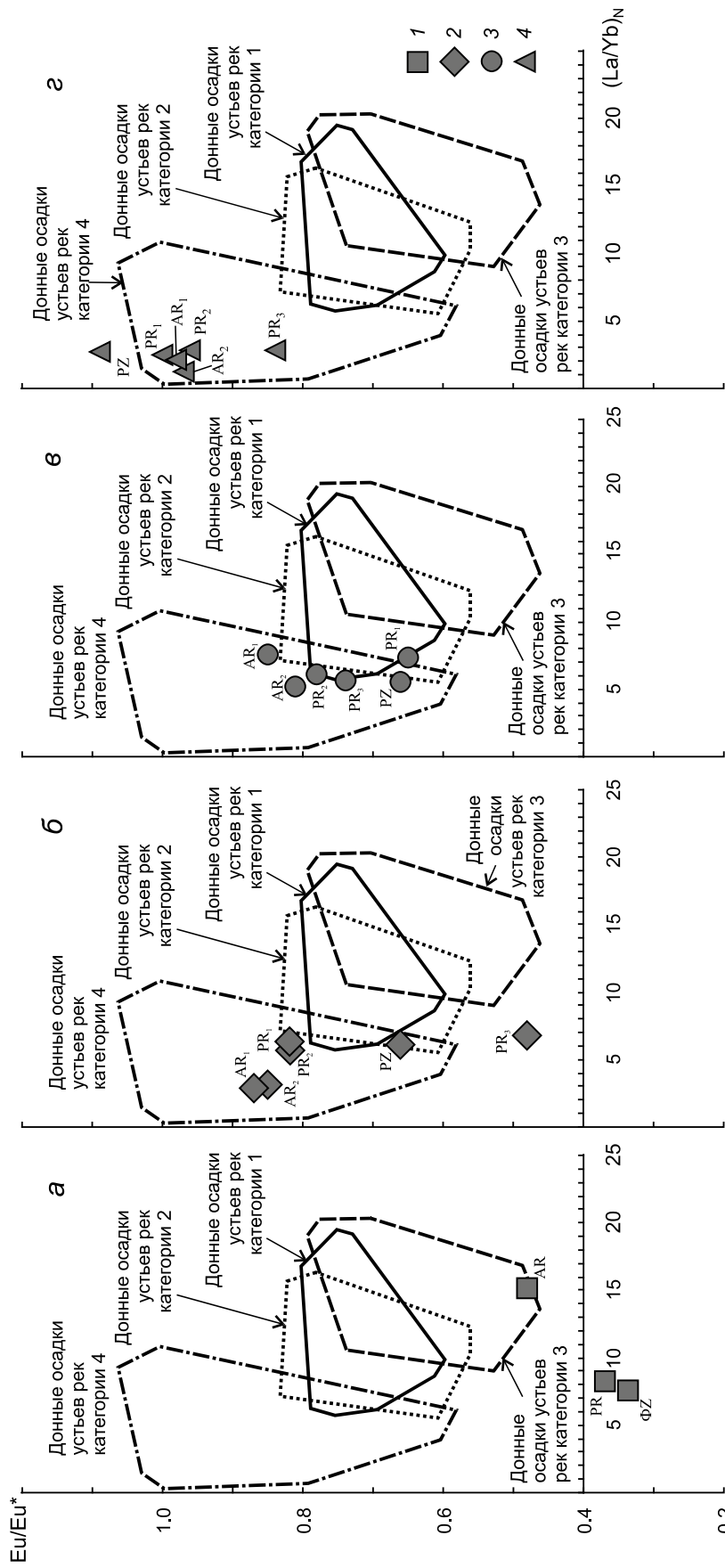


Рис. 5. Распределение средних точек состава гранитов (а), фельзитов (б), андезитов (в) и известково-щелочных базальтов (г) разного возраста на диаграмме $(La/Yb)_N - Eu/Eu^*$.
 Типы пород: 1 – граниты; 2 – фельзиты; 3 – андезиты; 4 – известково-щелочные базальты. AR – архей; PR – протерозой; PZ – фанерозой; AR₁ – ранний архей; AR₂ – поздний архей; PR₁ – ранний протерозой; PR₂ – средний протерозой; PR₃ – поздний протерозой; PZ – палеозой.

составов различных породных ассоциаций и выполнено сравнение их с положением средних точек состава глинистых пород ряда свит учурской, аимчанской, керпыльской, лахандинской и уйской серий*. В результате, исходя из свойственного всем перечисленным объектам сходства по параметрам $(La/Yb)_N$ и Eu/Eu^* (эти данные можно рассчитать для многих породных ассоциаций названного щита), можно думать, что источниками тонкой алюмосиликокластики для отложений рифея Юдомо-Майского региона могли являться комплексы пород, сходные по своим геохимическим характеристикам с породами древнеджугджурского**, улканского и федоровского комплексов, а также ряда других ассоциаций, в том числе присутствующих в пределах Батомгского поднятия. На породы федоровского комплекса как на возможный источник сноса указывает также и сходство в них и в средних составах глинистых пород рифея, значений Cr/Th . Эти выводы о возможных источниках сноса не противоречат тем, что получены В.Н. Подковыровым с соавторами [46, 48] при исследовании геохимических характеристик обломочных пород сибирского гипостратотипа рифея.

Средние точки состава глинистых пород основных литостратиграфических подразделений рифея Юдомо-Майского прогиба на диаграммах $(La/Yb)_N - Eu/Eu^*$ и $Cr/Th - Eu/Eu^*$ расположены так, что полностью отвечают полям состава габбро-диорит-гранитной ассоциации/комплекса Батомгского поднятия и магматических пород Улканского прогиба. Детализация этих полей с учетом состава различных типов входящих в них пород показана на рисунках б б, в, д, е. Из анализа данного рисунка можно сделать вывод, что источниками тонкой алюмосиликокластики для глинистых пород рифея Юдомо-Майского прогиба служили комплексы пород, сходные по своим геохимическим характеристикам с нижнепротерозойскими гранитоидами Батомгского поднятия, а также базальтами, андезибазальтами, трахибазальтами и трахиандезибазальтами Улканского прогиба.

*К сожалению, целенаправленных литогеохимических исследований терригенных пород улканской и уянской серий, подобных работам В.Н. Подковырова с соавторами середины 1980–90 гг. по учурско-уйскому интервалу разреза рифея Юдомо-Майского прогиба [44–48 и др.], проведено не было, и это в заметной мере снижает представительность данных настоящей работы в части реконструкции типов рек-поставщиков тонкой алюмосиликокластики в область осадконакопления.

**Названный комплекс принадлежит габбро-анортозитовой формации и включает анортозиты, габброанортозиты, габбро, габброанортозиты, нориты, лейконориты, пироксениты, перидотиты, оливиниты, горнблендиты, гарцбургиты, троктолиты и верлиты [10].

В то же время при интерпретации приведенных выше данных следует помнить, что они корректны только в случае доминирования в составе тонкозернистых обломочных/глинистых пород материала первого цикла седиментации. Однако глинистые породы характеризуются, как правило, существенной или преобладающей долей продуктов второго и последующего циклов осадконакопления, что делает любые генетические выводы по их валовому химическому составу скорее предположительными. Интересно также отметить, что точка состава такого референтного геохимического объекта, как PAAS, расположена на диаграмме $(La/Yb)_N - Eu/Eu^*$ в зоне перекрытия полей состава метавулканитов древнеджугджурского комплекса, габбро-диорит-гранитного комплекса Батомгского поднятия и магматических пород Улканского прогиба, но вряд ли можно всерьез считать, что именно названные ассоциации являлись источниками тонкой алюмосиликокластики для пород, валовый химический состав которых был использован при расчете PAAS.

Фигуративные точки состава глинистых пород трехгорной свиты нижнего рифея на диаграмме $(La/Yb)_N - Eu/Eu^*$ сосредоточены в области донных осадков рек категории 3 (реки, дренирующие магматические/метаморфические террейны) или вне какой-либо из показанных на данном графике классификационных областей (рис. 7, а). Точки тонкозернистых обломочных пород димской свиты присутствуют здесь в области 3, а также в зоне перекрытия областей донных осадков рек категорий 1 (крупные реки), 2 (реки дренирующие осадочные породы) и 3.

Примерно так же распределены на данном графике и точки состава глинистых пород талынской свиты, хотя одна из фигуративных точек состава глинистых сланцев этого уровня попадает и в область осадков рек категории 4 (реки, питающиеся продуктами размыва пород вулканических провинций, в том числе, с учетом материалов [48], возможно с присутствием ультраосновных пород). В то же время нельзя забывать, что породы талынской свиты в ряде мест перекрывают непосредственно кристаллический фундамент, и соответственно можно было бы ожидать присутствие их точек состава и в области 3. Точки глинистых пород светлинской и тоттинской свит расположены во всех четырех классификационных областях диаграммы (в том числе тоттинской свиты и в области 3, что отражает, по всей видимости, размыв кристаллических пород фундамента), но больше всего их в зоне перекрытия областей осадков устьевых частей рек категорий 1 и 2.

Точки тонкозернистых обломочных пород неруенской свиты в основном сосредоточены в областях

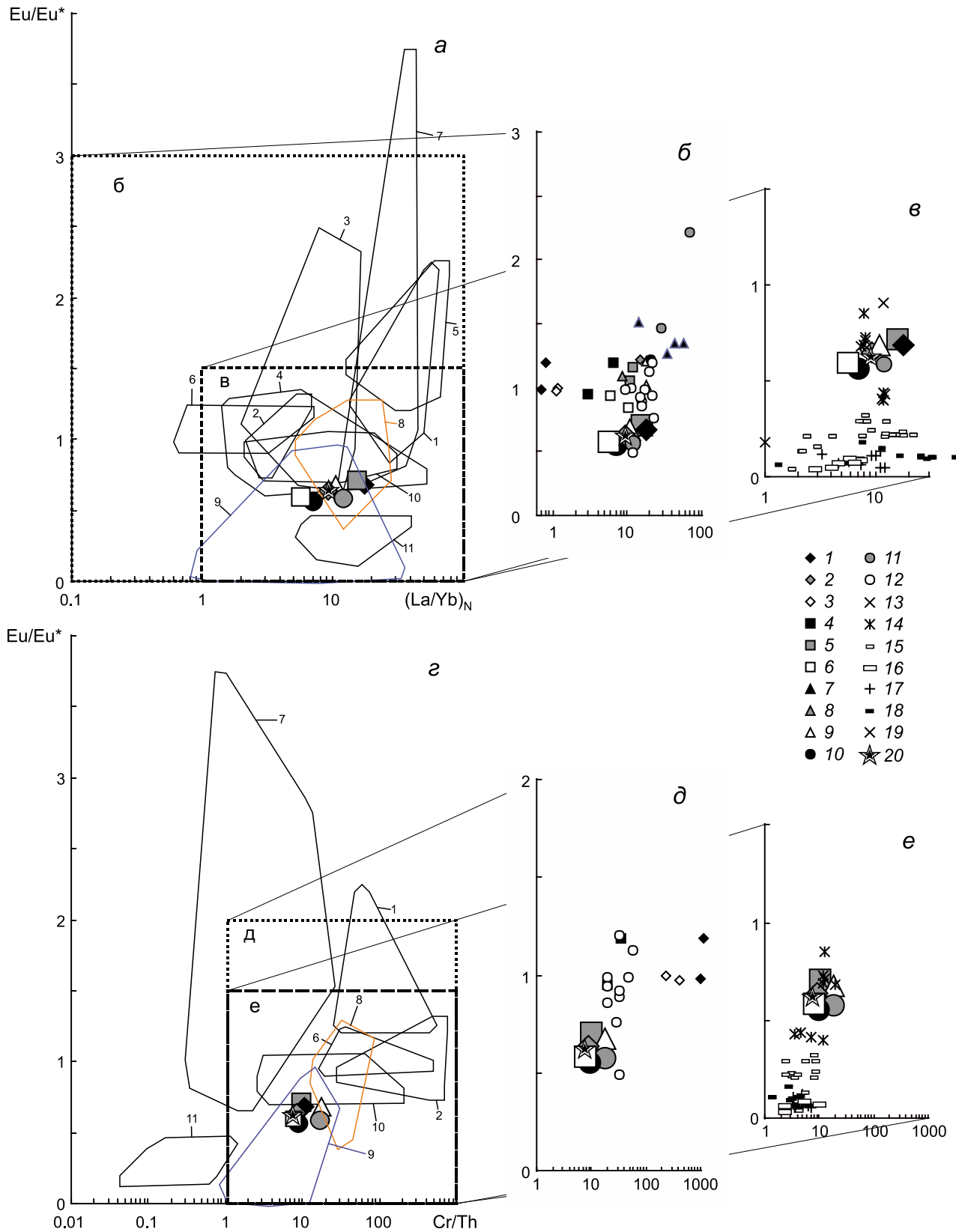


Рис. 6. Положение полей состава различных породных ассоциаций Алданского щита, Батомгского поднятия и Улканского прогиба и средних точек состава глинистых пород различных свит рифея Юдомо-Майского региона на диаграммах $(La/Yb)_N$ - Eu/Eu^* (а-в) и Cr/Th - Eu/Eu^* (з-е).

донных осадков приустьевых частей рек категорий 2 и 4; одна точка тяготеет к области 3. Наконец, фигуративные точки состава глинистых пород усть-кирбинской свиты можно видеть как в зонах перекрытия областей донных осадков рек категорий 1 и 2, а также 2 и 4, так и в области 4 или несколько ниже неё.

Средние точки состава глинистых пород тех же свит на рассматриваемом графике (рис. 7, б) распределены следующим образом. Средняя точка состава глинистых пород трехгорной свиты расположена в области донных осадков приустьевых частей рек категории 3 (реки, питающиеся продуктами размыва пород магматических/метаморфических террейнов/провинций). Средние точки состава глинистых сланцев димской, талынской и отчасти светлинской свит тяготеют к зоне перекрытия областей донных осадков рек категорий 1, 2 и 3, т. е. можно предполагать, что в составе тонкозернистых обломочных пород указанных литостратиграфических подразделений присутствуют продукты размыва как осадочных образований (осадки рек категорий 1 и 2), так и магматических и метаморфических комплексов (осадки рек категории 3).

В составе глинистых пород более высоких уровней сибирского гипостратотипа рифея продукты размыва последних, по всей видимости, либо отсутствуют, либо доля их относительно невелика, так как средние точки состава глинистых сланцев тотгинской, неруенской и усть-кирбинской свит локализованы либо в зоне перекрытия областей донных осадков приустьевых частей рек категорий 1 и 2, либо располагаются ниже области донных осадков рек категории 2 (реки, дренирующие в основном осадочные образования).

На графике $(La/Yb)_N-Th$ большинство фигуративных точек состава глинистых пород рифея Юдомо-Майского региона тяготеет к классификационным областям 1, 2 и 4 (рис. 8, а). Весьма небольшая часть точек тонкозернистых обломочных пород трехгорной, талынской и тотгинской свит попадает в область донных осадков приустьевых частей рек категории 3, что указывает на вовлечение в размыв и пород кристаллического фундамента (это должно быть так вследствие

налегания отложений указанных свит на породы кристаллического фундамента); часть же точек усть-кирбинской, димской, светлинской и талынской свит на данном графике не соответствуют ни одному классификационному полю. В качестве наиболее вероятной причины этого мы можем предполагать сравнительно высокое содержание в указанное время в областях размыва (т. е. предположительно на Алданском щите или в Батомгском поднятии) раннепротерозойских островодужных вулканитов с повышенным содержанием $(La/Yb)_N$ и низкими содержаниями Th [21, 22].

Примечательно, что большая часть фигуративных точек глинистых пород усть-кирбинской свиты уйской серии тяготеет, в отличие от тонкозернистых обломочных пород подстилающих уровней рифея, к области донных осадков приустьевых частей рек категории 4, что предполагает участие в их составе продуктов размыва вулканических пород. Возможно, это отражает поступление такой алюмосиликокластики в бассейн на фоне формирования позднерифейского рифтогенного прогиба.

Средние точки состава глинистых пород рифея Юдомо-Майского прогиба на данной диаграмме в основном приурочены к зоне перекрытия областей донных осадков приустьевых частей рек категорий 1 (реки с площадью водосбора более 100 000 км²) и 2 (реки, питающиеся продуктами размыва преимущественно осадочных образований) (рис. 8, б). И только средняя точка состава глинистых пород усть-кирбинской свиты тяготеет к верхней части области составов донных осадков рек категории 4, т. е. рек, питающихся продуктами эрозии пород вулканических провинций, что хорошо согласуется и с ее положением на диаграмме $(La/Yb)_N-Eu/Eu^*$ (рис. 7, б).

ВЫВОДЫ

Фигуративные точки состава глинистых пород рифея Юдомо-Майского прогиба (учурско-уйский интервал) на диаграмме $(La/Yb)_N-Eu/Eu^*$ сосредоточены в основном в областях 1 (осадки устьевых частей крупных рек), 2 (осадки рек, дренирующих водосбо-

1–12 – составы магматических пород Батомгского поднятия (1 – коматиитовые метабазалты, 2 – метагаббронориты, 3 – толенитовые метабазалты, 4 – известково-щелочные метабазалты, 5 – метагаббродиориты, 6 – метадиориты, 7 – метадациты, 8 – кварцевые диориты, 9 – гранодиориты, 10 – плагиограниты, 11 – метариолиты, 12 – гранитоиды) [6 и ссылки там; 14, 27]; 13–19 – составы магматических пород Улканского прогиба (13 – комендиты, 14 – базальты, андезибазальты, трахибазальты, трахиандезибазальты, 15 – трахидациты, трахириолиты, 16 – граниты 1й фазы, 17 – граниты 2й фазы, 18 – щелочные граниты 3й фазы, 19 – сиениты) [15]; 20 – PAAS.

Цифрами на рисунках указаны поля состава: 1 – гиперстеновые плагиогнейсы Сутамского блока; 2 – кристаллосланцы Сутамского блока; 3 – метабазиты и эндербиты древнеджугджурского комплекса; 4 – метавулканиты того же комплекса; 5 – биотитовые и биотит-амфиболовые ортогнейсы батомгского комплекса; 6 – амфиболиты и амфиболовые плагиогнейсы того же комплекса; 7 – гранитогнейсы типа II центральной части Алданского щита; 8 – габбро-диорит-гранитный комплекс Батомгского поднятия; 9 – магматические породы Улканского прогиба; 10 – федоровский комплекс; 11 – нелюкинский комплекс. Остальные условные обозначения (крупные значки – средний состав некоторых литостратиграфических подразделений рифея Юдомо-Майского прогиба) см. рис. 3.

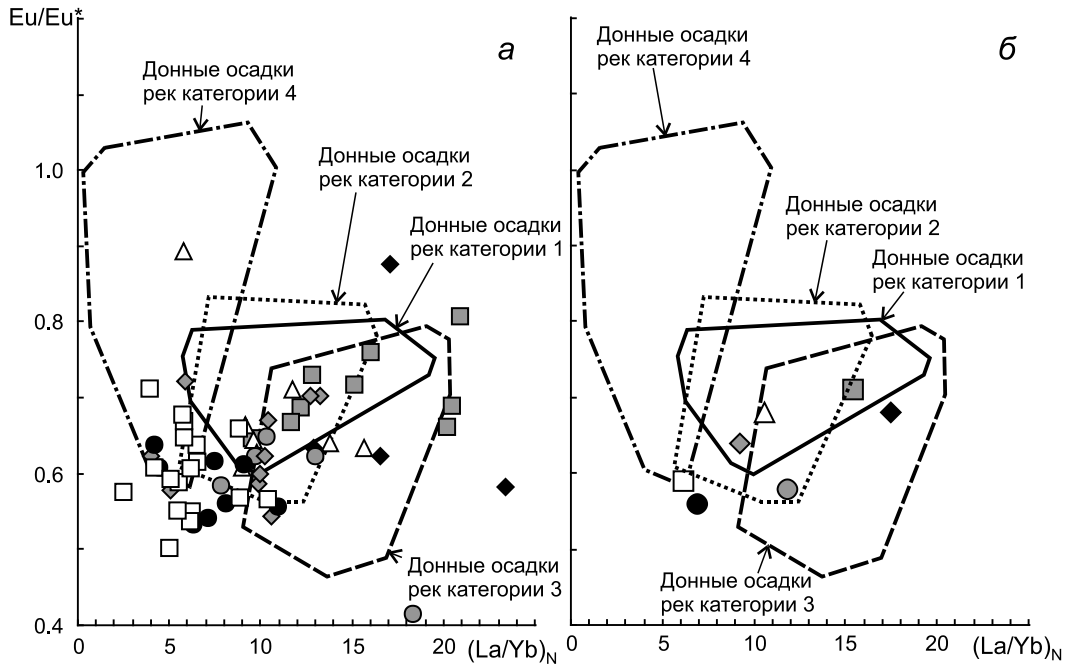


Рис. 7. Положение индивидуальных фигуративных (а) и средних (б) точек состава тонкозернистых обломочных пород рифея Юдомо-Майского региона на диаграмме $(La/Yb)_N - Eu/Eu^*$.

Условные обозначения см. рис. 3.

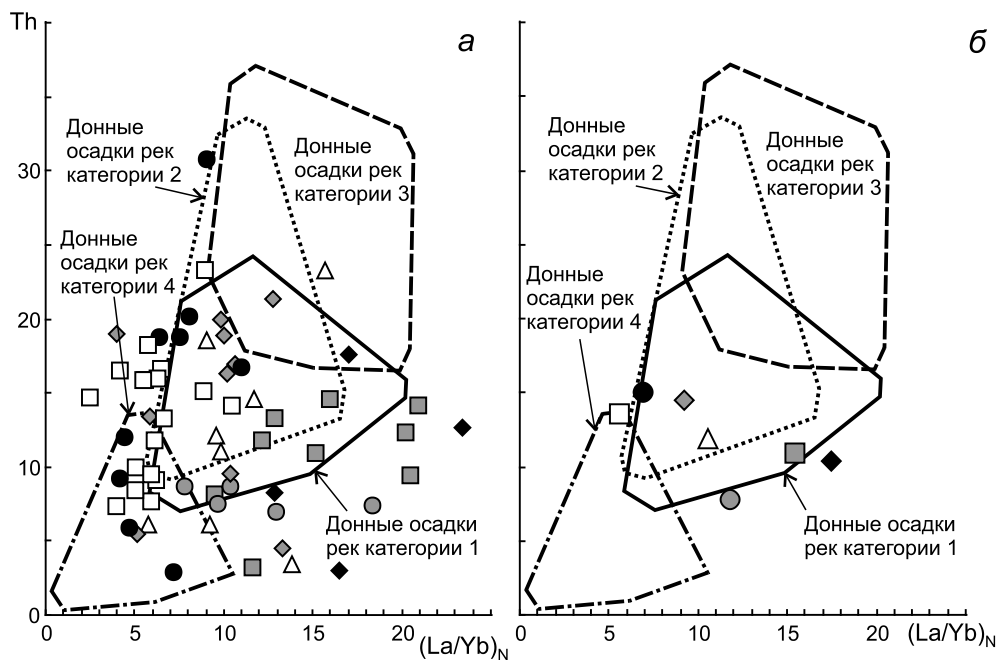


Рис. 8. Положение индивидуальных фигуративных (а) и средних (б) точек состава тонкозернистых обломочных пород рифея Юдомо-Майского региона на диаграмме $(La/Yb)_N - Th$.

Условные обозначения см. рис. 3.

ры, сложенные в основном осадочными породами) и 4 (осадки устьевых частей рек, питающихся продуктами эрозии пород вулканических провинций), а также в зонах их перекрытия. Весьма небольшая часть

фигуративных точек состава присутствует в области 3 (осадки устьевых частей рек, дренирующих магматические/метаморфические террейны/комплексы/провинции). Отсутствие данных о валовом химическом

составе тонкозернистых обломочных пород вулканско-уянского интервала разреза не позволяет судить о типах/категориях рек-источников тонкой алюмосиликокластики для начальных этапов формирования рифейской осадочной мегапоследовательности рассматриваемого региона. Можно только предполагать, что именно для этого этапа речные системы должны были быть похожими на реки категорий 3 и 4.

Средняя точка состава глинистых пород трехгорной свиты на диаграмме $(La/Yb)_N - Eu/Eu^*$ расположена в области донных осадков устьевых частей рек категории 3. Средние точки состава глинистых сланцев димской, талынской и светлинской свит тяготеют к зоне перекрытия областей донных осадков приустьевых частей рек категорий 1, 2 и 3, т. е. в составе тонкозернистых обломочных пород указанных свит присутствуют продукты размыва как осадочных образований, так и магматических и метаморфических комплексов. Это достаточно хорошо соответствует реальной геологической ситуации. В то же время в составе глинистых пород более высоких уровней сибирского гипостратотипа рифея продукты размыва магматических/метаморфических террейнов/комплексов/провинций либо отсутствуют, либо доля их весьма невелика, что указывает на преимущественное рециклирование осадочного материала и существенное усреднение его состава. Начало этому было положено, по всей видимости, обширной керпыльской трансгрессией, благодаря которой ранее существовавшие основные источники обломочного материала были затоплены морем, а новые располагались далеко на западе.

На графике $(La/Yb)_N - Th$ большинство фигуративных точек состава глинистых пород рифея Юдомо-Майского региона тяготеет к областям 1, 2 и 4. Средние их точки в основном приурочены к зоне перекрытия областей донных осадков рек категорий 1 (реки с площадью водосбора более 100 000 км²) и 2 (реки, питающиеся продуктами размыва преимущественно осадочных образований). Иное положение на данном графике имеет средняя точка состава глинистых пород усть-кирбинской свиты. Она приурочена к области составов донных осадков устьевых частей рек, питающихся продуктами эрозии пород вулканических провинций. Это отражает смену в начале позднего рифея состава и, по всей видимости, положения пород питающих провинций, что хорошо фиксируется и по U-Pb-изотопным спектрам возрастов присутствующих в песчаниках уйской серии обломочных цирконов.

Благодарности. Авторы искренне признательны анонимному рецензенту, чьи сомнения, замечания и советы, несомненно, способствовали существенному улучшению работы, а также Н.С. Глушковой, выполнившей все иллюстрации к статье.

Исследования выполнены в рамках тем государственного задания ИГГ УрО РАН (0393-2019-0004), ГИН РАН (0135-2019-0043) и ИГГД РАН (0132-2021-0003).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Варнавский В.Г., Кузнецов В.Е. Область рифей-венд-кембрийского седиментогенеза юго-восточной окраины Северо-восточного кратона // Тихоокеан. геология. 2011. Т. 31, № 5. С. 67–79.
2. Варнавский В.Г. Алдано-Майский осадочный бассейн (юго-восток Северо-Азиатского кратона): литостратиграфия докембрия, кембрия // Тихоокеан. геология. 2015. Т. 34, № 2. С. 82–102.
3. Великославинский С.Д., Котов А.Б., Сальникова Е.Б., Ковач В.П., Глебовицкий В.А., Загорная Н.Ю., Яковлева С.З., Толмачева Е.В., Анисимова И.В., Федосеенко А.М. Первичная природа, возраст и геодинамическая обстановка формирования протолитов метаморфических пород федоровской толщи, Алданский щит // Петрология. 2006. Т. 14, № 1. С. 25–43.
4. Великославинский С.Д., Котов А.Б., Толмачева Е.В., Сальникова Е.Б., Ковач В.П., Ларин А.М. Раннедокембрийские гранитогнейсовые комплексы центральной части Алданского щита // Петрология. 2011. Т. 19, № 4. С. 399–416.
5. Вовна Г.М., Мишкин М.А., Ленников А.М., Октябрьский Р.А., Полин В.Ф., Бадрединов З.Г., Ясныгина Т.А. Геохимия и условия метаморфизма пород Батомгской гранит-зеленокаменной области (Алданский щит) // Геохимия. 2013. № 12. С. 1076–1089.
6. Вовна Г.М. Геохимия, происхождение и возраст метамагматических пород ранней сиалической коры Алданского щита: Дис. ... док-ра геол.-минер. наук. Владивосток: ДВГИ ДВО РАН, 2016. 219 с.
7. Геохимия тонкозернистых терригенных пород верхнего докембрия Северной Евразии / А.В. Маслов, А.Д. Ножкин, В.Н. Подковыров, Е.Ф. Летникова, О.М. Туркина, Д.В. Гражданкин, Н.В. Дмитриева, М.В. Ишерская, М.Т. Крупенин, Ю.Л. Ронкин, Э.З. Гареев, С.В. Вещева, О.П. Лепихина. Екатеринбург: ИГГ УрО РАН, 2008. 274 с.
8. Гордеев В.В., Лисицын А.П. Геохимическое взаимодействие пресноводной и морской гидросфер // Геология и геофизика. 2014. Т. 55, № 5-6. С. 721–744.
9. Горошко М.В., Гурьянов В.А. Мезо-неопротерозойские комплексы чехла юго-востока Сибирской платформы: условия образования и основные черты тектоники // Геотектоника. 2008, № 2. С. 80–96.
10. Государственная геологическая карта Российской Федерации. 1:1 000 000 (третье поколение). Серия Дальневосточная. Лист N-53 – Шантарские острова: Объясн. зап. СПб.: Картограф. фа-ка. ВСЕГЕИ, 2007. 448 с.
11. Государственная геологическая карта Российской Федерации. 1:1 000 000 (третье поколение). Серия Дальневосточная. Лист O-53 Нелькан: Объясн. зап. СПб.: Картограф. фа-ка ВСЕГЕИ, 2012. 364 с.
12. Губайдуллин М.Г. Основные сведения о геологическом строении восточной части водосбора Белого моря // Система Белого моря. Т. I. Природная среда водосбора Белого моря. М.: Науч. мир, 2010. С. 40–57.
13. Гурьянов В.А. Геология и металлогения Улканского райо-

- на (Алдано-Становой щит). Владивосток: Дальнаука, 2007. 226 с.
14. Гурьянов В.А., Диденко А.Н., Песков А.Ю., Роганов Г.В., Дымович В.А. раннедокембрийские гранитоиды Батомгского выступа фундамента юго-востока Сибирской платформы; возраст и геодинамическая обстановка формирования // Тихоокеан. геология. 2016. Т. 35, № 3. С. 23–44.
 15. Диденко А.Н., Гурьянов В.А., Песков А.Ю., Пересторонин А.Н., Авдеев Д.В., Бибикина Е.В., Кирилова Т.И., Фугзан М.М. Геохимия и геохронология протерозойских магматических пород Улканского прогиба (новые данные) // Тихоокеан. геология. 2010. Т. 29, № 5. С. 44–69.
 16. Диденко А.Н., Песков А.Ю., Гурьянов В.А., Пересторонин А.Н., Косынкин А.В. Палеомагнетизм Улканского прогиба (юго-восток Сибирского кратона) // Тихоокеан. геология. 2013. Т. 32, № 1. С. 31–53.
 17. Интерпретация геохимических данных / Отв. ред. Е.В. Скляр. М.: Интернет Инжиниринг, 2001. 288 с.
 18. Калинин М.А., Худoley А.К., Казакова Г.Г. Деформационные процессы и палеогеография Южного Верхоянья на рубеже раннего и среднего рифея // Геодинамическая эволюция литосферы Центрально-Азиатского подвижного пояса (от океана к континенту). Вып. 15. Иркутск: ИЗК СО РАН, 2017. С. 112–113.
 19. Карсаков Л.П., Гурьянов В.А., Горошко М.А. Стратиграфия нижних горизонтов гипостратотипа рифея (юго-восток Сибирской платформы) // Стратиграфия. Геол. корреляция. 2002. Т. 10, № 1. С. 47–61.
 20. Комар Вл.А., Семихатов М.А., Серебряков С.Н. Стратиграфическая шкала рифейских отложений Учуро-Майского региона // Сов. геология. 1977. № 8. С. 32–49.
 21. Котов А.Б. Граничные условия геодинамических моделей формирования континентальной коры Алданского щита: Дис. ... док-ра. геол.-минер. наук. СПб.: ИГГД РАН, 2003. 78 с.
 22. Котов А.Б., Сальникова Е.Б., Ларин А.М., Ковач В.П., Саватенков В.М., Яковлева С.З., Бережная Н.Г., Плоткина Ю.В. Раннепротерозойские гранитоиды зоны сочленения Олекминской гранит-зеленокаменной и Алданской гранулитогнейсовой областей, Алданский щит: возраст, источники и геодинамические обстановки формирования // Петрология. 2004. Т. 12, № 1. С. 46–67.
 23. Котова Л.Н., Подковыров В.Н. Петрохимия песчаников сибирского гипостратотипа рифея (Учуро-Майский регион) // Литология и полез. ископаемые. 2001. № 2. С. 142–154.
 24. Краснобаев А.А., Козлов В.И., Пучков В.Н., Бушарина С.В., Сергеева Н.Д., Падерин И.П. Цирконовая геохронология машакских вулканитов и проблема возраста границы нижний–средний рифей (Южный Урал) // Стратиграфия. Геол. корреляция. 2013. Т. 21, № 5. С. 3–20.
 25. Краснобаев А.А., Козлов В.И., Пучков В.Н., Сергеева Н.Д., Бушарина С.В., Лепехина Е.Н. Цирконология навьшских вулканитов айской свиты и проблема возраста нижней границы рифея на Южном Урале // Докл. АН. 2013. Т. 448, № 4. С. 437–442.
 26. Кузнецов В.Е., Варнавский В.Г. Венд-рифейские комплексы Алдано-Майского осадочного бассейна и Юрубчено-Тохомской зоны нефтегазоаккумуляции (юго-восток и юго-запад Северо-Азиатского кратона): сравнительный анализ, нефтегазоносность // Тихоокеан. геология. 2018. Т. 37, № 1. С. 22–36.
 27. Кузьмин В.К., Богомолов Е.С., Глебовицкий В.А. Раннепротерозойский габбро-диорит-гранитный магматизм Батомгского поднятия (северо-восток Алданского щита) – Sm–Nd-изотопно-геохимические свидетельства // Докл. АН. 2016. Т. 466, № 6. С. 707–713.
 28. Ларин А.М., Котов А.Б., Сальникова Е.Б., Глебовицкий В.А., Великославинский С.Д., Яковлева С.З., Анисимова И.В. Возраст и тектоническое положение улканской серии стратотипа верхнего карелия Восточной Сибири и Дальнего Востока // Докл. АН. 2013. Т. 449, № 4. С. 447–451.
 29. Лисицын А.П. Маргинальный фильтр океанов // Океанология. 1994. Т. 34, № 5. С. 735–747.
 30. Маслов А.В., Ножкин А.Д., Подковыров В.Н., Летникова Е.Ф., Туркина О.М., Ронкин Ю.Л., Крупенин М.Т., Дмитриева Н.В., Гареев Э.З., Лепихина О.П., Попова О.Ю. Тонкозернистые алюмосиликокластические породы рифея Южного Урала, Учуро-Майского региона и Енисейского кряжа: основные литогеохимические характеристики // Геохимия. 2008. № 11. С. 1187–1215.
 31. Маслов А.В., Подковыров В.Н., Гареев Э.З., Граунов О.В. Изменения палеоклимата в позднем докембрии (по данным изучения верхнедокембрийского разреза Южного Урала) // Литология и полез. ископаемые. 2016. № 2. С. 129–149.
 32. Маслов А.В., Козина Н.В., Шевченко В.П., Ключиткин А.А., Сапожников Ф.В., Завьялов П.О. Систематика редкоземельных элементов в современных донных осадках Каспийского моря и устьевых зон рек Мира: опыт сопоставления // Докл. АН. 2017. Т. 475, № 2. С. 195–201.
 33. Маслов А.В., Шевченко В.П. Систематика редких земель и Th во взвеси и донных осадках устьевых зон разных категорий/классов рек мира и ряда крупных рек Российской Арктики // Геохимия. 2019. Т. 64, № 1. С. 59–78.
 34. Маслов А.В. К реконструкции категорий рек, сформировавших выполнение осадочных бассейнов рифея в области сочленения Восточно-Европейской платформы и современного Южного Урала // Изв. вузов. Геология и разведка. 2019. № 5. С. 28–36.
 35. Маслов А.В. Категории водосборов-источников тонкой алюмосиликокластики для отложений серебрянской и сыльвицкой серий венда (Средний Урал) // Литосфера. 2020. Т. 20, № 6. С. 751–770.
 36. Маслов А.В. Категории рек, сформировавших выполнение осадочных бассейнов рифея (Южный Урал) // Проблемы минералогии, петрографии и металлогении / Научные чтения памяти П.Н. Чирвинского. Вып. 23. Пермь: Изд-во ПГНИУ, 2020. С. 116–122.
 37. Медведева С.А. Эволюция тектонических условий формирования протерозойских осадочных толщ на юго-востоке Сибирской платформы (Улканский район) по литохимическим данным // Успехи современного естествознания. 2017. № 12. С. 195–200.
 38. Медведева С.А. Возможность применения литохимии для сопоставления и корреляции отложений на примере Комсомольского разреза Северного Сихотэ-Алиня (Дальний Восток России) // Тихоокеан. геология. 2019. Т. 38, № 4. С. 74–89.
 39. Мельников Н.В., Якшин М.С., Шишкин Б.Б., Ефимов А.О., Карлова Г.А., Килина Л.И., Константинова Л.Н., Кочнев Б.Б., Краевский Б.Г., Мельников П.Н., Наговицин К.Е., Постников А.А., Рябкова Л.В., Терлеев А.А., Хабаров Е.М. Стратиграфия нефтегазоносных бассейнов Сибири. Рифей

- и венд Сибирской платформы и ее складчатого обрамления. Новосибирск: Акад. изд-во «ГЕО», 2005. 428 с.
40. Мишкин М.А., Ленников А.М., Вовна Г.М., Бадрединов З.Г., Октябрьский Р.А. Геохимия и исходная природа метабазит-эндербитовой ассоциации Джугджурского блока (Алданский щит) // Геохимия. 2007. № 6. С. 608–623.
 41. Мишкин М.А., Ленников А.М., Баянова Т.В., Вовна Г.М., Сахно В.Г., Октябрьский Р.А., Бадрединов З.Г. Первые результаты U-Pb геохронологических исследований докембрийских гранитоидов Батомгского блока Алданского щита // Тихоокеан. геология. 2010. Т. 4, № 3. С. 45–49.
 42. Овчинникова Г.В., Семихатов М.А., Васильева И.М., Горохов И.М., Каурова О.К., Подковыров В.Н., Гороховский Б.М. Pb-Pb возраст известняков среднерифейской малгинской свиты, Учуро-Майский регион Восточной Сибири // Стратиграфия. Геол. корреляция. 2001. Т. 9, № 6. С. 3–16.
 43. Павлов В.Э., Петров П.Ю., Журавлев А.З., Галле И., Шаццлло А.В. Уйская серия и позднепротерозойские силлы Учуро-Майского района: изотопные и палеомагнитные данные подтверждают возможность вхождения Сибири в состав суперконтинента Родиния // Геотектоника. 2002. Т. 36, № 4. С. 278–291.
 44. Подковыров В.Н. Осадочные последовательности рифея и венда стратотипических регионов Сибири и Урала (литохимия, хемотратиграфия, геодинамические обстановки формирования): Автореф. дис. ... док-ра. геол.-минер. наук. СПб.: ИГГД РАН, 2001. 37 с.
 45. Подковыров В.Н., Ковач В.П., Котова Л.Н. Модели палеотектоники бассейнов сибирского типа рифея (Учуро-Майский регион): геохимические и Nd изотопные свидетельства по глинистым породам // Суперконтиненты в геологическом развитии докембрия. Материалы совещ. Иркутск: ИЗК СО РАН, 2001. С. 189–192.
 46. Подковыров В.Н., Ковач В.П., Котова Л.Н. Глинистые отложения сибирского гипостратотипа рифея и венда: химический состав, Sm-Nd систематика источников и этапы формирования // Литология и полез. ископаемые. 2002. № 4. С. 397–418.
 47. Подковыров В.Н., Котова Л.Н., Ковач В.П., Загорная Н.Ю. Модельные Sm-Nd возраста источников терригенных осадков и геодинамика бассейнов сибирского гипостратотипа рифея (Учуро-Майский регион) // Изотопная геохронология в решении задач геодинамики и рудогенеза: Материалы совещ. СПб.: ИГГД РАН, 2003. С. 362–365.
 48. Подковыров В.Н., Котова Л.Н., Котов А.Б., Ковач В.П., Граунов О.В., Загорная Н.Ю. Области сноса и источники рифейских песчаников Учуро-Майского региона (Восточная Сибирь): результаты геохимических и Sm-Nd изотопно-геохимических исследований // Стратиграфия. Геол. корреляция. 2007. Т. 15, № 1. С. 47–62.
 49. Попеко Л.И., Смирнова Ю.Н., Заика В.А., Сорокин А.А. Источники кластического материала, условия накопления верхнепалеозойских шазагайтуйской и жипхошинской свит Чиронского прогиба (Восточное Забайкалье) // Тихоокеан. геология. 2019. Т. 38, № 4. С. 13–34.
 50. Развозжаева Е.П. Сейсмостратиграфическая модель Алдано-Майского осадочного бассейна (юго-восток Сибирской платформы) // Тихоокеан. геология. 2020. Т. 39, № 5. С. 25–47.
 51. Семихатов М.А., Серебряков С.Н. Сибирский гипостратотип рифея. М.: Наука, 1983. 224 с.
 52. Семихатов М.А., Овчинникова Г.В., Горохов И.М., Кузнецов А.Б., Васильева И.М., Гороховский Б.М., Подковыров В.Н. Изотопный возраст границы среднего и верхнего рифея: Pb-Pb геохронология карбонатных пород лахандинской серии, Восточная Сибирь // Докл. АН. 2000. Т. 372, № 2. С. 216–221.
 53. Семихатов М.А. Хроностратиграфия и хронометрия: конкурирующие концепции общего расчленения докембрия // Бюлл. МОИП. Отд. геол. 2008. Т. 83, Вып. 5. С. 36–58.
 54. Семихатов М.А., Кузнецов А.Б., Чумаков Н.М. Изотопный возраст границ общих стратиграфических подразделений верхнего протерозоя (рифей и венда) России: эволюция взглядов и современная оценка // Стратиграфия. Геол. корреляция. 2015. Т. 23, № 6. С. 16–27.
 55. Смирнова Ю.Н., Сорокин А.А., Попеко Л.И., Смирнов Ю.В. Геохимические особенности палеозойских терригенных отложений Ольдойского террейна восточной части Центрально-Азиатского складчатого пояса как отражение геодинамических условий седиментации // Геохимия. 2013. № 4, С. 344–365.
 56. Смирнова Ю.Н., Сорокин А.А., Котов А.Б., Ковач В.П. Тектонические условия накопления и источники верхнепротерозойских и нижнепалеозойских терригенных отложений Малохинганского террейна Центрально-Азиатского складчатого пояса // Стратиграфия. Геол. корреляция. 2016. Т. 24, № 3. С. 3–26.
 57. Смирнова Ю.Н., Попеко Л.И., Сорокин А.А. Возраст, геохимия, источники кластического материала, обстановки накопления глубокинской свиты (Восточное Забайкалье) // Тихоокеан. геология. 2017. Т. 36, № 3. С. 12–27.
 58. Сорокин А.А., Смирнов Ю.В., Смирнова Ю.Н. Геохимические особенности и источники кластического материала палеозойских терригенных отложений северо-восточного фланга Южно-Монгольско-Хинганского орогенного пояса // Стратиграфия. Геол. корреляция. 2017. Т. 25, № 2. С. 27–48.
 59. Тектоника, геодинамика и металлогения территории Республики Саха (Якутия). М.: МАИК «Наука/Интерпериодика», 2001. 571 с.
 60. Фролов В.Т. Литология. Кн. 1. М.: Изд-во МГУ, 1992. 336 с.
 61. Худoley А.К. Тектоника пассивных окраин древних континентов (на примере восточной окраины Сибирской и западной окраины Североамериканской платформы): Автореф. дис. ... док-ра геол.-минер. наук. М.: ГИН РАН, 2003. 35 с.
 62. Шенфиль В.Ю. Поздний докембрий Сибирской платформы. Новосибирск: Наука, 1991. 185 с.
 63. Юдович Я.Э., Кетрис М.П. Основы литохимии. СПб.: Наука, 2000. 479 с.
 64. Юдович Я.Э., Кетрис М.П. Геохимические индикаторы литогенеза (литологическая геохимия). Сыктывкар: Геопринт, 2011. 742 с.
 65. Япаскурт О.В. Предметаморфические изменения осадочных пород в стратифере: Процессы и факторы. М.: ГЕОС, 1999. 260 с.
 66. Bayon G., Toucanne S., Skonieczny C., Andre L., Bermell S., Cheron S., Dennielou B., Etoubleau J., Freslon N., Gauchery T., Germain Y., Jorry S.J., Menot G., Monin L., Ponzevera E., Rouget M.-L., Tachikawa K., Barrat J.A. Rare earth elements and neodymium isotopes in world river sediments revisited // Geochim. Cosmochim. Acta. 2015. V. 170. P. 17–38.
 67. Belz J.U., Goda L., Buzas Z., Domokos M., Weber J. Das

- Abflussregime der Donau und ihres Einzugsgebietes, Regionale Zusammenarbeit der Donauländer im Rahmen des IHP der UNESCO. Bundesamt für Gewässerkunde, Koblenz/Baja, 2004. 152 p.
68. 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* / J. Arribas, S. Critelli, M.J. Johnsson (Eds). Geol. Soc. Am. Spec. Pap. 2007. V. 420, P. 73–93.
 69. Cameron E.M., Hall G.E.M., Veizer J., Krouse H.R. Isotopic and elemental hydrogeochemistry of a major river system: Fraser River, British Columbia, Canada // *Chem. Geol. (Isotope Geosci. Section)*. 1995. V. 122. P. 149–169.
 70. 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. P. 256–267.
 71. 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.
 72. Condie K.C. Plate tectonics and crustal evolution. 4th ed. Oxford: Butterworth Heinemann. 1997. 282 p.
 73. Cox R., Lowe D.R., Cullers R.L. The influence of sediment recycling and basement composition on evolution of mudrock chemistry in southwestern United States // *Geochim. Cosmochim. Acta*. 1995. V. 59, P. 2919–2940.
 74. 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.
 75. Cullers R.L. The geochemistry of shales, siltstones and sandstones of Ordovician to Tertiary age in the Wet Mountain region, Colorado, USA: implications for provenance and metamorphic studies // *Lithos*. 2000. V. 51. P. 181–203.
 76. Cullers R.L., Podkovyrov V.N. Geochemistry of the Mesoproterozoic Lakhanda shales in southeastern Yakutia, Russia: implications for mineralogical and provenance control and recycling // *Precam. Res.* 2000. V. 104. P. 77–93.
 77. 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. P. 305–327.
 78. Descourvieres C., Douglas G., Leyland L., Hartog N., Prommer H. Geochemical reconstruction of the provenance, weathering and deposition of detrital-dominated sediments in the Perth Basin: The Cretaceous Leederville Formation, southwest Australia // *Sed. Geol.* 2011. V. 236. P. 62–76.
 79. Fedo C.M., Eriksson K.A., Krogstad E.J. Geochemistry of shales from the Archean (~ 3.0 Ga) Buhwa Greenstone Belt, Zimbabwe: implications for provenance and source-area weathering // *Geochim. Cosmochim. Acta*. 1996. V. 60. P. 1751–1763.
 80. Feng R., Kerrich R. Geochemistry of fine-grained clastic sediments in the Archean Abitibi greenstone belt, Canada: implications for provenance and tectonic setting // *Geochim. Cosmochim. Acta*. 1990. V. 54. P. 1061–1081.
 81. Gill B.C., Lyons T.W., Young S.A. et al. Geochemical evidence for widespread euxinia in the Later Cambrian ocean // *Nature*. 2011. V. 469. P. 80–83.
 82. Gonzalez-Alvarez I., Kerrich R. Weathering intensity in the Mesoproterozoic and modern large river systems: A comparative study in the Belt-Purcell Supergroup, Canada and USA // *Precam. Res.* 2012. V. 208–211. P. 174–196.
 83. 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.
 84. Khudoley A.K., Rainbird R.H., Stern R.A., Kropachev A.P., Heaman L.M., Zanin A.M., Podkovyrov V.N., Belova V.N., Sukhorukov V.I. Sedimentary evolution of the Riphean-Vendian Basin of southeastern Siberia // *Precam. Res.* 2001. V. 111. P. 129–163.
 85. Khudoley A.K., Kropachev A.P., Tkachenko V.I. Rublev A.G., Sergeev S.A., Matukov D.I., Lyahnitskaya O.Yu. Mesoproterozoic and Neoproterozoic evolution of the Siberian Craton and adjacent microcontinents: an overview with constraints for a Laurentian connection // *Proterozoic Geology of Western North America and Siberia*. SEPM Spec. Publ. 2007. V. 86. P. 209–226.
 86. Lee Y.I. Provenance derived from the geochemistry of late Paleozoic-early Mesozoic mudrocks of the Pyeongan Supergroup, Korea // *Sed. Geol.* 2002. V. 149. P. 219–235.
 87. Lentz D.R. (Ed.). *Inorganic Geochemistry of Sediments and Sedimentary Rocks: Evolutionary Considerations to Mineral Deposit-Forming Environments*. Geol. Ass. Canada. 2003. GeoText 4. 184 p.
 88. Loczy D., Stankoviansky M., Kotarba A. (Eds). *Recent Landform Evolution: The Carpatho-Balkan-Dinaric Region*. Springer Science & Business Media. 2012. 462 p.
 89. Lyons T.W., Anbar A.D., Severmann S., Scott C., Gill B.C. Tracking euxinia in the ancient ocean: A multiproxy perspective and Proterozoic case study // *Ann. Rev. Earth Planet. Sci.* 2009. V. 37. P. 507–534.
 90. Mahé G., Liéno G., Adeaga O. BFP Niger WP2: Water availability and access. 2009. <https://landportal.org/library/resources/handle1056833333/bfp-niger-wp2-water-availability-and-access> (дата обращения 13.05.2020).
 91. McLennan S.M. Rare earth elements in sedimentary rocks: influence of provenance and sedimentary processes // *Geochemistry and mineralogy of rare earth elements*. B.R. Lipin, G.A. McKay (Eds). *Reviews in Mineralogy*. 1989. V. 21. P. 169–200.
 92. McLennan S.M., Taylor S.R. Sedimentary rocks and crustal evolution: tectonic setting and secular trends // *J. Geology*. 1991. V. 99. P. 1–21.
 93. 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*. M.J. Johnsson, A. Basu (Eds). *Geol. Soc. Am. Spec. Pap.* 1993. V. 284. P. 21–40.
 94. Millot R., Gaillardet J., Dupre B., Allegre C.J. Northern latitude chemical weathering rates: Clues from the Mackenzie River Basin, Canada // *Geochim. et Cosmochim. Acta*. 2003. V. 67. P. 1305–1329.
 95. Mongelli G., Cullers R.L., Muelheisen S. Geochemistry of Late Cretaceous-Oligocene shales from the Varicolori Formation, southern Apennines, Italy: implications for mineralogical, grain-size control and provenance // *Eur. J. Mineralogy*. 1996. V. 8. P. 733–754.
 96. 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 J.* 2006. V. 40. P. 197–209.
97. Nath B.N., Kunzendorf H., Pluger W.L. Influence of provenance, weathering and sedimentary processes on the elemental ratios of the fine-grained fraction of the bedload sediments from the Vembanad lake and the adjoining continental shelf, southwest coast of India // *J. Sed. Res.* 2000. V. 70. P. 1081–1094.
98. Nesbitt H.W. Mobility and fractionation of rare elements during weathering of a granodiorite // *Nature.* 1979. V. 279. P. 206–210.
99. Peucker-Ehrenbrink B., Miller M.W., Arsouze T., Jeandel C. Continental bedrock and riverine fluxes of strontium and neodymium isotopes to the oceans // *Geochem. Geophys. Geosyst.* 2010. V. 11. Q03016. doi:10.1029/2009GC002869.
100. Picouet C., Dupre B., Orange D., Valladon M. Major and trace element geochemistry in the upper Niger river (Mali): physical and chemical weathering rates and CO₂ consumption // *Chem. Geol.* 2002. V. 185. P. 93–124.
101. Pokrovsky O.S., Viers J., Shirokova L.S., Shevchenko V.P., Filipov A.S., Dupre B. Dissolved, suspended, and colloidal fluxes of organic carbon, major and trace elements in the Severnaya Dvina River and its tributary // *Chem. Geol.* 2010. V. 273. P. 136–149.
102. Rainbird R.H., Stern R.A., Khudoley A.K., Kropachev A.P., Heaman L.M., Sukhorukov V.I. U-Pb geochronology of Riphean supracrustal rocks from southeastern Siberia and its bearing on the Laurentia-Siberia connection // *Earth Planet. Sci. Lett.* 1998. V. 164, N 3/4. P. 409–420.
103. Reeder S.W., Hitchon B., Levinson A.A. Hydrogeochemistry of the surface waters of the Mackenzie River drainage basin, Canada—I. Factors controlling inorganic composition // *Geochim. Cosmochim. Acta.* 1972. V. 36. P. 825–865.
104. Rudnick R.L., Gao S. Composition of the Continental Crust // *Treatise Geochem.* 2003. V. 3. P. 1–64.
105. Singh P., Rajamani V. REE geochemistry of recent clastic sediments from the Kabveri floodplains, southern India: implication to source area weathering and sedimentary processes // *Geochim. Cosmochim. Acta* 2001. V. 65. P. 3093–3108.
106. Taylor S.R., McLennan S.M. The continental crust: its composition and evolution: an examination of the geochemical record preserved in sedimentary rocks. Oxford: Blackwell, 1985. 312 p.
107. 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.
108. Wang Z.-B., Li R.-H., Yang S.-Y., Bai F.-L., Mei X., Zhang J., Lu K. Comparison of detrital mineral compositions between stream sediments of the Yangtze River (Changjiang) and the Yellow River (Huanghe) and their provenance implication // *China Geol.* 2019. V. 2. P. 169–178.
109. Zhang E., Shi Y., Gao C., Hou X., Han Z., Zhao H., Ding J., Liu X., Li B., Zhao R., Jiao X., Shan L., Zhu Z., Wang N. Regional geology and hydrogeology of the Yellow River basin // *Bull. Geol. Surv. Japan.* 2009. V. 60. P. 19–32.

Рекомендована к печати А.Н. Диденко
после доработки 09.02.2021 г.
принята к печати 19.03.2021 г.

A.V. Maslov, V.N. Podkovyrov

Types of rivers feeding sedimentary basins on the southeastern edge of the Siberian Platform during the Riphean: sketch of reconstruction

Some geochemical features of fine-grained clastic/clay rocks of a number of Riphean formations of the Yudoma-Maya region of southeastern Yakutia are considered. A comparison of the distribution character of the data points of individual and average samples of clay rocks in the $(La/Yb)_N$ -Eu/Eu* and $(La/Yb)_N$ -Th diagrams, which show the composition of the bottom sediments of the estuarine parts of modern rivers of various categories, allowed us to make a number of conclusions. Thus, individual data points on the $(La/Yb)_N$ -Eu/Eu* diagram are concentrated mainly in the fields of bottom sediments of rivers feeding on erosion products of mainly sedimentary (categories 1 and 2) and volcanic rocks (category 4), as well as their overlapping zones. The average data point of the clay rocks of the Trekhgorka Formation in this diagram is located in the field of bottom sediments of rivers draining magmatic/metamorphic terranes (category 3). The average data points of shales of the Dim, Talyn, and Svetly formations are located in the zone of overlapping fields of bottom sediments of rivers of categories 1, 2, and 3, i.e., they contain erosion products of both sedimentary formations and magmatic and metamorphic complexes. This is quite well consistent with the real geological situation. At the same time, in the composition of clayey rocks of higher stratigraphic levels of Riphean, erosion products of magmatic/metamorphic terranes are either absent or their proportion is very small. On the $(La/Yb)_N$ -Th graph, most of the individual data points of Riphean clayey rocks tend to be in the fields 1, 2, and 4. Their average data points are mainly confined to the overlapping zone of the fields of bottom sediments of rivers of categories 1 and 2. The average data point of clay rocks of Ust-Kirba Formation is located in the field of bottom sediments of rivers that feed on products of erosion from rocks of volcanic provinces. It also does not contradict the real geological situation.

Key words: Riphean, clayey rocks, geochemistry, categories/types of rivers, Yudoma-Maya region, Far East of Russia.