

УДК 551

ОСОБЕННОСТИ ИЗМЕНЕНИЯ РЯДА ЛИТОГЕОХИМИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ТОНКОЗЕРНИСТЫХ ОБЛОМОЧНЫХ ПОРОД ПОЗДНЕГО ВЕНДА МЕЗЕНСКОГО ПАЛЕОБАССЕЙНА

2013 г. А. В. Маслов*, Д. В. Гражданкин**, В. Н. Подковыров***, М. Т. Крупенин*

*Институт геологии и геохимии УрО РАН,
620075, г. Екатеринбург, Почтовый пер., 7
E-mail: maslov@igg.uran.ru

**Институт нефтегазовой геологии и геофизики СО РАН,
630090, г. Новосибирск, просп. Акад. Коптюга, 6
E-mail: fboeoua@nsc.com

***Институт геологии и геохронологии докембрия РАН,
199034, г. Санкт-Петербург, наб. Ад. Макарова, 2
E-mail: vprodk@mail.ru

Поступила в редакцию 11.07.2011 г.

Анализ литогеохимических материалов по беломорскому, вычегодскому и среднеуральскому сегментам поздневендского Мезенского палеобассейна показал, что тренды изменения снизу вверх по разрезу значений палеоклиматических индикаторов (СИА и ГМ), индикаторов состава пород на палеоводосборах (Th/Cr, Th/Sc, V/Ni, Ce/Cr, La_N/Yb_N и Gd_N/Yb_N) и степени зрелости верхней континентальной коры (содержания Th и Y, Cr/Th и Cr/Sc) в каждом из сегментов и в каждой осадочной системе имеют свою специфику. Это отражает, вероятнее всего, контроль процессов формирования осадочного выполнения предгорного Мезенского палеобассейна преимущественно локальными факторами (состав пород в источниках сноса, особенности процессов выветривания на палеоводосборах, гидродинамические обстановки и т.п.); полная гомогенизация состава тонкой алюмосиликокластики в палеобассейне в подобных обстановках отсутствовала.

Ключевые слова: Мезенский палеобассейн, верхний венд, литогеохимия, осадочные системы.

В поздневендскую эпоху на северо-восточной окраине Восточно-Европейской платформы перед фронтом Канино-Тиманского складчато-надвигового пояса, существовал протяженный относительно мелководный предгорный Мезенский палеобассейн (рис. 1), в котором происходило накопление туфогенно-терригенных осадочных последовательностей валдайской серии [1, 11, 24]. Сходство палеонтологических комплексов остатков в разрезах северо-западной части Мезенского палеобассейна (юго-восточное Беломорье) и западного склона Среднего Урала указывает на существование в позднем венде устойчивых биогеографических связей в пределах всего палеобассейна, что подтверждается и находками представителей ископаемой беломорской биоты в керне скважин Мезенской синеклизы [6, 7]. Вдоль палеосклона, по направлению к Канино-Тиманскому складчато-надвиговому поясу, мощность осадочного выполнения предгорного палеобассейна возрастает от 500–600 м (юго-восточное Беломорье) до 1300 м (Вычегодский прогиб), а вкост палеосклона, по направлению к Уралу – до 1700–2000 м.

СЕКВЕНС-СТРАТИГРАФИЧЕСКАЯ СХЕМА ВЕРХНЕВЕНДСКИХ ОТЛОЖЕНИЙ МЕЗЕНСКОГО ПАЛЕОБАССЕЙНА

Для Мезенского палеобассейна в последние годы разработана детальная секвенс-стратиграфическая схема верхневендских отложений [3–5, 12], в соответствии с которой на указанной территории выделены четыре секвенсы: агминский, солзенский, зимнегорский и ергинский. Агминский секвенс в юго-восточном Беломорье объединяет лямичскую свиту и нижнюю подсвиту верховской свиты, а на Среднем Урале – старопечнинскую и перевалокскую свиты (табл. 1). В скв. Котлас этому уровню соответствует циклически построенный интервал 2338.45–2034.7 м [5], а в скв. Тучкино 1000 – интервал 917.3–631.8 м, также сложенный циклически чередующимися пачками алевроаргиллитов и алевролитов при подчиненной роли песчаников. Четкая нижняя граница секвенсы обусловлена значительным снижением относительного уровня моря и субаэральным размывом шельфа, и поэтому уверенно трассируется в скважинах, пробуренных в Мезенской и Московской синеклизах.

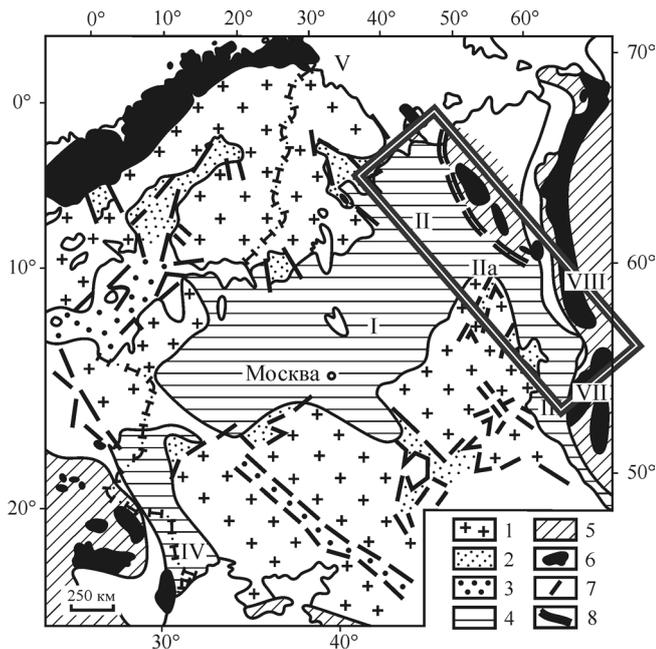


Рис. 1. Вендская структура Восточно-Европейской платформы и ее северо-восточного обрамления (по [1]) с некоторыми изменениями.

1 – щиты, массивы и антеклизы; 2 – рифейские грабенообразные прогибы установленные; 3 – то же предполагаемые; 4 – синеклизы и впадины (I – Московская, II – Мезенская, IIa – Вычегодский прогиб, III – Шкаповско-Шиханская, IV – Львовско-Кишиневская (в настоящее время – Днестровский перикратон), V – Баренцевоморская); 5 – складчатые сооружения Карпат, Горного Крыма, Кавказа, Урала (VII – Башкирский мегантиклинорий, VIII – Кваркушко-Каменногорский мегантиклинорий) и Тимана; 6 – выходы образований докембрия в обрамлении платформы; 7 – разрывные нарушения; 8 – фронт Канино-Тиманского складчато-надвигового пояса. Прямоугольник – рассматриваемый в настоящей работе регион.

На Среднем Урале в нижней части агминского секвенса выделяется мощная трансгрессивно построенная толща тонкослоистых алевролитов с диамиктитами в основании (старопечнинская свита), интерпретируемая как седиментационная система наступающей подводной равнины с гляциальным характером седиментации, а в терминах секвентной стратиграфии – как трансгрессивный тракт. В верхней части указанного секвенса здесь присутствуют серые и темно-серые алевролиты и алевроаргиллиты с редкими прослоями мелкозернистых песчаников (перевалокская свита).

Солзенскому секвенсу в юго-восточном Беломорье отвечает верхняя подсвита верховской свиты, а на Среднем Урале – вилухинская подсвита чернокаменной свиты. В скв. Котлас с ним нами сопоставляется интервал 2034.7–1944.4 м [5], а в скв. Тучкино 1000 – интервал 631.8–463 м. Вследствие резкой смены фациальной структуры, фациальное несогласие в основании солзенского секвенса уверен-

но прослеживается в Мезенской и Московской синеклизах.

Зимнегорский секвенс в юго-восточном Беломорье представлен одноименной свитой, которая приурочена здесь к северным разрезам, имеет трансгрессивное строение и сложена песчаниками с горизонтальной и многоэтажной косою слоистостью, чередующимися с пачками тонкослоистых алевролитов и глин. На Среднем Урале к данному секвенсу принадлежат отложения шурышской и черемуховской подсвит чернокаменной свиты [4, 5]. В скв. Котлас ему соответствует интервал 1944.4–1905.9 м, сложенный пакетами зеленовато-серых мелкозернистых песчаников с тонкой горизонтальной и косоволнистой слоистостью либо без видимой слоистости, с разнообразными текстурами подводнооползневых деформаций [5]. В скв. Тучкино 1000 отложения рассматриваемого секвенса, по всей видимости, отсутствуют или неотличимы от отложений следующего секвенса. Ранее нами к зимнегорской свите/секвенсу в данной скважине с определенной долей условности из-за крайне незначительного выхода керна, был отнесен интервал 407.2–463.0 м [13].

Ергинский секвенс в юго-восточном Беломорье представлен ергинской свитой, а на Среднем Урале – синекамской, коноваловской и крутихинской подсвитами чернокаменной свиты. Благодаря миграции фациальных поясов и расширению аккомодационного пространства, поверхность морского затопления в основании секвенса уверенно трасируется в скважинах Мезенской (в скв. Кельтма – на отметке 2309 м) и Московской синеклиз (в скв. Котлас – на отметке 1905.9 м) [5, 11]. В скв. Тучкино 1000 ергинскому секвенсу принадлежат пестроцветные аргиллиты и алевролиты с редкими прослоями песчаников (мезенская свита В.Г. Оловянишникова [17]), залегающие в интервале 463–205.6 м.

Анализ характера границ, разделяющих указанные выше секвенсы, позволяет считать, что наиболее яркими из них являются: 1) граница, совпадающая с поверхностью максимальной регрессии в основании солзенского секвенса и проявленная резкой сменой фациальной структуры и сокращением аккомодационного пространства. Изотопный возраст ее заключен между 558 ± 1 млн. лет (U-Pb метод, цирконы из вулканических туфов, присутствующих в нижней подсвите верховской свиты [2]) и 557 ± 13 млн. лет (U-Pb метод, цирконы из вулканических туфов, залегающих в нижней части вилухинской подсвиты чернокаменной свиты, [18]); 2) граница, отвечающая поверхности максимальной регрессии в основании ергинского секвенса. Она также выражена резкой сменой фаций, сопровождаемой расширением аккомодационного пространства. Возраст этой границы моложе 555.3 ± 0.3 млн. лет (U-Pb метод, цирконы из вулканических туфов в основании зимнегорской свиты [2]).

Таблица 1. Этапы формирования осадочного выполнения поздневендского Мезенского палеобассейна и трассирование границ секвенсов в различных его сегментах, по [12] с некоторыми упрощениями

| Этапы развития бассейна | Секвенсы | Характер нижних границ секвенсов | Юго-восточное Беломорье | Вычегодский прогиб | Средний Урал |
|---|--------------|---|--|----------------------|--|
| Этап IV – проградация дельтовых платформ | ергинский | поверхность максимальной регрессии | ергинская свита | мезенская свита | усть-сыльвицкая и верхняя часть чернокаменской свиты |
| Этап III – низкое стояние уровня моря | зимнегорский | поверхность форсированной регрессии | зимнегорская свита | усть-пинежская свита | средняя часть чернокаменской свиты |
| Этап II – изоляция бассейна | солзенский | поверхность максимальной регрессии | верхняя подсвита верховской свиты | | нижняя часть чернокаменской свиты |
| Этап I – мелководный эпиплатформенный бассейн | агминский | поверхность субаэрального размыва шельфа или поверхность максимальной регрессии | нижняя подсвита верховской свиты и лямичская свита | | перевалокская и старопечнинская свиты |

В настоящей работе мы рассматриваем вариации значений K_2O/Al_2O_3 , CIA и ГМ¹ в рамках всех четырех секвенсов: агминского, солзенского, зимнегорского и ергинского. Кроме того, исследованы тенденции изменения в разрезе верхнего венда значений ряда индикаторных отношений элементов-примесей, позволяющие в определенной мере судить о составе размывавшихся на палеоводосборах пород и их возможном изменении с течением времени. Все вместе это позволило получить количественную информацию о характере макро-, мезо- и микромасштабных палеоклиматических циклов на палеоводосборах, проанализировать общие особенности экзогенных процессов, степень зрелости размывавшейся верхней коры и вклад различных источников тонкой алюмосиликокластики (внутренние районы Восточно-Европейской платформы и окружающие ее складчатые области) в формирование осадочных последовательностей верхнего венда Мезенского палеобассейна, и существенно дополнить сделанные ранее выводы [8, 11, 13 и др.].

МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЙ

Для настоящего исследования нами использованы данные о содержаниях основных породообразующих оксидов и элементов-примесей в тонкозернистых алюмосиликокластических породах (глинистых сланцах, аргиллитах и алевроаргиллитах), образцы которых были отобраны из естественных разрезов сыльвицкой серии Кваркушко-Каменногорского мегантиклинория (Средний Урал), а также из керна скважин Тучкино 1000 (Беломорско-Кулойское плато) и Кельтма 1 (Выче-

годский прогиб). Ряд образцов алевроаргиллитов из керна скв. Кельтма 1 был любезно предоставлен авторам Н.Г. Воробьевой (ГИН РАН, Москва).

Содержания основных петрогенных оксидов определены в 268 образцах методом РФА на VRA-30 в лаборатории ФХМИ ИГГ УрО РАН (аналитики – Н.П. Горбунова, Л.А. Татарина, В.П. Власов, Г.С. Неупокоева и Г.М. Ятлук). Содержания элементов-примесей установлены в 239 образцах методом ICP-MS в лаборатории радиогеологии ИГГ УрО РАН под руководством Ю.Л. Ронкина (аналитики – О.П. Лепихина, О.Ю. Попова, Г.С. Лепихина).

На диаграмме М. Хиррона [25] подавляющая часть точек составов тонкозернистых алюмосиликокластических образований всех трех рассматриваемых нами объектов расположена в поле сланцев и не имеет каких-либо принципиальных различий (рис. 2а). На диаграмме НКМ–ФМ² [20] глинистые сланцы, алевроаргиллиты и аргиллиты верхнего венда Беломорско-Кулойского плато, Вычегодского прогиба и Кваркушко-Каменногорского мегантиклинория сосредоточены преимущественно в полях IV (хлорит-гидрослюдистые глины) и V (хлорит-смектит-гидрослюдистые глины) (рис. 2б); их состав, таким образом, не отличается от состава большинства “обычных глинистых пород”, например, среднего постархейского глинистого сланца (РААС, [19]). **Параметры K/Al и Mg/Al в породах** исследуемой нами выборки позволяют рассматривать их как состоящие преимущественно из гидрослюды с той или иной примесью хлорита и, возможно, каолинита (рис. 2в). По соотношению суммы щелочей и ГМ рассматриваемые нами образования также обладают существенным сходством состава (рис. 2г) и принадлежат в основном нормо-

¹ Химический индекс изменения CIA = $100 \times \frac{Al_2O_3}{(Al_2O_3 + CaO^* + Na_2O + K_2O)}$ [26, 29], гидролизатный модуль ГМ = $(Al_2O_3 + TiO_2 + Fe_2O_3 + FeO + MnO)/SiO_2$ [20].

² НКМ = $(Na_2O + K_2O)/Al_2O_3$, ФМ = $(FeO + Fe_2O_3 + MgO)/SiO_2$.

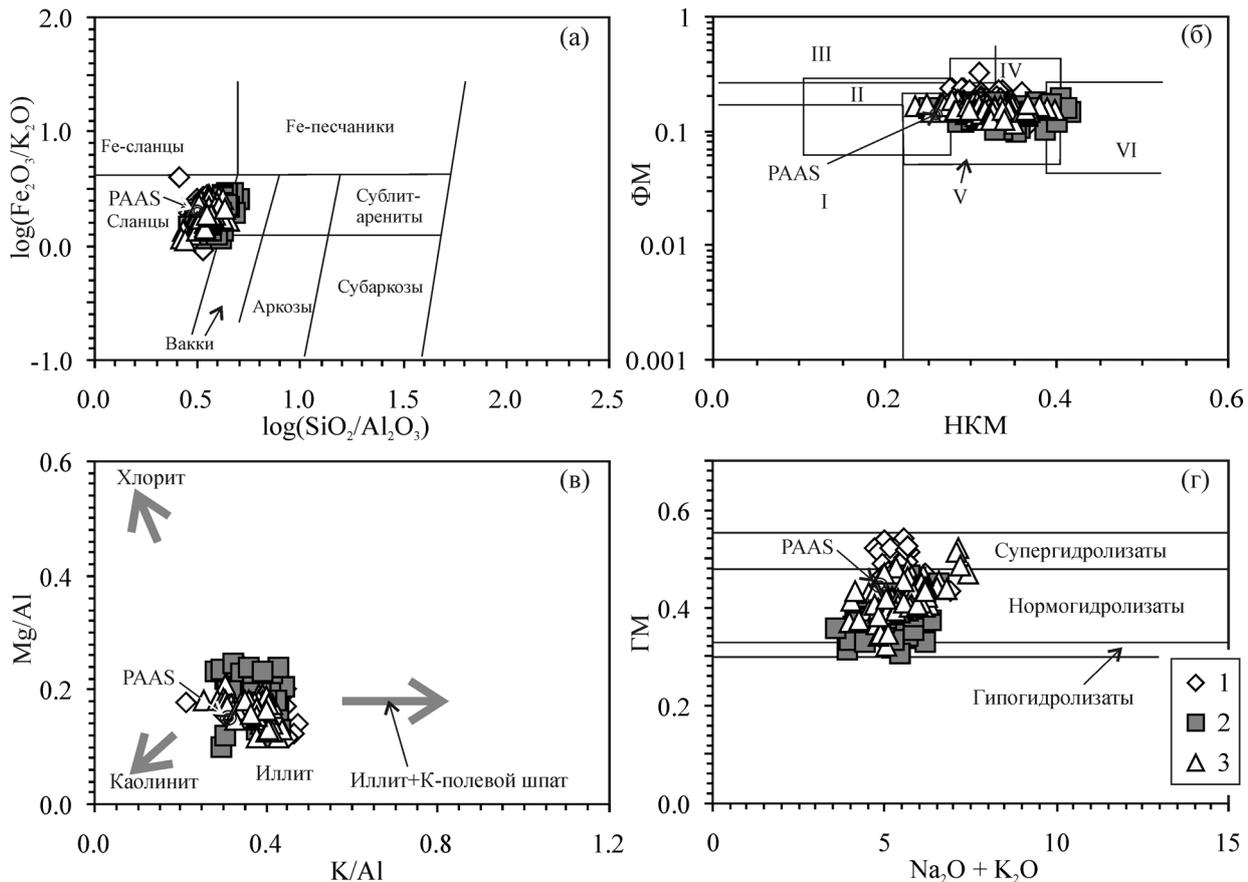


Рис. 2. Положение точек состава глинистых сланцев, алевроаргиллитов и аргиллитов верхнего венда юго-восточного Беломорья (1), Вычегодского прогиба (2) и Кваркушко-Каменногорского мегантиклинория (3) на ряде классификационных диаграмм.

Поля на диаграмме НКМ–ФМ: I – преимущественно каолинитовых глин, II – преимущественно монтмориллонитовых с примесью каолинита и гидрослюд гли, III – преимущественно хлоритовых с примесью Fe-гидрослюд гли, IV – хлорит-гидрослюдистых гли, V – хлорит-сметит-гидрослюдистых гли, VI – гидрослюдистых гли со значительной примесью дисперсных полевых шпатов.

гидролизатам по классификации [20]. Подчиненная часть точек, в основном это аргиллиты и алевроаргиллиты из разреза скв. Тучкино 1000, на этой диаграмме попадает в область значений ГМ, характерных для супергидролизатов.

ВАРИАЦИИ K_2O/Al_2O_3 И ПАЛЕОКЛИМАТИЧЕСКИХ ИНДИКАТОРОВ

По данным [22], многократно переотложенные тонкозернистые обломочные породы характеризуются значениями K_2O/Al_2O_3 менее 0.3. В глинистых сланцах и аргиллитах агминского секвенса в юго-восточном Беломорье величина K_2O/Al_2O_3 не имеет какого-либо выраженного изменения снизу вверх по разрезу (рис. 3а). На Среднем Урале в указанном интервале наблюдается некоторое, достаточно незначительное снижение данного параметра (рис. 3). Солзенский секвенс, по данным, полученным при анализе керна скв. Тучкино 1000, также не

обнаруживает какого-либо тренда изменения значений K_2O/Al_2O_3 . На Среднем Урале, напротив, входящие в его состав отложения характеризуются заметным ростом величин K_2O/Al_2O_3 (от 0.16–0.18 – в подошве до 0.27–0.31 – в кровле). В разрезе зимнегорского секвенса снизу вверх происходит вначале постепенное падение значений рассматриваемого параметра, а затем возврат до почти первоначальной величины. Тонкозернистые алюмосиликокластические породы ергинского секвенса в скв. Тучкино 1000 имеют в целом более высокие значения K_2O/Al_2O_3 , чем подстилающие их образования, что, возможно, является косвенным свидетельством выпадения здесь из разреза зимнегорского секвенса. Какой-либо определенной тенденции в изменении величины данного параметра на Беломорско-Кулойском плато не наблюдается. В Вычегодском прогибе значения K_2O/Al_2O_3 в алевроаргиллитах и аргиллитах нижней половины рассматриваемого интервала вначале несколько снижаются, а за-

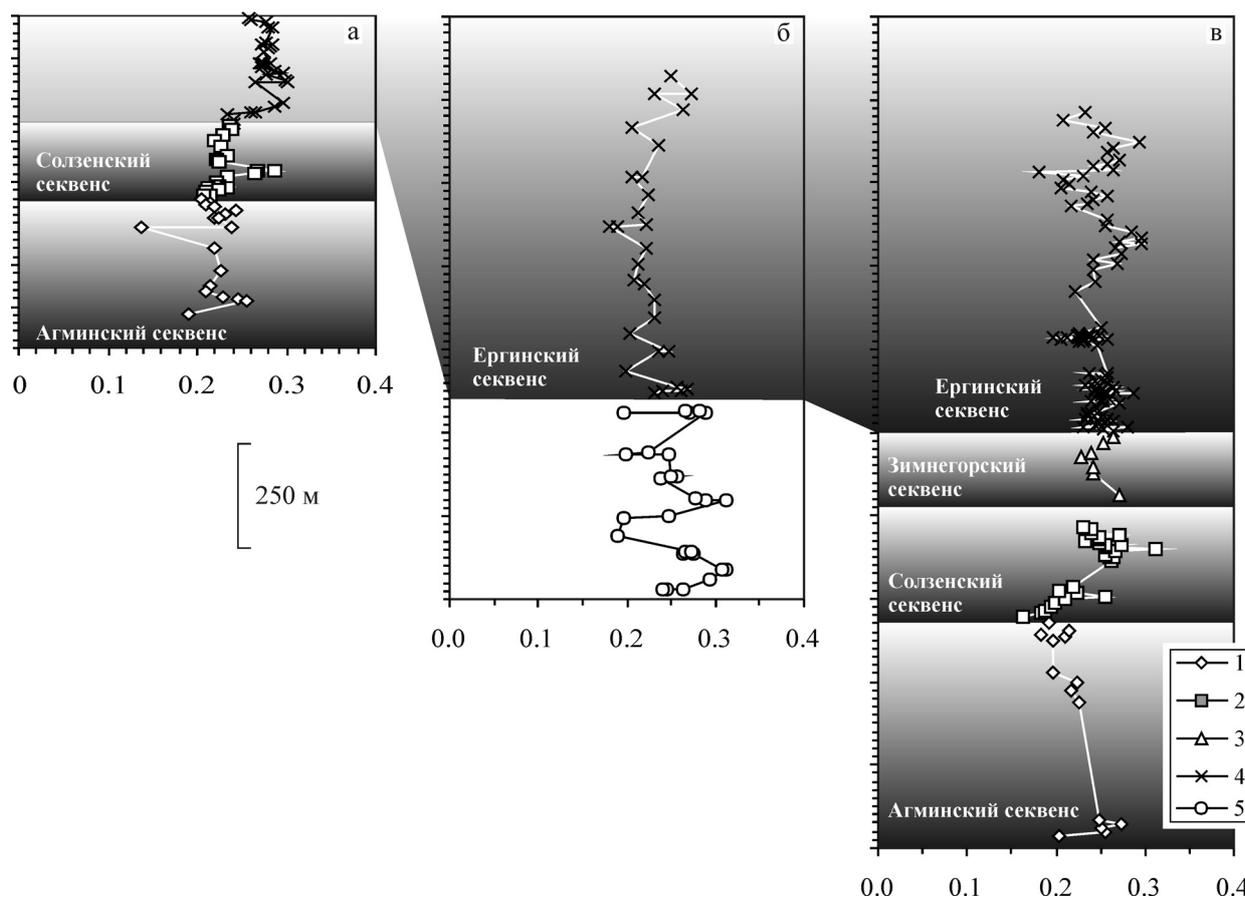


Рис. 3. Вариации K_2O/Al_2O_3 в тонкозернистых алюмосиликокластических породах различных секвенсов в разрезах беломорского, вычегодского и среднеуральского сегментов поздневендского Мезенского палеобассейна

Секвенсы: 1 – агминский, 2 – солзенский, 3 – зимнегорский, 4 – ергинский, 5 – доергинский (агминско-зимнегорский(?) интервал). Здесь и на рис. 4, 6–12: а – скв. Тучкино 1000, б – скв. Кельтма 1, в – сводный разрез Среднего Урала).

тем растут (рис. 3б). На Среднем Урале какой-либо определенной тенденции в изменении K_2O/Al_2O_3 снизу вверх по разрезу в целом как будто бы нет, но намечается ряд интервалов устойчивого роста или снижения значений указанного отношения. Приведенные данные показывают, что исследованные нами осадочные последовательности сложены преимущественно литогенной тонкой алюмосиликокластикой, т.е. материалом, прошедшим более одного седиментационного цикла.

Индекс химического изменения CIA, для осадочных образований гумидных климатических обстановок, где из полевых шпатов интенсивно выносятся Ca, Na и K, варьирует от 70–75 до 90–100. В аридных и гляциальных обстановках в область аккумуляции, напротив, поступает слабо преобразованный процессами выветривания на палеоводосборах материал. Представлен он в основном глинистыми минералами с относительно небольшими содержаниями Al и значительным количеством неизмененных или слабо измененных полевых шпатов. Для такой тонкой алюмосиликокластики характер-

ны значения CIA от 50–55 до 65–70. На величину CIA влияет также, в той или иной степени, размерность кластики, состав пород на палеоводосборах и длительность транспортировки/переотложения обломочного материала.

Величина CIA в алевроаргиллитах и аргиллитах агминского секвенса в скв. Тучкино 1000 демонстрирует некоторый рост вверх по разрезу (рис. 4а). Это же характерно и для тонкозернистых алюмосиликокластических пород данного интервала верхнего венда в Кваркушко-Каменногорском мегантиклинории (рис. 4в). Для солзенского секвенса, однако, ситуация иная: если рост величины CIA в юго-восточном Беломорье продолжается, то на Среднем Урале значения индекса химического изменения максимальны в отложениях нижней части данного секвенса (72–75), а в верхней они заметно ниже (64–65). Достаточно низкими остаются они здесь и в глинистых сланцах и алевроаргиллитах зимнегорского секвенса. В доергинской части скв. Кельтма 1 можно видеть некоторый рост значений CIA снизу вверх по разрезу, однако на этом фоне присутствует значительное

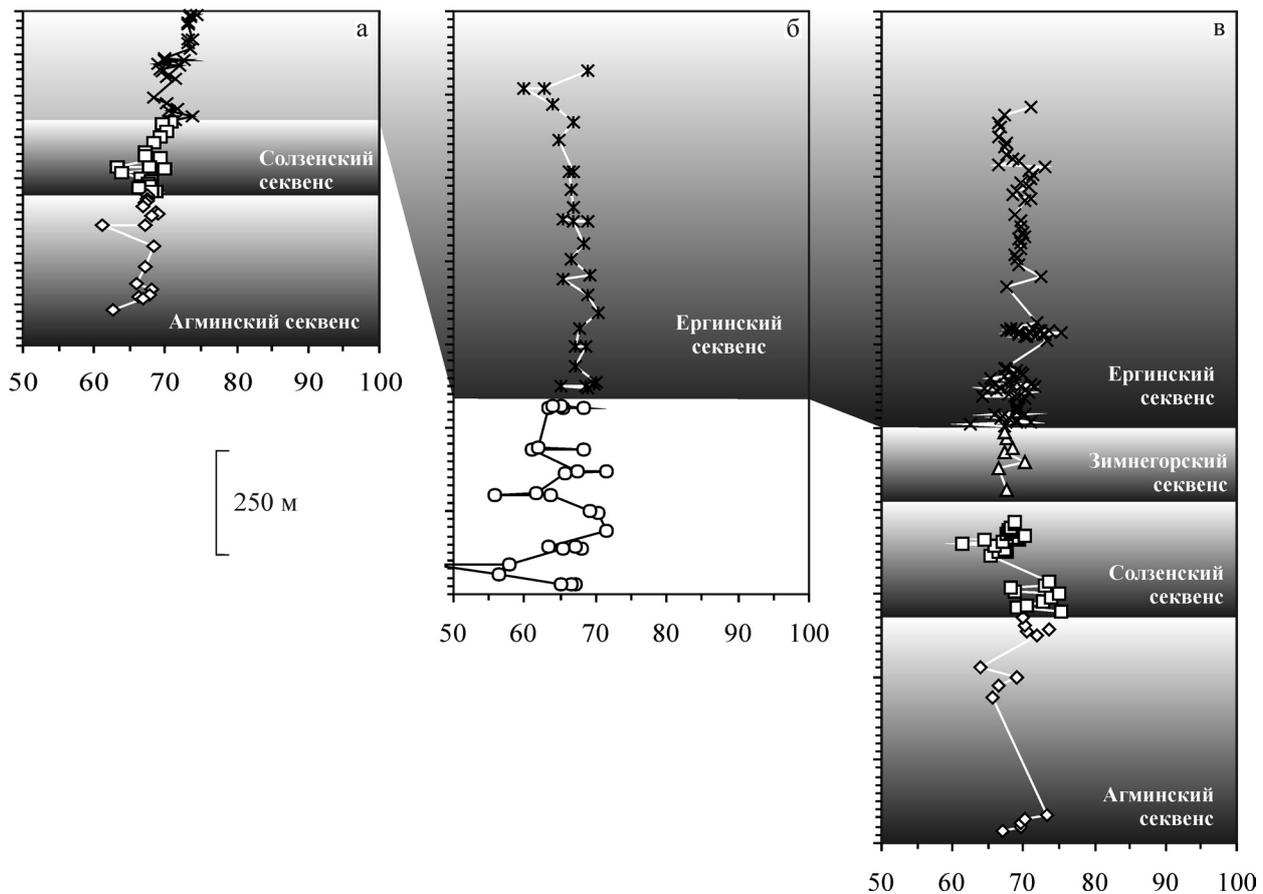


Рис. 4. Вариации величины CIA в тонкозернистых алюмосиликокластических породах различных секвенсов в разрезах беломорского, вычегодского и среднеуральского сегментов поздневендского Мезенского палеобассейна.

Условные обозначения см рис. 3.

число весьма резких экскурсов как в сторону относительно низких (55–56), так и относительно высоких величин (72–73) данного параметра (рис. 4б). Тенденция к росту CIA вверх по разрезу сохраняется и в породах ергинского секвенса, вскрытых скв. Тучкино 1000. В скв. Кельтма 1, напротив, наблюдается неотчетливо выраженное уменьшение указанного параметра, а для Среднего Урала виден весьма небольшой рост значений CIA вверх по разрезу.

Корреляция между CIA и Th/Cr, а также CIA и Th/Sc в тонкозернистых обломочных породах верхнего венда Беломорско-Кулойского плато не наблюдается (значения r составляют, соответственно, -0.19 и 0.31) (рис. 5а, б). Это позволяет считать, что рассчитанные нами величины индекса химического изменения являются для данного сегмента Мезенского палеобассейна отражением степени зрелости тонкой алюмосиликокластики, а не контролируются составом пород в областях размыва. Тонкозернистые обломочные породы верхнего венда южной части Вычегодского прогиба не имеют положительной корреляции между CIA, Th/Cr и Th/Sc (рис. 5в, г).

Гидролизатный модуль также является индикатором интенсивности процессов химического выветривания в областях размыва [20] – чем выше значение ГМ, тем более сильное выветривание претерпели породы. Так, например, для глинистых пород, содержащих каолинит или свободные оксиды алюминия, железа и марганца, величина ГМ превышает 0.50.

Гидролизатный модуль в тонкозернистых обломочных породах агминского секвенса юго-восточного Беломорья демонстрирует некоторое снижение вверх по разрезу (рис. 6а). Для среднеуральского сегмента Мезенского палеобассейна такого тренда нет (рис. 6в). Уменьшение значений ГМ продолжается в разрезе скв. Тучкино 1000 и в отложениях солзенского секвенса, тогда как в разрезе сыльвицкой серии Кваркушко-Каменногорского мегантиклинория на этом интервале отмечается вначале рост (от 0.39–0.40 до 0.47–0.48), а потом снижение величин ГМ до почти первоначальных значений. Рост величины ГМ характерен здесь и для второй половины зимнегорского секвенса. В разрезах ергинского секвенса как в средне-

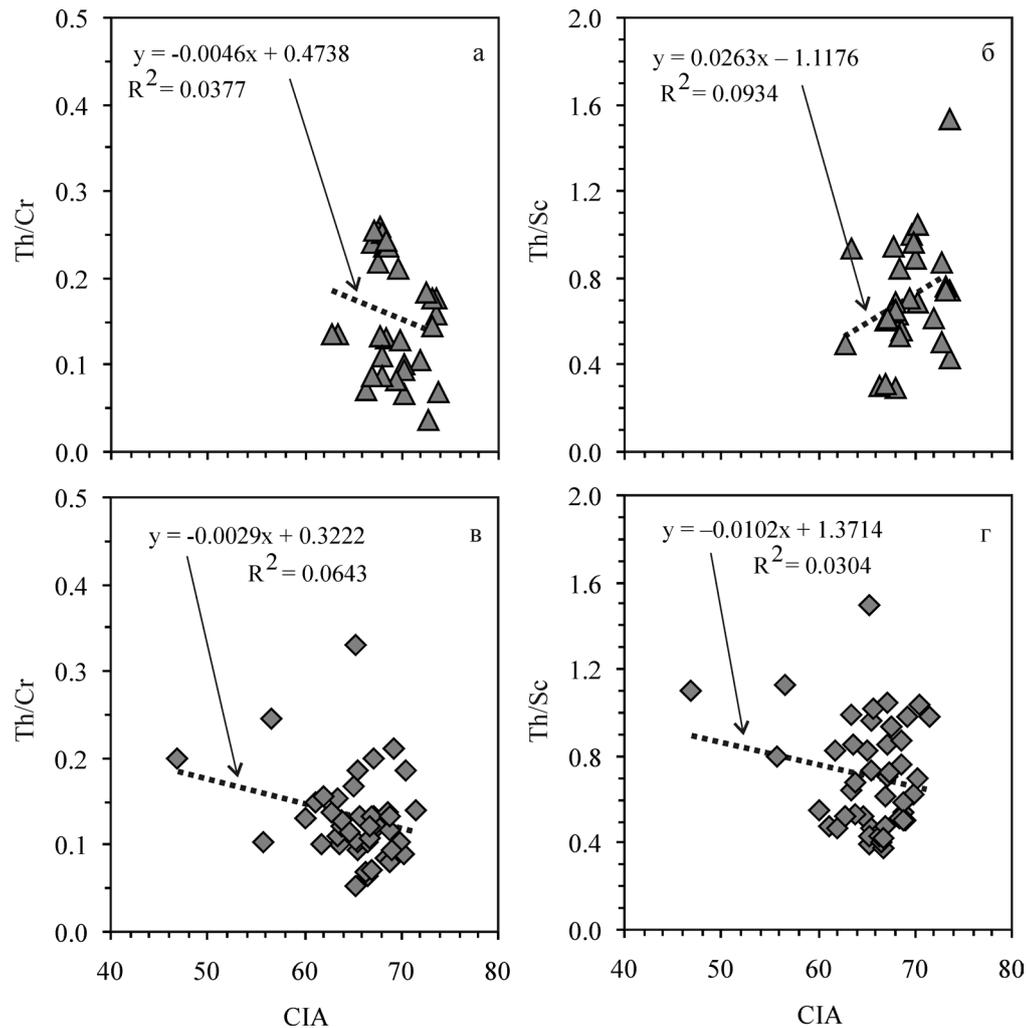


Рис. 5. Соотношение между значениями CIA, Th/Cr и Th/Sc в тонкозернистых обломочных породах верхнего венда Беломорско-Кулойского плато (а, б) и южной части Вычегодского прогиба (в, г).

уральском, так и в вычегодском сегментах (рис. 6б) определенной тенденции изменения величины ГМ не наблюдается, несмотря на достаточно большой общий разброс значений данного параметра. Это же свойственно, с определенными оговорками, как представляется, и для разреза ергинского секвенса, вскрытого скв. Тучкино 1000. Интересно отметить, что здесь мы сталкиваемся с весьма большим разбросом минимальных и максимальных значений гидролизатного модуля, тогда как для двух других сегментов поздневендского Мезенского палеобассейна это не столь характерно.

ВАРИАЦИИ РЯДА ОТНОШЕНИЙ ЭЛЕМЕНТОВ-ПРИМЕСЕЙ – ИНДИКАТОРОВ СОСТАВА ПОРОД НА ПАЛЕОВОДОСБОРАХ

Индикаторами состава пород в областях питания рассматриваются присущие тонкозернистым

обломочным породам значения отношений Th/Cr, Th/Sc, La/Sc, La/Co, Cr/Zr, Cr/Ni, V/Ni, Ce/Cr и ряд др. [9, 10, 19, 23, 27]. Наиболее широко используемыми из них являются Th/Cr, Th/Sc, V/Ni и, с определенными оговорками, Ce/Cr.

Значения Th/Cr в глинистых сланцах и алевроаргиллитах в целом для агминско-солзенского интервала разреза скв. Тучкино 1000 демонстрируют хорошо выраженную тенденцию к снижению (от 0.22–0.25 до 0.06–0.08) (рис. 7а). Для доергинского интервала разреза скв. Кельтма 1 также присуще снижение величины Th/Cr от 0.24–0.25 до 0.05–0.09 (рис. 7б). В этом же интервале на Среднем Урале значения рассматриваемого параметра достаточно стабильные, рост величины Th/Cr наблюдается только в породах верхней части зимнегорского секвенса (рис. 7в). Для ергинского секвенса в скв. Тучкино 1000 при весьма больших различиях минимальных и максимальных значений Th/Cr все же можно видеть некоторый рост данного параметра

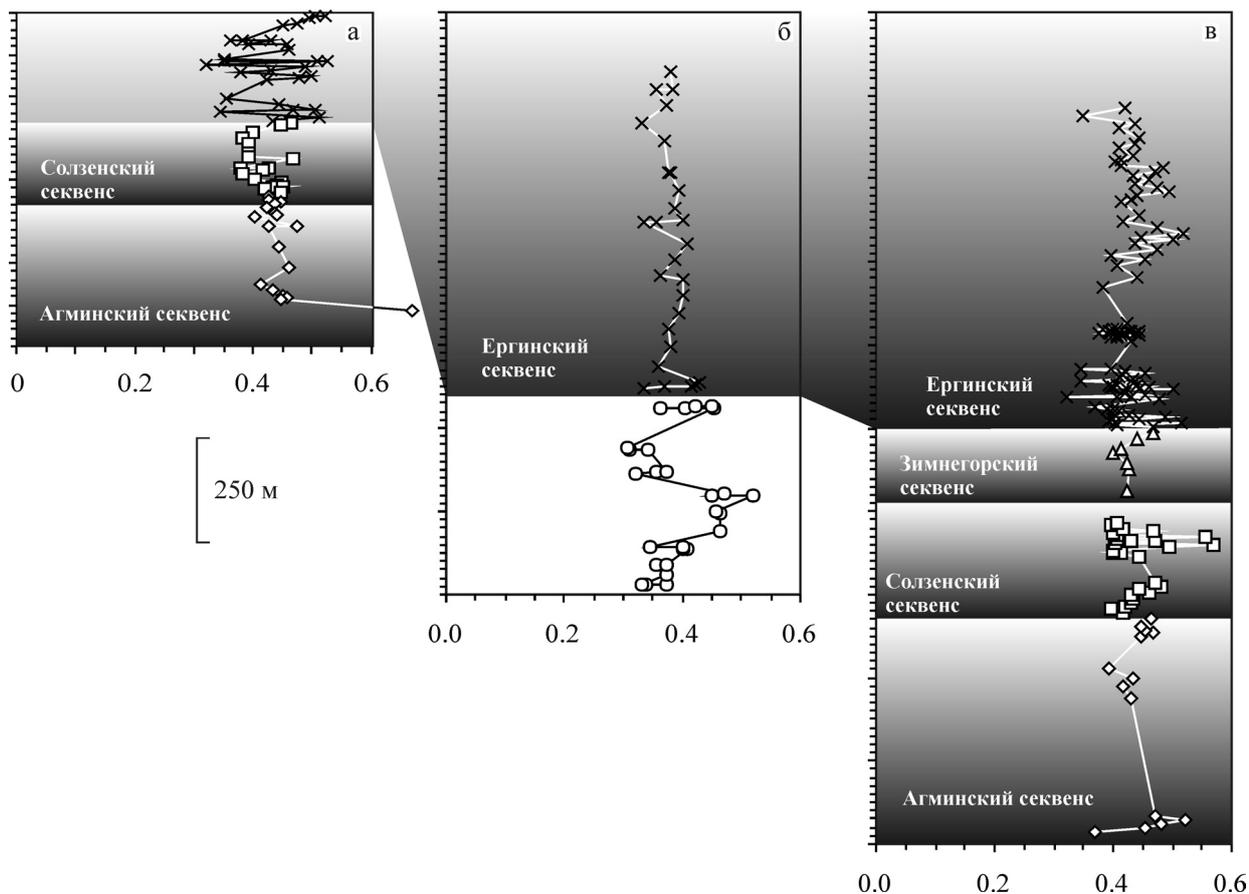


Рис. 6. Вариации величины ГМ в тонкозернистых обломочных породах различных секвенсов в разрезах беломорского, вычегодского и среднеуральского сегментов поздневендского Мезенского палеобассейна.

Условные обозначения см рис. 3.

вверх по разрезу. В скв. Кельтма 1 амплитуда вариаций Th/Sc в целом несколько меньше, а какая-либо тенденция не наблюдается. Это же характерно и для рассматриваемого нами интервала разреза верхнего венда в среднеуральском сегменте, но здесь разброс значений Th/Sc сопоставим с тем, что мы отметили выше для беломорского сегмента. Все сказанное выше позволяет предполагать, что средний состав осадочных пород первого цикла, присутствовавших во время накопления отложений верхнего венда Мезенского палеобассейна на палеоводосборах был близок к составу диорита.

В тонкозернистых обломочных породах агминского секвенса в скв. Тучкино 1000 величина Th/Sc в нижней части составляет от 0.5 до 1.45, затем снижается до ~0.3 и после этого плавно растет до 0.6–0.7 (рис. 8а). На Среднем Урале, напротив, практически во всем разрезе агминского секвенса наблюдается снижение значений Th/Sc от примерно 0.85 до 0.2–0.3. Тренд изменения Th/Sc в солзенском секвенсе в юго-восточном Беломорье и на Среднем Урале, напротив, достаточно симбатен. В зимнегорском секвенсе величина Th/Sc в тонкозернистых

алюмосиликокластических породах нижней половины снижается от 0.8–0.9 до 0.2, а в верхней половине растет до 0.9–1.0. Для доэргинской части разреза в скв. Кельтма 1 характерно устойчивое снижение величины Th/Sc от 0.8–1.1 до 0.4–0.7 (рис. 8б). Эргинский секвенс в скв. Тучкино 1000 демонстрирует значительный разброс величин Th/Sc без какой-либо определенной тенденции, в скв. Кельтма 1 на данном уровне верхнего венда наблюдается последовательное снижение значений рассматриваемого параметра, а в среднеуральском сегменте, напротив, его некоторый рост (рис. 8в).

Медианное значение Th/Sc в тонкозернистых алюмосиликокластических породах верхнего венда юго-восточного Беломорья составляет 0.70, для южной части Вычегодского прогиба оно несколько ниже (0.65), а глинистые сланцы, алевроаргиллиты и аргиллиты сylvицкой серии Среднего Урала характеризуются медианной величиной Th/Sc ~ 0.87. В целом это позволяет предполагать, что на палеоводосборах Мезенского палеобассейна в позднем венде преобладали осадочные породы первого цикла, близкие по своему составу к диоритам-гранодиоритам.

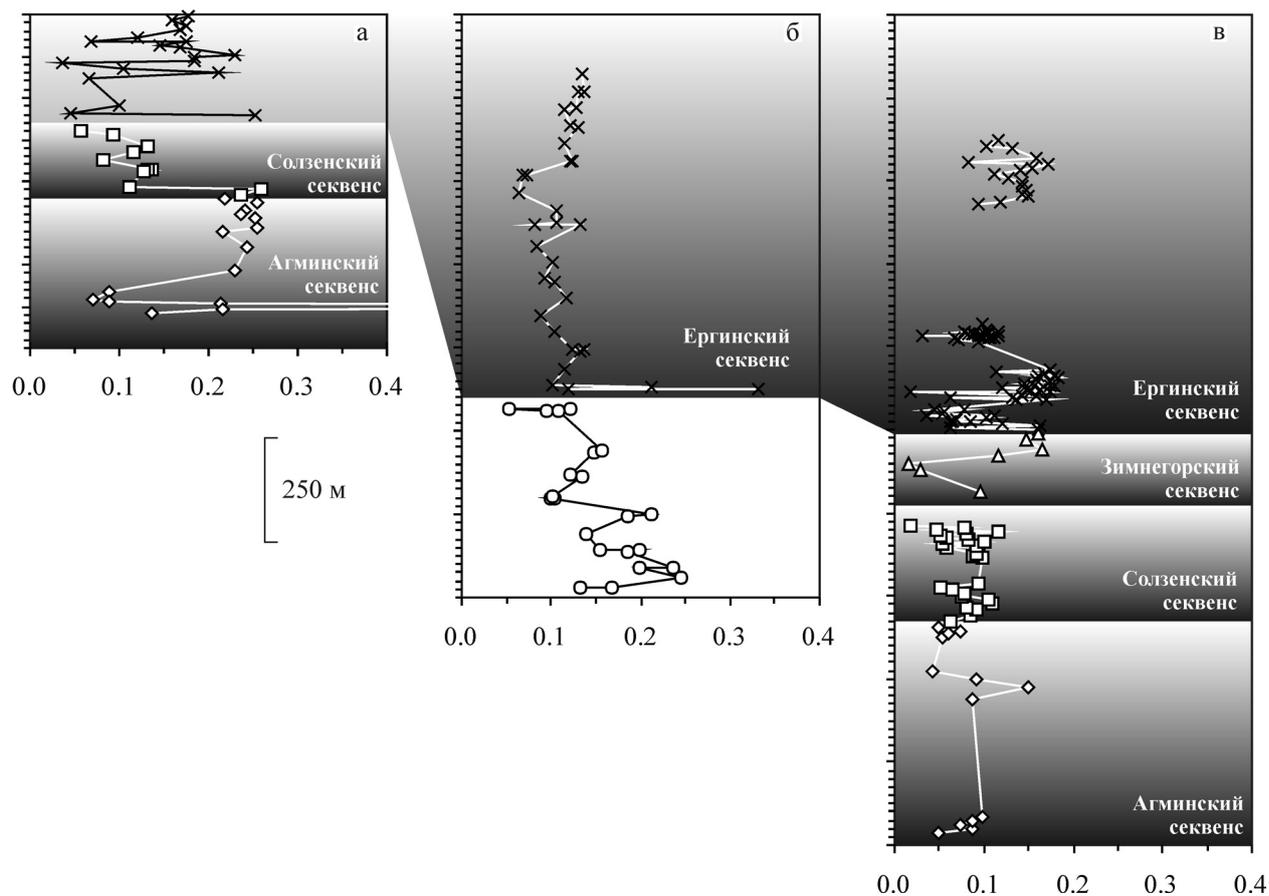


Рис. 7. Характер изменения значений Th/Cr в тонкозернистых обломочных породах верхнего венда беломорского, вычегодского и среднеуральского сегментов Мезенского палеобассейна.

Условные обозначения см рис. 3.

Для всего верхневендского интервала, вскрытого скв. Тучкино 1000, характерно снижение вверх по разрезу значений V/Ni от ~ 4.1 – 4.3 до 2.0 – 2.2 (рис. 9а). В скв. Кельтма 1, напротив, алевроаргиллиты и аргиллиты доергинской части обнаруживают снижение значений рассматриваемого параметра вверх по разрезу от 4.6 – 5.5 до 3.0 – 3.4 , при минимальных величинах (~ 1.5 – 1.6) в его средней части, тогда как в разрезе эргинского секвенса наблюдается рост величины V/Ni до 4.2 – 4.7 (рис. 9б). Агминский секвенс на Среднем Урале, как и в разрезе скв. Тучкино 1000, характеризуется двумя разными тенденциями изменения величины V/Ni (рис. 9в). Тонкозернистые алюмосиликокластические породы нижних трех четвертей разреза демонстрируют снижение значений V/Ni снизу вверх от 2.7 – 3.4 до 1.0 – 1.3 . В верхней же четверти агминского секвенса значения рассматриваемого параметра поднимаются до 3.2 – 3.8 . Для глинистых сланцев и алевроаргиллитов солзенского и зимнегорского секвенсов в среднеуральском сегменте характерны значительные вариации величин V/Ni (так, например, в 600 м выше подошвы сыльвицкой серии величина V/Ni со-

ставляет только 2.1 , а в 720 м – ~ 6.0), однако какой-либо определенной тенденции в изменении их снизу вверх по разрезу нет. Для алевроаргиллитов и аргиллитов эргинского секвенса в среднеуральском сегменте наблюдается весьма неотчетливо выраженная тенденция к росту значений V/Ni от 2.5 – 2.6 до примерно 2.8 , однако в его самых верхних 70–80 м происходит спад до 2.0 – 2.1 .

Медианные значения величины V/Ni для тонкозернистых обломочных пород верхнего венда юго-восточного Беломорья, южной части Вычегодского прогиба и Среднего Урала составляют, соответственно, 2.94 , 3.76 и 2.28 . Это, с учетом данных, приведенных в работе [9], может указывать на преобладание на палеоводосборах во время их формирования пород, в том числе и осадочных образований первого цикла, сходных по своему составу с диоритами-гранодиоритами.

Параметр Ce/Cr в ряду от основных магматических образований позднего архея и раннего протерозоя к кислым существенно возрастает. Так, базальты позднего архея и раннего протерозоя характеризуются значением $Ce/Cr \sim 0.04$ [21], для андезитов прису-

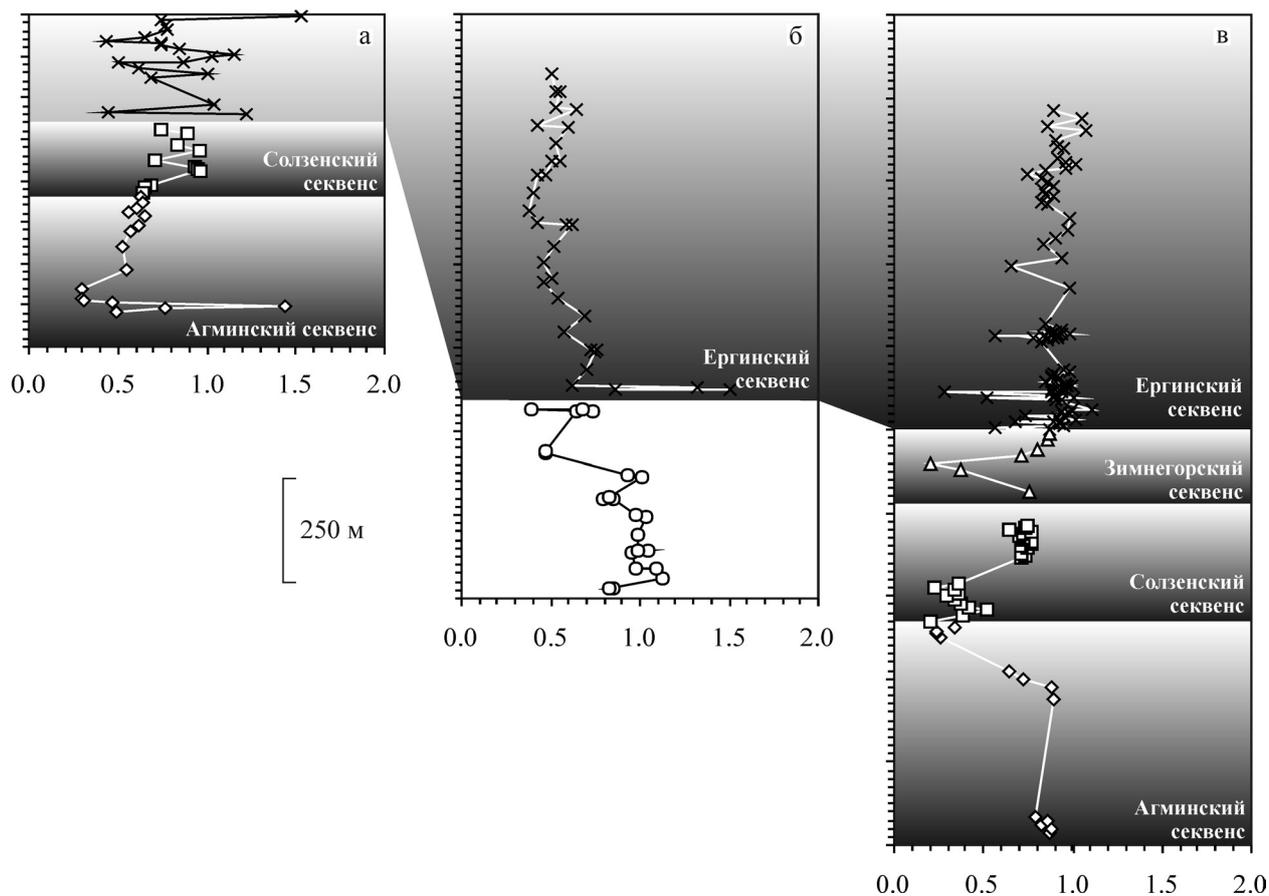


Рис. 8. Характер изменения значений Th/Sc в тонкозернистых обломочных породах верхнего венда беломорского, вычегодского и среднеуральского сегментов Мезенского палеобассейна.

Условные обозначения см рис. 3.

щи, соответственно, величины 0.25 и 0.73, тогда как граниты архея имеют $Ce/Cr \sim 5.94$, а протерозойские (в целом) граниты – 6.39. Глинистые сланцы и алевроаргиллиты агминского секвенса юго-восточного Беломорья характеризуются значениями Ce/Cr от ~1.1 до 3.9 (рис. 10а). В нижней части секвенса разброс Ce/Cr весьма значительный, однако вверх по разрезу он в существенной мере нивелируется. Аргиллиты из основания солзенского секвенса имеют здесь величину Ce/Cr , сопоставимую с величиной данного параметра в тонкозернистых обломочных породах верхней части агминского секвенса, однако в аналогичных по гранулометрическому составу породах остальной части данного интервала значения Ce/Cr существенно меньше (0.6–0.8). В породах ергинского секвенса величина Ce/Cr больше, чем в подстилающих образованиях ($Ce/Cr_{\text{медиана}}$ здесь составляет ~1.7 против 0.7 в алевроаргиллитах и аргиллитах солзенского секвенса). В разрезе скв. Кельтма 1 в доергинской части верхнего венда мы видим постепенное снижение значений Ce/Cr в тонкозернистых обломочных породах снизу вверх от 0.9–1.4 до 0.3–0.6 (рис. 10б). Ергинский секвенс начинается алевроаргиллитами с $Ce/Cr \sim 1.8$

(отм. 2302 м), однако преобладают здесь породы с Ce/Cr – от 0.4 до 1.1; величина данного параметра вверх по разрезу немного растет. На западном склоне Среднего Урала агминский и солзенский секвенсы сложены тонкозернистыми обломочными породами, значения Ce/Cr для которых меняются от 0.2 до 0.9 (рис. 10в). Какой-либо определенной тенденции в их изменении снизу вверх не наблюдается, хотя, возможно, при более частом шаге отбора образцов здесь можно будет наметить и циклы изменения значений данного параметра. Алевроаргиллиты и аргиллиты зимнегорского секвенса характеризуются ростом величины Ce/Cr к кровле. Наконец, для ергинского секвенса здесь так же, как и в разрезе скв. Кельтма 1, можно видеть ряд мелкомасштабных циклов изменения Ce/Cr , однако какая-либо выраженная тенденция не проявлена. В целом для сыльвицкой серии присуще некоторое увеличение значений Ce/Cr в алевроаргиллитах и аргиллитах снизу вверх по разрезу.

Наблюдающиеся в тонкозернистых обломочных образованиях верхнего венда Мезенского палеобассейна значения Ce/Cr позволяют предполагать, что мы имеем дело со смесью как достаточно при-

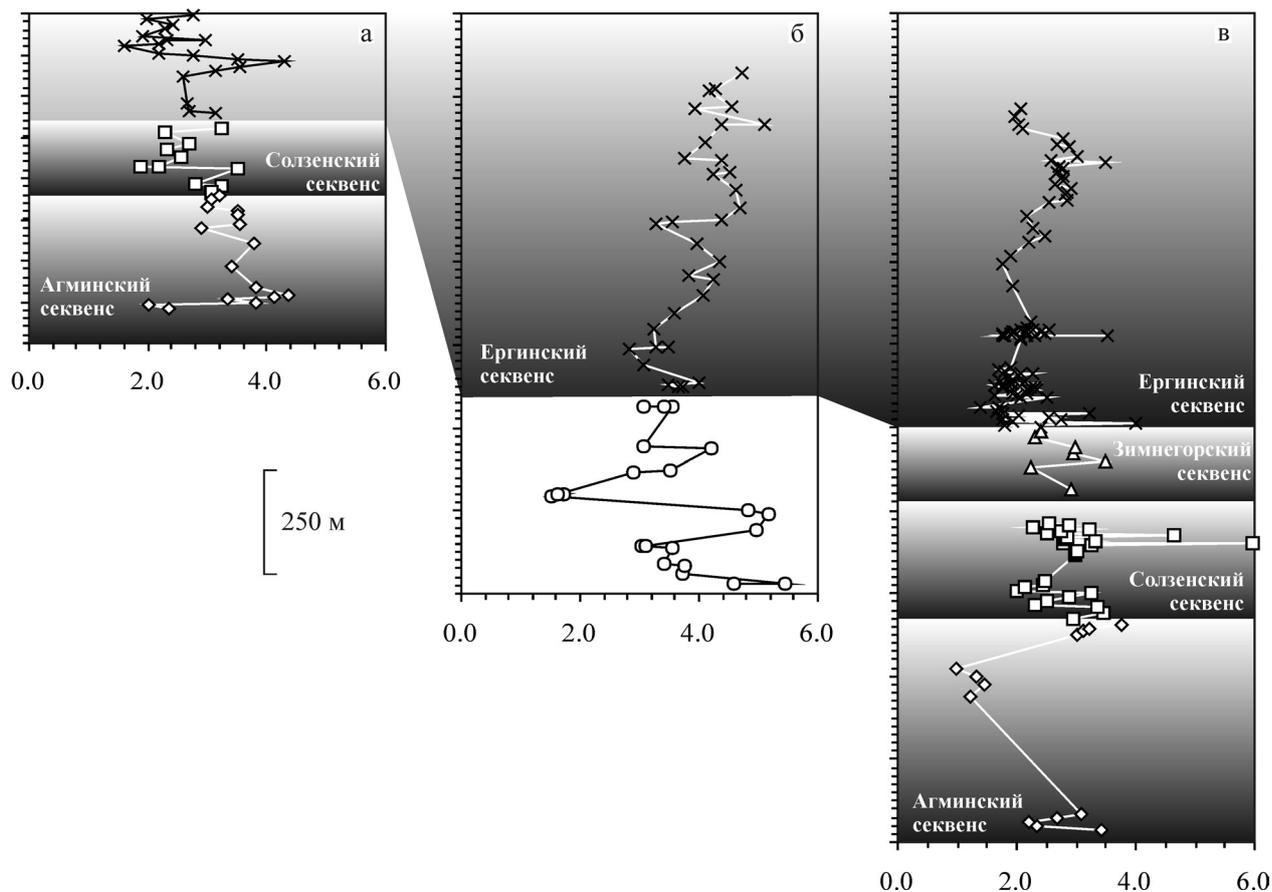


Рис. 9. Характер изменения значений V/Ni в тонкозернистых алюмосиликокластических породах верхнего венда беломорского, вычегодского и среднеуральского сегментов Мезенского палеобассейна.

Условные обозначения см рис. 3.

митивной тонкой алюмосиликокластики³, которой присущи низкие величины рассматриваемого параметра (можно думать, что подобная кластика попала в бассейн за счет эрозии кристаллических комплексов цоколя Восточно-Европейской платформы), так и продуктов размыва более зрелых пород.

РЗЭ-СИСТЕМАТИКА ТОНКОЗЕРНИСТЫХ ОБЛОМОЧНЫХ ПОРОД

РЗЭ-систематика тонкозернистых алюмосиликокластических образований, как и пород собственно магматических, в наиболее общем случае оценивается по таким параметрам как La_N/Yb_N , Gd_N/Yb_N , La_N/Sm_N и Eu/Eu^* . В настоящем сообщении мы, од-

нако, проанализируем изменение снизу вверх по разрезу в аргиллитах, алевроаргиллитах и глинистых сланцах верхнего венда только двух из них – La_N/Yb_N и Gd_N/Yb_N . Для нормирования на хондрит использованы данные из работы [19].

По данным К. Конди [21], величина La_N/Yb_N для основных пород позднего архея и раннего протерозоя составляет, соответственно, 1.92 и 1.28, для андезитов тех же интервалов она равна 3.31 и 4.12, а в гранитах архея и протерозоя – 8.93 и 4.90. В скв. Тучкино 1000 алевроаргиллиты основания агминского секвенса (отм. 916.2 м) характеризуются достаточно высоким значением La_N/Yb_N (11.2), тогда как выше, в интервале 908–863 м, данный параметр меняется в существенно меньших пределах (3.4–8.4) (рис. 11а). К кровле агминского секвенса значения La_N/Yb_N в алевроаргиллитах и аргиллитах возвращаются к тем, что характерны для его подошвы. В разрезе солзенского секвенса мы видим хорошо выраженное снижение величины La_N/Yb_N снизу вверх. Наконец, для ергинского секвенса Беломорско-Кулойского плато определенная тенденция в изменении La_N/Yb_N снизу вверх по раз-

³ Под примитивными архейскими субстратами нами понимаются субстраты, представленные преимущественно либо базальтами и высокомагнезиальными комагмитами, поставляющими при разрушении в осадки значительные количества Cr, Ni и Co, либо Na-гранитоидами, обладающими значительным деплетированием тяжелыми редкоземельными элементами с небольшими отрицательными Eu аномалиями или лишенными их [13].

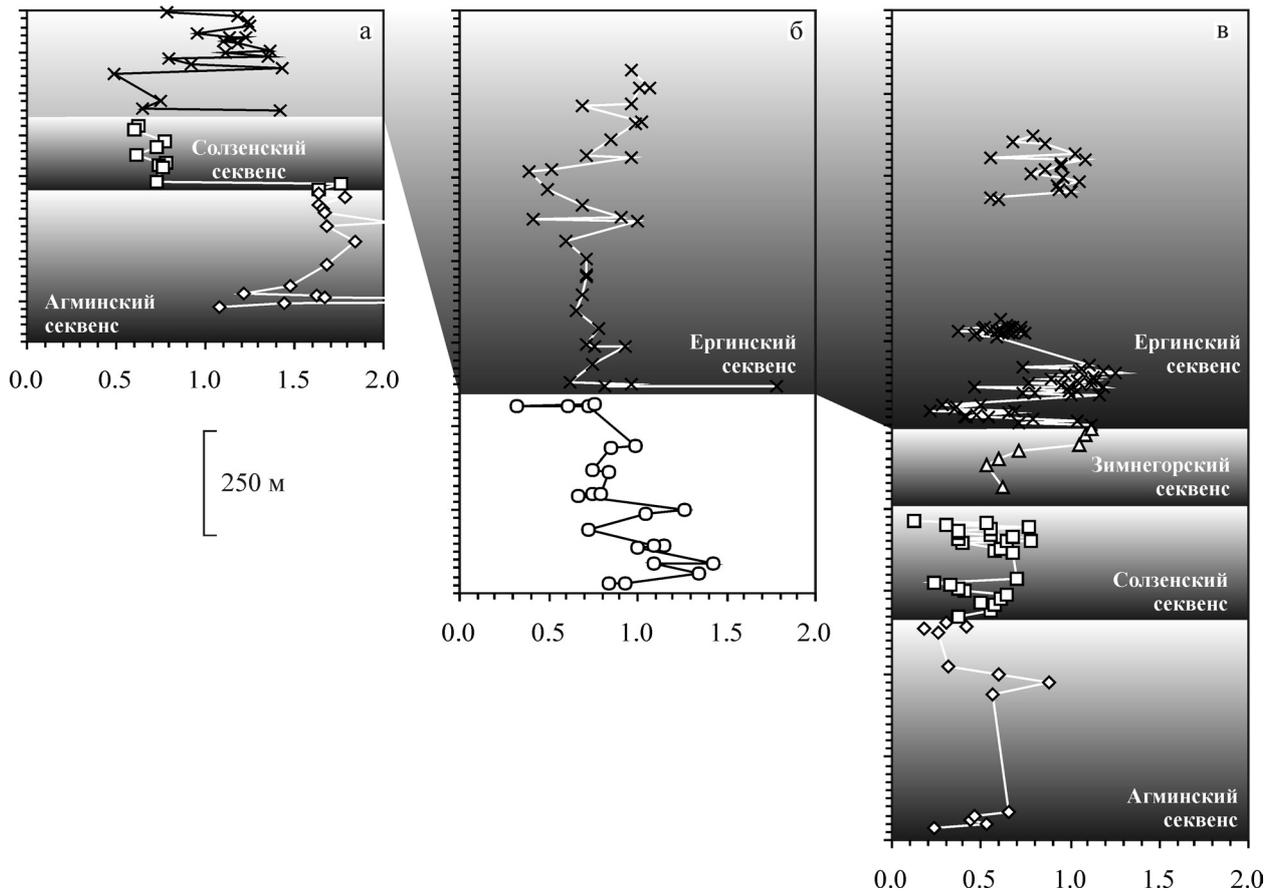


Рис. 10. Вариации Ce/Cr в тонкозернистых обломочных породах верхнего венда беломорского, вычегодского и среднеуральского сегментов Мезенского палеобассейна.

Условные обозначения см рис. 3.

резу не наблюдается. На Среднем Урале тонкозернистые обломочные породы агминского секвенса снизу вверх по разрезу обнаруживают тенденцию к отчетливому снижению La_N/Yb_N (рис. 11в). Для солзенского секвенса здесь, напротив, присущ некоторый рост данного параметра. В нижних двух третях зимнегорского секвенса значения La_N/Yb_N остаются примерно такими же, как и в породах верхней части солзенского секвенса (7.9–9.5), а в верхней трети они несколько выше (10.5–11.0). Тонкозернистые обломочные породы эргинского секвенса в среднеуральском сегменте характеризуются некоторым, достаточно неотчетливым, ростом La_N/Yb_N вверх по разрезу, на фоне которого мы видим несколько более мелких “циклов”, в пределах которых данный параметр изменяется от 5.2–6.2 до 11.0–12.6. В нижней трети доэргинской части разреза верхнего венда в скв. Кельтма 1 значения La_N/Yb_N остаются достаточно постоянными (~7.6–8.7). Выше они поднимаются до 12.3–17.4, но к кровле данного интервала вновь снижаются до значений, характерных для его нижней части. Алевроаргиллиты и аргиллиты эргинского секвенса демонстриру-

ют постепенное снижение величин La_N/Yb_N вверх по разрезу (от 7.5–12.0 до 6.8–6.9) (рис. 11б).

Медианные значения La_N/Yb_N для глинистых сланцев и алевроаргиллитов верхнего венда Беломорско-Кулойского плато, южной части Вычегодского прогиба и западного склона Среднего Урала составляют, соответственно, 8.44, 8.45 и 9.95. Основываясь на приведенных выше данных К. Конди, можно, на первый взгляд, предполагать, что в источниках сноса во время формирования указанных осадочных последовательностей заметным развитием пользовались породы, сходные по своим геохимическим параметрам с архейскими гранитоидами.

Вместе с тем, анализ положения фигуративных точек составов глинистых сланцев, алевроаргиллитов и аргиллитов верхнего венда указанных выше регионов на диаграммах $Th-La$, $Ni-Cr$, $Gd_N/Yb_N-Eu/Eu^*$, $Sc-Th/Sc$, $La/Sm-Sc/Th$ и $Co/Hf-Ce/Cr$, а также их РЗЭ-систематика и данные о Nd модельных возрастах дают основания считать, что основными источниками тонкой алюмосиликокластики для дистальных зон поздневендского Мезенско-

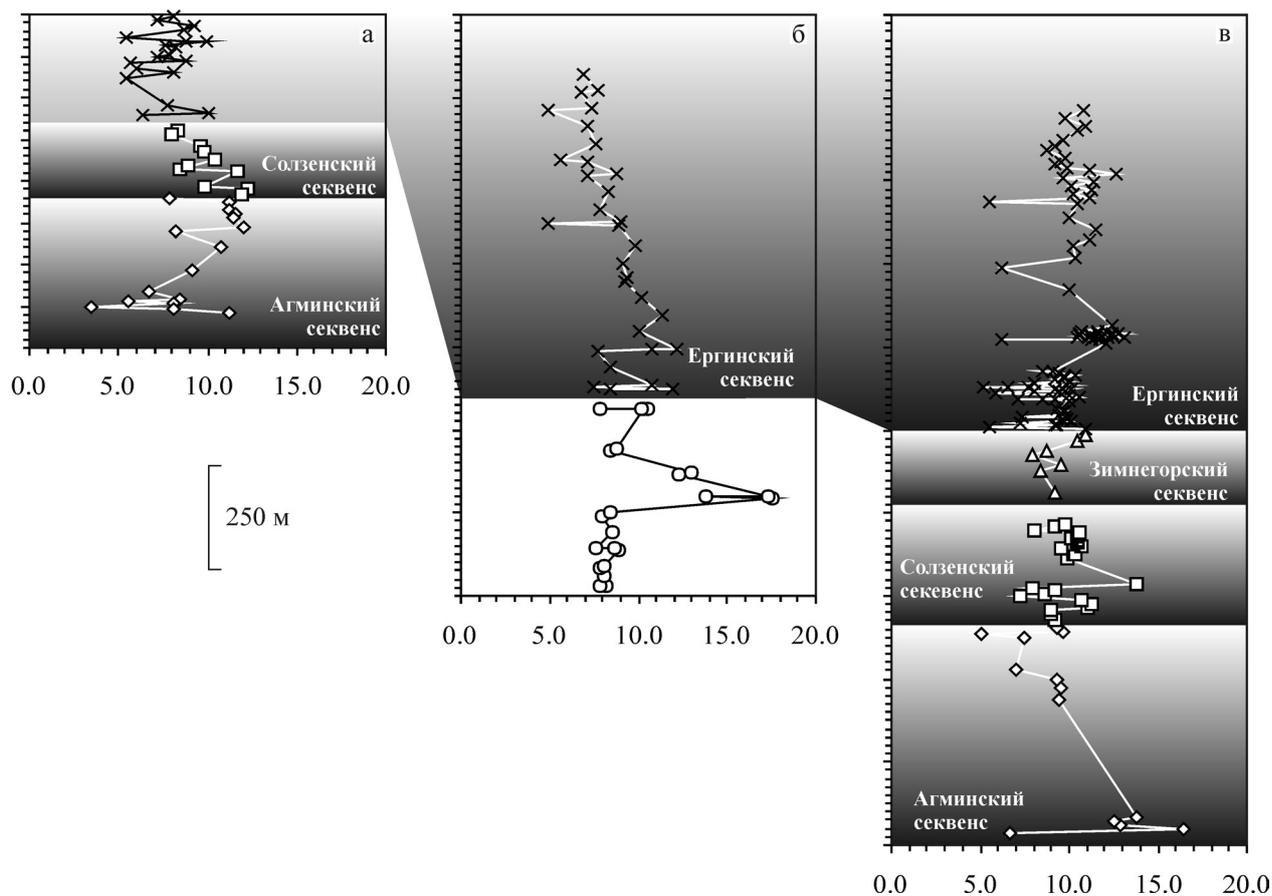


Рис. 11. Вариации величины отношения La_N/Yb_N в тонкозернистых обломочных породах верхнего венда беломорского, вычегодского и среднеуральского сегментов Мезенского палеобассейна.

Условные обозначения см рис. 3.

го палеобассейна являлись протерозойские, в том числе и неопротерозойские образования Тиманско-го складчато-надвигового пояса [11].

Ранее нами было также показано, что в целом нормированные на хондрит спектры распределения РЗЭ в аргиллитах и алевроаргиллитах верхнего венда Кваркушко-Каменногорского мегантиклинория имеют облик, типичный для большинства постархейских тонкозернистых обломочных образований. Им свойственны умеренный наклон в области ЛРЗЭ и хорошо выраженная отрицательная Eu аномалия [15]. На диаграмме $Gd_N/Yb_N - Eu/Eu^*$ большинство фигуративных точек аргиллитов сыльвицкой серии также сосредоточено в области постархейских кратонных осадков, но ряд из них, главным образом породы усть-сылвицкой свиты, обеднены ТРЗЭ и по этому показателю сопоставимы с осадочным образованиям архея. На диаграмме $La - Th - Sc$ фигуративные точки тонкозернистых обломочных пород расположены рядом с точками PAAS и UCC (Upper Continental Crust, [28]). Отдельные же точки аргиллитов чернокаменской свиты локализованы здесь между точками PAAS и UCC, с одной

стороны, и AUC (Archean Upper Crust, [28]) – с другой. Возможно, это также связано с присутствием в их составе архейского компонента.

Nd модельный возраст глинистых сланцев и алевроаргиллитов старопечнинской свиты составляет 1711 ± 26 (2 σ) млн. лет. В породах перевалокской и чернокаменской свит он равен, соответственно, 1728 ± 23 и 1747 ± 15 млн. лет. Аргиллиты усть-сылвицкой свиты характеризуются величиной $T_{DM} \sim 1739 \pm 24$ млн. лет. Вариации величины T_{DM} по разрезу верхнего венда Кваркушко-Каменногорского мегантиклинория симбатны вариациям ЛРЗЭ/ТРЗЭ и La_N/Yb_N [15].

Nd модельный возраст аргиллитов нижней части лямицкой свиты составляет ~ 1530 млн. лет. Величина T_{DM} в тонкозернистых обломочных породах верховской свиты равна 1730–1710 млн. лет. Примерно такие же значения T_{DM} характерны для аргиллитов ергинской свиты, тогда как глинистые породы зимнегорской свиты имеют Nd модельный возраст 1570–1530 млн. лет. Для алевроаргиллитов падунской свиты кембрия величина T_{DM} составляет 1660–1640 млн. лет [11].

Приведенные выше данные по составу и Nd модельному возрасту тонкозернистых обломочных пород дают основания предполагать, что начиная с временной отметки 560 млн. лет Мезенский палеобассейн в значительной или существенной мере заполнялся продуктами размыва магматических и осадочно-метаморфических комплексов Тимано-Печорской области [11]. Этот вывод согласуется с результатами седиментологических исследований [2, 24], а также с данными секвенс-стратиграфического анализа. Последние показывают, что наибольшие мощности латеральных фациальных рядов приурочены к проксимальным участкам бассейна, примыкающим к Тимано-Печорской области, тогда как маломощные конденсированные отложения, характеризующие обстановку с минимальными темпами прогибания, тяготеют к дистальным интракратонным областям бассейна.

Значения отношения Gd_N/Yb_N для основных пород позднего архея и раннего протерозоя практически одинаковые (1.15 и 1.16) [21]. Андезиты позднего архея и раннего протерозоя несколько отличаются по величине данного параметра (1.75 и 1.98), тогда как граниты архея и протерозоя обладают значением $Gd_N/Yb_N \sim 1.89$. Породы тоналит-трондьемит-гранитных ассоциаций архея характеризуются величиной $Gd_N/Yb_N \sim 2.42$.

Величина Gd_N/Yb_N в тонкозернистых обломочных породах агминского секвенса Беломорско-Кулойского плато варьирует от 1.4 до 2.4 (рис. 12а), однако какой-либо определенной тенденции в изменении ее вверх по разрезу не наблюдается. Для среднеуральского сегмента поздневендского Мезенского палеобассейна в данном интервале разреза можно видеть некоторое снижение Gd_N/Yb_N к верхней границе секвенса; величина рассматриваемого параметра варьирует здесь от ~ 0.8 до 2.4. Солзенский секвенс в разрезе скв. Тучкино 1000 характеризуется хорошо выраженной тенденцией к снижению Gd_N/Yb_N вверх по разрезу. В среднеуральском сегменте на данном уровне наблюдается небольшой рост этого параметра вверх по разрезу (рис. 12в). Эта же тенденция сохраняется и в зимнегорском секвенсе. В целом, однако, для агминско-зимнегорского интервала на западном склоне Среднего Урала определенной тенденции в изменении значений Gd_N/Yb_N снизу вверх по разрезу нет. Тонкозернистые алюмосиликокластические породы ергинского секвенса в разрезе Кваркушско-Каменногорского мегантиклинория при достаточно больших вариациях (от ~ 1.0 до 2.5) также не обнаруживают какого-либо направленного изменения значений Gd_N/Yb_N . В скв. Кельма 1 наблюдается некоторое уменьшение величины Gd_N/Yb_N вверх по разрезу, при этом в алевроаргиллитах основания ергинского секвенса значение Gd_N/Yb_N достигает 3.1 (рис. 12б). Наконец, в разрезе скв. Тучкино 1000 для рассматриваемого нами интервала характерно некоторое увеличение значений

Gd_N/Yb_N в тонкозернистых обломочных породах, однако вариации их ($\sim 1.2-1.9$) не выходят за значения, характерные для подавляющей части обычных осадочных образований.

СТЕПЕНЬ ЗРЕЛОСТИ РАЗМЫВАВШЕЙСЯ В ПОЗДНЕМ ВЕНДЕ ВЕРХНЕЙ КОНТИНЕНТАЛЬНОЙ КОРЫ

В рамках настоящей работы мы также предприняли попытку оценить изменение с течением времени состава и степени зрелости крупных сегментов континентальной коры, являвшихся источниками обломочного материала для осадочных последовательностей верхнего венда в беломорском, вычегодском и среднеуральском сегментах Мезенского палеобассейна. В качестве инструмента для этого, как и ранее [16], было выбрано сопоставление содержаний и соотношений в тонкозернистых обломочных породах Th и Y, а также значения отношений Cr/Th и Cr/Sc, с рассчитанными К. Конди [21] значениями этих же параметров в ранне- (> 3.5 млрд. лет) и позднеархейской (3.5–2.5 млрд. лет), а также палеопротерозойской (2.5–1.6 млрд. лет) континентальной верхней коре. По данным [21], в верхней континентальной коре с возрастом более 3.5 млрд. лет содержания Y и Th составляют 18 и 7.5 г/т, а значения Cr/Th и Cr/Sc равны, соответственно, 38 и 22, тогда как континентальная кора конца палеопротерозоя (1.8–1.6 млрд. лет) характеризуется содержаниями Y и Th, равными 32 и 10.4 г/т, при значениях Cr/Th и Cr/Sc – 5.3 и 3.9.

По величине Cr/Th и содержанию Y наиболее сопоставимы с составом верхней палеопротерозойской континентальной коры тонкозернистые алюмосиликокластические образования валдайской серии Беломорско-Кулойского плато (рис. 13а). Глинистые сланцы и алевроаргиллиты верхнего венда южной части Вычегодского прогиба сопоставимы с палеопротерозойской корой только по величине отношения Cr/Th; медианные содержания Y в тонкой алюмосиликокластике доергинского и ергинского уровней в скв. Кельма 1 примерно в 1.5–2 раза ниже, чем в континентальной коре начала и конца палеопротерозоя. В алевроаргиллитах и аргиллитах сыльвицкой серии медианные значения Cr/Th варьируют от 1.7 до 2.5, что несколько меньше, чем приводится в работе [21] для ювенильной верхней континентальной коры палеопротерозоя (5.3) и мезо-неопротерозоя (4.4). Существенно варьируют в них с течением времени и содержания иттрия. При рассмотрении трендов изменения медианного содержания Y бросается также в глаза то, что от агминского к ергинскому секвенсам в глинистых породах среднеуральского и беломорского сегментов Мезенского палеобассейна наблюдается рост указанной величины, а для глинистых сланцев и алевроаргиллитов южной части Вычегодского прогиба характерно ее снижение.

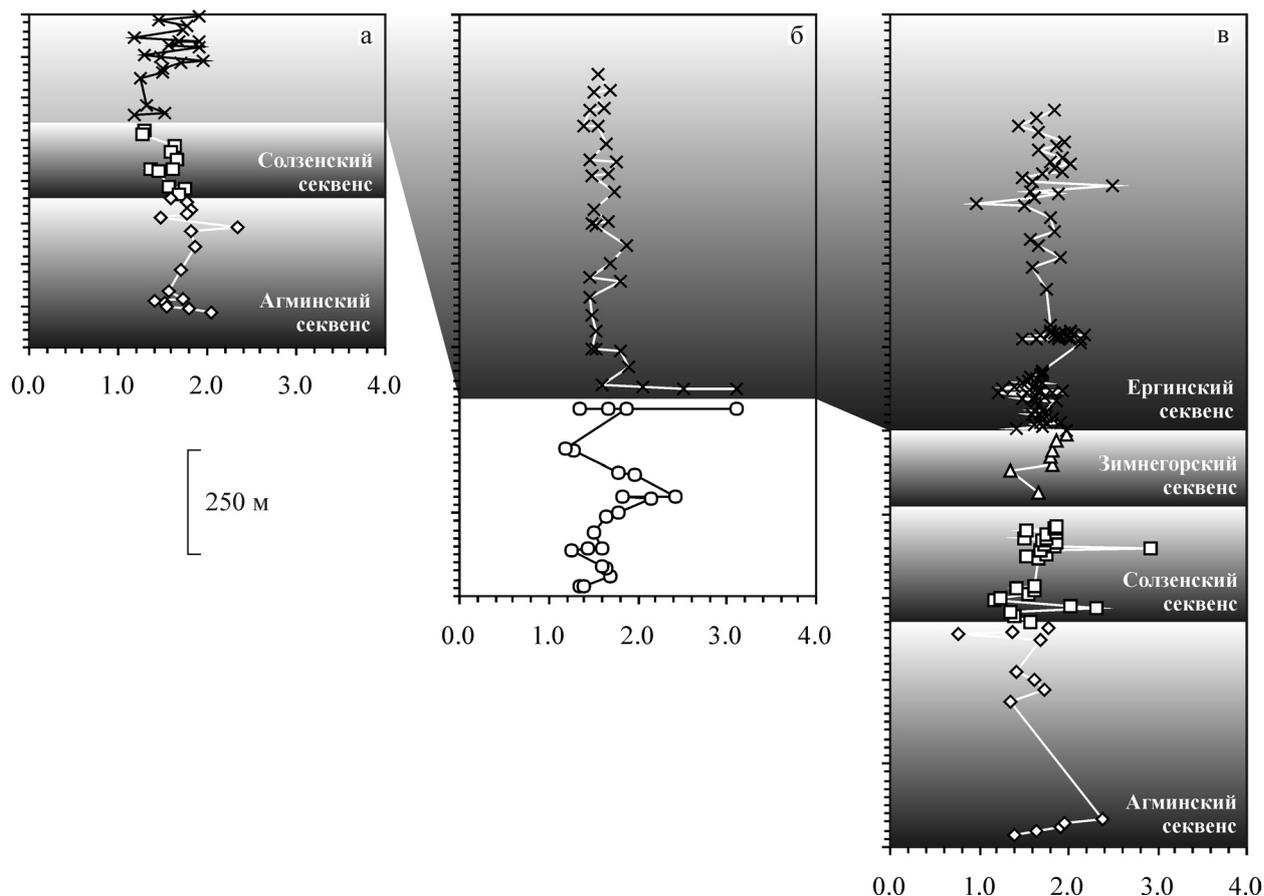


Рис. 12. Вариации значений Gd_N/Yb_N в тонкозернистых алюмосиликокластических породах верхнего венда беломорского, вычегодского и среднеуральского сегментов Мезенского палеобассейна.

Условные обозначения см рис. 3.

По значениям $Cr/Sc_{\text{медиана}}$ рассматриваемые нами образования также достаточно близки к тем величинам данного параметра, что характерны для ювенильной континентальной коры палеопротерозоя (рис. 13б). Однако по медианным содержаниям Th они существенно различаются. Так, для аргиллитов и алевроаргиллитов эргинского секвенса в южной части Вычегодского прогиба величина $Th_{\text{медиана}}$ составляет ~ 6.0 г/т, а для сходных по гранулометрическому составу пород этого же секвенса в разрезе Среднего Урала она равна ~ 17 г/т. Так же, как и в случае Y, медианные содержания Th в глинистых породах верхнего венда среднеуральского и беломорского сегментов Мезенского палеобассейна растут вверх по разрезу, а в южной части Вычегодского прогиба, напротив, снижаются.

ОБСУЖДЕНИЕ ПОЛУЧЕННЫХ ДАННЫХ И ВЫВОДЫ

Выполненный нами в последнее десятилетие фациально-генетический, литогеохимический и палеонтологический анализ послойно изученных

разрезов верхнего венда Среднего Урала позволил реконструировать условия и обстановки осадконакопления сыльвицкой серии [3–5, 11, 15 и др.]. В результате проведенных исследований сыльвицкая серия разделена на четыре осадочные системы (старопечнинско-перевалокскую, вилухинскую, шурьышскую и синемаменско-кобылоостровскую), представляющие ассоциации генетически взаимосвязанных геологических тел, каждая из которых является результатом взаимодействия определенных физических, химических и биологических факторов. Указанные осадочные системы ограничены фациальными несогласиями и соответствующими перерывами в осадконакоплении и отвечают обособленным этапам развития палеобассейна. Было также показано, что сыльвицкая серия обладает достаточно хорошо выраженным литогеохимическим единством. На протяжении всего времени ее формирования в область седиментации поступала относительно зрелая тонкая алюмосиликокластика (в том числе и прошедшая несколько циклов мобилизации и переотложения), а климат на палеоводоразделах характеризовался значительной стабильно-

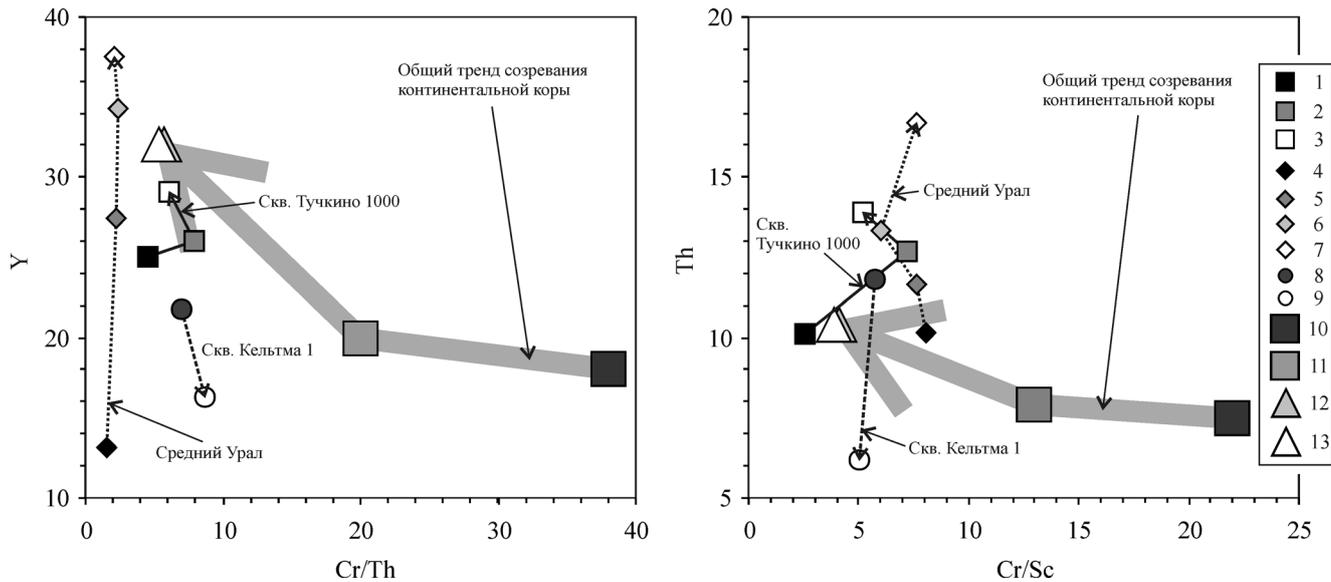


Рис. 13. Вариации Cr/Th и Cr/Sc и содержаний Y и Th (все значения медианные) в тонкозернистых обломочных породах агминского, солзенского, зимнегорского и ергинского секвенсов беломорского, вычегодского и среднеуральского сегментов Мезенского палеобассейна.

Секвенсы: 1–3 – скв. Тучкино 1000: 1 – агминский, 2 – солзенский и зимнегорский (?); 3 – ергинский; 4–7 – Средний Урал: 4 – агминский, 5 – солзенский, 6 – зимнегорский, 7 – ергинский; 8–9 – скв. Кельтма 1: 8 – агминско-зимнегорский интервал, 9 – ергинский; 10–13 – континентальная кора, по [21]: 10 – раннего архея (> 3.5 млрд. лет), 11 – позднего архея (3.5–2.5 млрд. лет), 12 – раннего палеопротерозоя (2.5–1.8 млрд. лет), 13 – позднего палеопротерозоя (1.8–1.6 млрд. лет).

стью и имел параметры, позволяющие позиционировать его как семиаридный-семигумидный. Анализ медианных величин Th/Cr , Th/Sc и ряда других индикаторных отношений элементов-примесей, и значений этих же индикаторов в отдельных пробах показал, что формирование осадочного выполнения среднеуральского сегмента поздневендского Мезенского палеобассейна происходило за счет смещения как кислой, так и основной алюмосиликокластики, однако доля последней была в целом, по всей видимости, относительно небольшой [5].

Вовлечение в рамках настоящей работы в рассмотрение литогеохимических материалов также по вычегодскому и беломорскому сегментам Мезенского палеобассейна, и анализ их в контексте трассируемых через весь бассейн осадочных систем показало, что тренды изменения значений подавляющего числа индикаторов имеют в каждом из сегментов свою специфику. Это отражает, скорее всего, то, что процессы формирования осадочного выполнения Мезенского палеобассейна контролировались преимущественно локальными факторами (состав пород в источниках сноса, особенности процессов выветривания на палеоводосборах, гидродинамические обстановки и т.п.); полная гомогенизация состава тонкой алюмосиликокластики в подобных обстановках отсутствовала.

Сравнение медианных содержаний Th и Y , а также значений Cr/Th и Cr/Sc в тонкозернистых алю-

мосиликокластических образованиях со значениями этих же параметров в архейской и палеопротерозойской ювенильной континентальной верхней коре (по [21]) позволило также оценить степень геохимической зрелости размывавшихся в позднем венде по периферии Мезенского палеобассейна блоков коры. Установлено, что степень зрелости коры для различных сегментов палеобассейна достаточно заметно варьирует, более того, один из трех сегментов (вычегодский) характеризуется заметно иными трендами изменения вверх по разрезу верхнего венда содержаний Y и Th в глинистых сланцах и алевроаргиллитах, чем два других. Это, как и приведенные выше данные, подкрепляет вывод об определенной изолированности различных источников тонкой алюмосиликокластики и отсутствии полной гомогенизации/перемешивания ее в бассейне осадконакопления. По величине $Cr/Th_{\text{медиана}}$ и содержанию Y наиболее сопоставимы с составом верхней палеопротерозойской континентальной коры тонкозернистые обломочные породы беломорского сегмента Мезенского палеобассейна, что в определенной мере коррелируется с близостью его к Балтийскому щиту. Глинистые сланцы и алевроаргиллиты верхнего венда южной части Вычегодского прогиба сопоставимы с палеопротерозойской корой только по $Cr/Th_{\text{медиана}}$; медианные содержания Y в них заметно ниже. В алевроаргиллитах и аргиллитах сыльвицкой серии $Cr/Th_{\text{медиана}}$ несколько мень-

ше, чем в ювенильной верхней коре как палеопротерозоя, так и мезо-неопротерозоя. Существенно варьируют в них с течением времени и содержания Y. По значениям $Cr/Sc_{\text{медиана}}$ тонкозернистые обломочные породы верхнего венда Мезенского палеобассейна также достаточно сопоставимы с теми величинами, что характерны для континентальной коры палеопротерозоя. Однако по медианным содержаниям Th они заметно различаются.

Полученные нами данные согласуются с ранее сделанным выводом о том, что изотопно-геохимические особенности тонкой алюмосиликокластики рифея Башкирского мегантиклинория, Учуро-Майского региона и Енисейского кряжа контролировались преимущественно локальными факторами [12, 14].

Исследования выполнены при финансовой поддержке РФФИ (грант 09-05-00279).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Аксенов Е.М. Венд Восточно-Европейской платформы // Вендская система. Историко-геологическое и палеонтологическое обоснование. Т. 2. Стратиграфия и геологические процессы / Отв. ред.: Б.С. Соколов, М.А. Федонкин. М.: Наука, 1985. С. 3–34.
2. Гражданкин Д.В. Строение и условия осадконакопления вендского комплекса в Юго-Восточном Беломорье // Стратиграфия. Геол. корреляция. 2003. Т. 11, № 4. С. 3–34.
3. Гражданкин Д.В., Маслов А.В. Секвентная стратиграфия верхнего венда Восточно-Европейской платформы // Докл. АН. 2009. Т. 426, № 1. С. 66–70.
4. Гражданкин Д.В., Маслов А.В., Крупенин М.Т. Строение и этапы формирования вендских отложений сylvицкой серии западного склона Среднего Урала // Стратиграфия. Геол. корреляция. 2009. Т. 17, № 5. С. 20–40.
5. Гражданкин Д.В., Маслов А.В., Крупенин М.Т., Ронкин Ю.Л. Осадочные системы сylvицкой серии (верхний венд Среднего Урала). Екатеринбург: УрО РАН, 2010. 280 с.
6. Гражданкин Д.В., Маслов А.В., Мاستилл Т.М.Р., Крупенин М.Т. Беломорская биота эдиакарского типа на Среднем Урале // Докл. АН. 2005. Т. 401, № 6. С. 784–788.
7. Гражданкин Д.В., Наговицин К.Е., Маслов А.В. Миаохенская экологическая ассоциация позднего венда Восточно-Европейской платформы // Докл. АН. 2007. Т. 417, № 1. С. 73–78.
8. Гражданкин Д.В., Подковыров В.Н., Маслов А.В. Палеоклиматические обстановки формирования верхневендских отложений Беломорско-Кулойского плато (Юго-Восточное Беломорье) // Литология и полез. ископаемые. 2005. № 3. С. 267–280.
9. Интерпретация геохимических данных / Отв. ред. Е.В. Скларов. М.: Интернет Инжиниринг, 2001. 288 с.
10. Маслов А.В. Осадочные породы: методы изучения и интерпретации полученных данных. Екатеринбург: УГГУ, 2005. 289 с.
11. Маслов А.В., Гражданкин Д.В., Подковыров В.Н. и др. Состав питающих провинций и особенности геологической истории поздневендского Мезенского бассейна // Литология и полез. ископаемые. 2008. № 3. С. 290–312.
12. Маслов А.В., Ножкин А.Д., Подковыров В.Н. и др. Геохимия тонкозернистых терригенных пород верхнего докембрия Северной Евразии. Екатеринбург, УрО РАН, 2008. 274 с.
13. Маслов А.В., Подковыров В.Н., Гражданкин Д.В. Макро- и мезомасштабные геохимические тренды в верхневендских осадочных системах Восточно-Европейской платформы и Урала // Геология и полезные ископаемые Западного Урала. Пермь: Пермский университет, 2009. С. 6–9.
14. Маслов А.В., Подковыров В.Н., Ронкин Ю.Л. и др. Долговременные вариации состава верхней коры по данным изучения геохимических особенностей глинистых пород позднего докембрия западного склона Южного Урала и Учуро-Майского региона // Стратиграфия. Геол. корреляция. 2006. Т. 14, № 2. С. 26–51.
15. Маслов А.В., Ронкин Ю.Л., Крупенин М.Т. и др. Систематика редкоземельных элементов и модельный возраст Nd в аргиллитах венда западного склона Среднего Урала // Докл. АН. 2005. Т. 401, № 5. С. 668–672.
16. Ножкин А.Д., Маслов А.В., Подковыров В.Н. и др. Геохимические особенности терригенных пород рифея Южного Урала и Сибири и вариации зрелости континентальной коры // Геология и геофизика. 2009. Т. 50, № 2. С. 95–114.
17. Оловянишников В.Г. Верхний докембрий Тимана и полуострова Канин. Екатеринбург: УрО РАН, 1998. 162 с.
18. Ронкин Ю.Л., Гражданкин Д.В., Маслов А.В. и др. U-Pb (SHRIMP-II)-возраст цирконов из пепловых туфов чернокаменной свиты сylvицкой серии венда (Средний Урал) // Докл. АН. 2006. Т. 411, № 3. С. 354–359.
19. Тейлор С.Р., МакЛеннан С.М. Континентальная кора: ее состав и эволюция. М.: Мир, 1988. 384 с.
20. Юдович Я.Э., Кетрис М.П. Основы литохимии. СПб.: Наука, 2000. 479 с.
21. 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.
22. 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.
23. Geochemistry of sediments and sedimentary rocks: evolutionary considerations to mineral deposit-forming environments / D.R. Lentz (Ed.) Geological Association of Canada. GeoText 4. 2003. P. 145–176.
24. Grahdankin D. Late Neoproterozoic sedimentation in the Timan foreland // The Neoproterozoic Timanide Orogen of Eastern Baltica / D.G. Gee, V.L. Pease (Eds) London: The Geological Society, 2004. P. 37–46.
25. Herron M.M. Geochemical classification of terrigenous sands and shales from core or log data // J. Sed. Petrology. 1988. V. 58. P. 820–829.

26. *Nesbitt H.W., Young G.M.* Early Proterozoic climates and plate motions inferred from major element chemistry of lutites // *Nature*. 1982. V. 299. P. 715–717.
27. *Rollinson H.R.* Using geochemical data: evaluation, presentation, interpretation. Essex: London Group UK Ltd. 1994. 352 p.
28. *Taylor S.R., McLennan S.M.* The chemical evolution of the continental crust // *Reviews of Geophysics*. 1995. V. 33. P. 241–265.
29. *Visser J.N.J., Young G.M.* Major element geochemistry and paleoclimatology of the Permo-Carboniferous glaciogenic Dwyka Formation and post-glacial mudrocks in Southern Africa // *Palaeogeogr. Palaeoclimat. Palaeoecol.* 1990. V. 81. P. 49–57.

Рецензент Е.Ф. Летникова

Unique features of changes of several litho-geochemical characteristics of the Upper Vendian fine-grained clastic rocks in the Mezen paleobasin

A. V. Maslov*, D. V. Grazhdankin,
V. N. Podkovyrov***, M. T. Krupenin***

**Institute of Geology and Geochemistry, Urals Branch of RAS,*

***Institute of Petroleum Geology and Geophysics, Siberian Branch of RAS,*

****Institute of Precambrian Geology and Geochronology, RAS*

The analysis of the litho-geochemical data for White Sea, Vychegda and Central Urals segments of the Late Vendian Mezen paleobasin is shown that the variations of the paleoclimatic (CIA and GM) indexes as well as indicators of the provenance compositions (Th/Cr, Th/Sc, V/Ni, Ce/Cr, La_N/Yb_N and Gd_N/Yb_N) and the indexes of the upper continental crust maturity (contents of Th and Y, Cr/Th and Cr/Sc) are specific for each of the enumerated segments and their sedimentary sequences. It is reflects probably that the formation of the foreland Mezen paleobasin sedimentary filling was controlled mainly by local factors, such as provenance composition, weathering processes on the erosion areas, hydrodynamic conditions inside the basin etc.). In such conditions complete mixing of the fine-grained almosiliciclastic material in the sedimentary basin is impossible.

Key words: Mezen paleobasin, Upper Vendian, litho-geochemistry, sedimentary sequences.