

ОСАДОЧНЫЕ АССОЦИАЦИИ ВЕРХНЕГО ДОКЕМБРИЯ ЗАПАДНОГО СКЛОНА ЮЖНОГО УРАЛА (современное состояние исследований)

© 2018 г. А. В. Маслов

Институт геологии и геохимии УрО РАН; Институт геологии УФИЦ РАН

На территории Республики Башкортостан и Челябинской области, в пределах западного склона Южного Урала, отвечающего в геологическом отношении большей части Башкирского мегантиклинория, расположена стратотипическая местность одного из крупнейших подразделений Общей стратиграфической шкалы России — рифея. Его уникальность — это невероятная длительность накопления разнообразных по составу и условиям формирования осадочных ассоциаций, запечатлевших значительное число разноплановых геологических событий.

История исследований рифейских отложений отражена в работах О.П. Горяиновой и Э.А. Фальковой, Н.С. Шатского, А.И. Олли, М.И. Гараня, Б.М. Келлера, В.А. Романова, В.И. Козлова и ряде коллективных монографий. Наиболее крупной сводкой материалов по стратиграфии, геохронологии, палеонтологии и палеомагнетизму верхнедокембрийских отложений западного склона Южного Урала, полученных к началу 1980-х гг., явилась изданная под общей редакцией Б.М. Келлера (ГИН АН СССР) двухтомная монография «Стратотип рифея». Первый том ее посвящен палеонтологии и палеомагнетизму отложений рифея, во втором рассмотрены стратиграфия и геохронология. В 2001 г. коллективом авторов из Екатеринбурга и Уфы опубликована четырехтомная монография «Рифей западного склона Южного Урала...». Первый том этой работы содержит общую характеристику отложений рифея и венда, обзор процессов седименто- и литогенез, очерк о минерагии верхнедокембрийских отложений и связанных с ними геологических памятниках природы, три других были посвящены описанию конкретных разрезов и крупных обнажений, дающих представление о строении и составе всей верхнедокембрийской последовательности Башкирского мегантиклинория.

Эталонный разрез рифея включает отложения бурзянской, юрматинской и каратауской серий. Бурзянская серия объединяет на северо-востоке мегантиклинория айскую, саткинскую и бакальскую свиты. С ними в центральных районах этой структуры сопоставляются большеинзерская, суранская и юшинская свиты, изотопный возраст отложений которых, несмотря на длительную историю изучения, до сих пор не установлен. Юрматинская серия состоит из машакской, зигальгинской, зигазино-комаровской и авзянской свит. Каратауская серия включает зильмердакскую, катавскую, инзерскую, миньярскую, укскую и криволукскую свиты. Названные серии охарактеризованы комплексами микрофоссилий и строматолитов и являются типами подчиненных рифею хроностратиграфических единиц [Стратотип..., 1982, 1983; Семихатов, 2008 и др.]. Каждая серия, как это традиционно считается, но не отвечает реальности, представляет законченный цикл осадконакопления, в основании которого находятся базальные конгломераты, а выше — песчано-алевролитовые, алевролито-сланцевые и карбонатные толщи. К основанию двух нижних серий рифея приурочены вулканогенные образования. На породах каратауской серии залегают осадочные ассоциации ашинской серии венда, расчленяющиеся на бакеевскую и ее аналоги, урюкскую, басинскую, куккараукскую и зиганскую свиты.

В начале раннего рифея на периферии «Тараташского выступа» формировалась специфическая «субконтинентальная» ассоциация песчано-алевритоглинистых пород, конгломератов и трахибазальтов. Ее аналогами в Камско-Бельском авлакогене являются красноцветные преимущественно песчаные отложения прикамской свиты. Предполагается, что накопление указанных образований могло быть связано с процессами рассеянного рифтогенеза. Средняя часть бурзянской серии на северо-востоке Башкирского мегантиклинория представлена мощным комплексом предположительно шельфовых доломитов (саткинская свита), прослеживающихся и в пределы Волго-Уральской области; в центральных частях мегантиклинория они, по всей видимости, замещаются тонкозернистыми алюмосиликокластическими и карбонатными образованиями суранской свиты.

Конец раннего рифея отмечен появлением чередующихся толщ терригенных и карбонатных отложений (малобакальская подсвита бакальской свиты), сменявшихся по латерали песчано-алевритоглинистыми последовательностями (юшинская свита). Для раннего рифея типичны мощные толщи низкоуглеродистых глинистых сланцев.

В начале среднего рифея на восточном крыле Башкирского мегантиклинория были сформированы конгломерато-песчаниковые последовательности, ассоциирующие с кислыми и основными вулканитами (машакская свита). Существенным отличием данной ассоциации от других базальных комплексов седиментационных серий эталона рифея является преимущественно кварцевый и литокласто-кварцевый состав обломочного материала и преобладание метаосадочных пород среди галек конгломератов. Выше по разрезу присутствуют экстракварцевые песчаники зигальгинской свиты, отражающие как интенсивные процессы химического выветривания на палеоводосборах, так и, вероятно, существенную роль в их сложении преимущественно кварцевых пород. Середина и конец юрматиния, так же как и конец бурзяния, ознаменованы накоплением полифациальных терригенных и карбонатных последовательностей (зигазино-комаровская и авзянская свиты). Мощные монотонные толщи низкоуглеродистых глинистых сланцев исчезают; в среднем рифее в той или иной мере обогащенные органикой глинистые сланцы наблюдаются в основном в тесной связи с песчаниками и алевролитами; обстановки накопления их (крайне мелководные, часто пересыхавшие области бассейнов) существенно образом отличаются от тех, что были свойственны бурзянию.

В разрезах верхнего рифея преобладают другие совокупности пород. Мощный комплекс аркозовых и субаркозовых песчаников, гравелитов и алевролитов начала каратавия (бирьянское время) формировался вне связи с вулканитами. В середине позднего рифея накапливались пестроцветные карбонатные отложения катавской свиты и сложный комплекс глауконит-кварцевых песчаников (в ассоциации с алевролитами и аргиллитами), доломитов и известняков инзерской свиты. Завершающие разрез каратауской серии преимущественно мелководные карбонатные последовательности миньярской и укской свит характеризуются широким развитием строматолитов.

Ашинская серия венда объединяет разнообразные терригенные породы — тиллитоподобные конгломераты, конгломераты, песчаники, алевролиты и аргиллиты. В ряде ее разрезов присутствуют прослои вулканических пеплов. Считается, что формирование этого комплекса отложений происходило в предгорном бассейне.

С середины 1940-х гг. доордовикские отложения западного склона Южного Урала привлекают внимание специалистов разного плана — стратиграфов, тектонистов, геохронологов, палеонтологов, а также седиментологов, литологов, геохимиков и др. Неоценимую роль в их изучении сыграли исследования М.И. Гараня, О.П. Горяиновой, А.И. Иванова, К.А. Львова, А.И. Олли, Э.А. Фальковой, заложившие основу современных представлений о последовательности напластования «древних немых свит Горной Башкирии». Широкое внедрение в практику в середине 1950-х — начале 1960-х гг. изотопно-геохронологических методов позволило обосновать большую продолжительность рифея (исследования Л.Н. Овчинникова и М.А. Гаррис). Тогда же была показана возможность использования в стратиграфических построениях фитолитов (И.Н. Крылов, З.А. Журавлева, М.Е. Раабен, Вл.А. Комар и др.).

Состав слагающих типовой разрез рифея осадочных образований, обстановки их накопления, типы и эволюция бассейнов осадконакопления, палеогеография области сочленения Восточно-Европейской платформы и [современного] Южного Урала с той или иной степенью детальности освещены в публикациях и рукописных отчетах Д.В. Наливкина, М.И. Гараня, А.И. Олли, Г.Ф. Лунгерсгаузена, Н.П. Вербицкой, М.Т. Орловой, В.А. Романова, Ю.Р. Беккера, В.П. Феоктистова, Э.И. Кутырева, Ю.С. Ляхницкого, Б.М. Келлера, Л.В. Анфимова, Г.Н. Акимовой, А.И. Казака, В.М. Чайки и ряда других авторов. В результате к началу 1980-х гг. была намечена общая картина формирования верхнедокембрийских осадочных ассоциаций Южного Урала.

В монографии [Стратотип..., 1983, с. 173–174] подчеркнута: «...Значение ... эталона представляется ... более широким. Даже самое беглое рассмотрение зарубежных типовых разрезов верхнего докембрия показывает, что аналоги трех подразделений рифея и венд могут быть выделены и в ряде зарубежных стран». К числу таких последовательностей Б.М. Келлер отнес синийскую

«субэратему» Китая, систему Аделаида и серию Ропер Австралии, надсерии Белт и Уиндермер Северной Америки. В Восточной Сибири с типом рифея в середине 1980-х гг. были скоррелированы учурская, аимчанская, керпыльская, лахандинская и уйская серии, а залегающая выше них юдомская серия рассматривалась как аналог ашинской серии.

Время внесло в эти представления коррективы. Верхний возрастной предел уйской серии Учуро-Майского региона принимается в настоящее время примерно в 950–940 млн лет [Khudoley et al., 2001 и др.]. Длительность формирования отложений надсерии Белт, ранее считавшейся аналогом среднего и почти всего нижнего рифея, уменьшилась почти на порядок, и составляет ~70 млн лет (1470–1400 млн лет назад) [Gonzalez-Alvarez, Kerrich, 2012]. Временные рамки виндийской надсерии Индии — еще одного крупного подразделения верхнего докембрия, не упомянутого Б.М. Келлером при рассмотрении стратиграфических аналогов рифея, принимаются в настоящее время как 1.7–0.6 млрд лет [Rasmussen et al., 2002; Ray et al., 2003; Ray, 2006]. Необходимо отметить также, что нижняя граница рифея, благодаря многолетним исследованиям специалистов из Уфы и Екатеринбурга, стала к началу 2010-х гг. примерно на 100 млн лет древнее (~1750 млн лет) [Краснобаев и др., 2013 и др.; Семихатов и др., 2015].

По мнению Н.С. Шатского, развитие седиментационных бассейнов позднего докембрия Южного Урала соответствовало геосинклинальному циклу. Ю.Р. Беккер рассматривал Урал как систему, прошедшую два полных цикла развития — рифейский и уральский. По представлениям Б.М. Келлера, направленный ряд формаций, сходный с типично геосинклинальным рядом фанерозоя, наблюдается только в интервале от среднего рифея до ашинской серии. Ю.Д. Смирнов считал, что в рифейско-вендском разрезе Урала можно выделить четыре тектоно-магматических цикла. При этом к собственно эвгеосинклинальным им отнесены только верхнерифейские вулканогенно-осадочные и магматические образования севера Тимана и Печорской синеклизы.

В конце 1970-х гг. ревизия данных по метаморфизму, магматизму, характеру складчатости и осадочным формациям позволила С.Н. Иванову высказать предположение о том, что формирование верхнедокембрийских вулканогенно-осадочных образований происходило в континентальных структурах рифтогенного типа. По представлениям Л.П. Зоненшайна с соавторами, в позднем докембрии вдоль восточного края Русской платформы происходило формирование мощных осадочных призм пассивных окраин Южно-Уральского палеоокеана. По данным В.Н. Пучкова, западный сектор Урала представлял в начале рифея рифтогенный край континента, перекрытый позднее мощными комплексами осадочных и вулканогенно-осадочных образований. Предполагается, что на территории западного склона Урала и Волго-Уральской области в рифее имел место «вялотекущий рифтогенез», приведший к формированию авлакогенов с колоссальной мощностью осадочного выполнения. По мнению Ф.А. Курбацкой, Урал в рифее был своеобразным «межкратонным» прогибом.

В.Н. Пучков [2012, 2013, 2016 и др.] и С.Г. Ковалев [2008; Ковалев и др., 2013, 2017 и др.] развивают в последние годы представления о формировании вулканических пород, присутствующих в основании бурзянской и юрматинской серий, в связи с становлением крупных магматических провинций (КМП). Известно, что на Южном Урале геохимические характеристики допалеозойских вулканитов «не обнаруживают» надсубдукционной компоненты. Высказано предположение, что эффузивные породы навышской подсвиты айской свиты сопоставимы по ряду особенностей с близкими по составу образованиями не только Балтики, но и Северной Африки, Сибири, Лаврентии и Китая, и могут принадлежать продуктам КМП. В качестве продуктов более молодой КМП рассматриваются базальты и риолиты машакской свиты. Вместе с ними в подобных обстановках возможно формировались граниты-рапакиви Бердяуша, расслоенные габбро Кусы и дайки долеритов, известные как на Южном Урале, так и в прилежащих районах Волго-Уральской области. Такого же возраста магматические породы есть в Притиманье, Гренландии, Лаврентии и на Сибирском кратоне. Еще один уровень распространения сходных по условиям формирования магматических образований — игонинская свита аршинской серии (750–600 млн лет). Близкоодновременно с игонинскими базальтами формировались гранитоиды и габброиды бурангуловско-мазаринского комплекса [Пучков, 2016], а также мисаелгинский диабаз-пикритовый и габбро-перидотитовый сарановский комплексы. Указанные вулканические и магматические образования, по всей видимости,

могут быть продуктами позднерифейской КМП (~720 млн лет). Есть в пределах западного склона Южного и Среднего Урала также магматические породы, которые можно рассматривать как результат «активности Тихоокеанского ... суперсвелла».

Накопление значительной части осадочных образований нижней части ашинской серии (толпаровская, суировская, возможно, бакеевская свиты) происходило в серии врезанных долин и контролировалось, скорее всего, гляциоэвстатическими событиями (масштабными падениями уровня моря). Кульминацией регрессии морского бассейна явилось формирование обширной аллювиально-дельтовой равнины урюкского времени. Области сноса в начале ашинского времени (бакеевско-урюкский интервал) располагались в восточных районах Восточно-Европейской платформы. В постурюкское время в связи с коллизией и орогенезом на рассматриваемой территории был сформирован пологий предгорный прогиб, выполненный, как полагают многие авторы, моласовыми образованиями. Поступление в него обломочного материала происходило, по всей видимости, преимущественно с востока. В роли питающей провинции выступал Белорецкий термальный купол [Пучков, 2000].

Положение источников сноса во время формирования ашинской серии долгое время определялось по-разному. Так, Д.В. Наливкин, А.И. Олли и М.И. Гарань полагали, что основная область размыва располагалась к западу от Башкирского мегантиклинория, тогда как Л.Д. Ожиганова и Ю.Р. Беккер считали, что источниками сноса были как подстилающие рифейские отложения, так и породы располагающегося восточнее него хр. Уралтау, т.е. имели местный характер. По данным М.Л. Ключиной [1963], хорошо выраженная косая слоистость в песчаниках урюкской свиты наблюдается только на востоке Башкирского мегантиклинория, где косослоистые серии имеют наклон слойков на восток. Конгломераты куккараукской свиты отличаются прямолинейной крупной и очень крупной слоистостью; падение косых слойков в большинстве косослоистых серий западное, а в песчаниках зиганской свиты направление падения косых слойков западное и северо-западное. Все это свидетельствует, что в басинское время область питания располагалась на западе, а в куккараукское и зиганское — на востоке. Хорошая окатанность акцессорных минералов в песчаниках урюкской и кукараукской свит указывает [Сергеева, 1986], что источником их, как и существенной доли обломочного материала, являлись преимущественно осадочные породы. Сходство типоморфных признаков циркона, турмалина, рутила и апатита из пород ашинской и подстилающей ее каратауской серии как будто бы позволяет предполагать, что отложения ашинской серии формировались за счет размыва пород верхнего рифея западного склона Южного Урала [Сергеева, 1986 и др.]. В начале 2000-х гг. было установлено, что в песчаниках куккараукской и басинской свит наряду с полициклическими, многократно переотложенными зёрнами циркона, присутствуют и эвгедральные кристаллы с U-Pb изотопными возрастными 643–550 млн лет. Они, по всей видимости, поступали в отложения венда за счет размыва пород Белорецкого термального купола [Willner et al., 2003].

Палеоклиматические обстановки формирования осадочных ассоциаций типа рифея и ашинской серии достаточно долгое время были дискуссионными. Связано это с тем, что среди многокилометровой толщи пород рифея и венда отсутствует большинство ярких литоклиматических индикаторов. Напротив, широким распространением здесь пользуются доломитовые и известняковые карбонатные последовательности, кварцевые, субаркозовые, а также глауконито-кварцевые песчаники; формирование их, как известно, может происходить в достаточно разнообразных климатических обстановках. Невозможность прямой интерпретации литологических данных обусловила обращение ряда исследователей к использованию для палеоклиматических реконструкций разнообразных петро/литогеохимических методов. Так, Н.С. Крылов, основываясь на минералогеохимических особенностях отложений катавской и миньярской свит и подинзерских слоев, указал, что первые характеризуются чертами, типичными для аридных эпох, тогда как вторые представляют образования влажного гумидного климата. Ю.Р. Беккер подчеркнул своеобразие пестроцветных известняков катавской свиты (флоридовая формация), считая, что накопление их происходило в условиях, приближавшихся к аридным. Терригенные отложения зильмердакской свиты также формировались, по его данным, в условиях, сходных с аридными. Повышенные содержания F и Cl в породах саткинской и бакальской свит свидетельствуют, по мнению В.П. Парначева,

об эвапоритовых обстановках накопления исходных осадков. Э.З. Гареев [1989 и др.] считает, что климат зильмердакского времени характеризовался переходами от гумидного к аридному. Анализ геохимических и литологических данных позволил ему утверждать, что в области сноса в течение раннего и среднего рифея преобладали аридные условия; для позднего рифея допускается существование коротких гумидных эпизодов.

Наиболее общие представления об условиях формирования осадочных образований западного склона Южного Урала к началу 1960-х гг. были изложены в работах Д.В. Наливкина, М.И. Гараня, А.И. Олли, Г.Ф. Лунгерсгаузена и ряда других исследователей. Они без существенных корректировок использовались вплоть до начала 1980-х гг. и в целом правильно отражают общие закономерности рифейского осадконакопления. В то же время это были исследования в основном регионально-общегеологического плана; только разработка стратиграфических схем для различных районов мегантиклинория (середина 1980-х гг.) сделала возможным создание относительно крупномасштабных фациальных моделей и литолого-палеогеографических схем и карт.

По мнению Д.В. Наливкина [1931], формирование осадочных ассоциаций «древних немых свит Горной Башкирии» имело место преимущественно в лагунных обстановках. По представлениям А.И. Олли [1937, 1945, 1948 и др.], формирование всего комплекса осадков «древних свит» происходило в водной среде, на что указывают правильная слоистость, наличие в осадках на ряде уровней примеси углеродистого материала, постепенное и закономерное уменьшение с запада на восток среднего размера обломков в терригенных породах, хорошая отсортированность кластики, выдержанность строения разрезов на большой площади, косая слоистость. Присутствие в породах знаков ряби и трещин усыхания указывает, по мнению А.И. Олли, на неоднократное пересыхание отдельных участков бассейна. На мелководный его облик указывает также и широкое развитие водорослевых структур в карбонатах. Основываясь на результатах анализа характера распределения в разрезах терригенных пород различной гранулометрии, количества терригенной примеси в карбонатных породах и направлений падения слойков в косослоистых сериях, А.И. Олли пришел к выводу, что кластический материал поступал в бассейн преимущественно с запада. Примерно таких же взглядов на генезис и палеогеографию рифейских отложений западного склона Южного Урала придерживался позднее и В.А. Романов [1970, 1973 и др.]. По мнению М.И. Гараня [1946, 1963, 1969], накопление осадков айского «времени» происходило в условиях грабенообразного прогиба. В саткинское и бакальское «время» формировались мелководно-морские отложения. Среднерифейские последовательности также накапливались в обширном мелководном бассейне. В период формирования отложений каратауской серии дважды имели место расширение и обмеление бассейна. Согласно взглядам Г.Ф. Лунгерсгаузена [1947], область западного склона Урала во время формирования осадков древних свит представляла предгорную равнину, сложенную дельтовыми песчано-галечниковыми и илисто-песчаными осадками и покрытую озерами. Периодически в эту область вторгалось мелкое море. Анализ текстурных особенностей пород, степени сохранности минералов, направлений сноса кластики и других материалов позволил Г.Ф. Лунгерсгаузену утверждать, что в разрезе рифея значительная роль принадлежит континентальным образованиям — тиллитам, осадкам приледниковых озер, эоловым образованиям. Наличие в породах на многих уровнях своеобразной ленточной слоистости свидетельствует, по его мнению, против морского генезиса осадков.

Обобщение данных геологосъемочных и тематических работ позволило создать к началу 1960-х гг. серию мелкомасштабных литолого-палеогеографических карт территории СССР, на которых нашли отражение и наиболее существенные черты осадконакопления в рифее на западном склоне Урала [Атлас..., 1968; Келлер и др., 1968]. Общий палеогеографический план рифея на большей части восточного фланга Русской платформы определялся, по мнению авторов указанных публикаций, существованием денудационных и аккумулятивных равнин и пологоволнистых плато. Предполагалось, что в части бассейна, примерно совпадавшей с современной осевой зоной Урала, на протяжении рифея существовал ряд крупных островов, разделявших Приуральское море (область терригенно-карбонатного осадконакопления) и Тургайский пролив, где формировались терригенно-вулканогенные образования. В такой трактовке Уральские острова выступали в роли кордильеры, разделявшей мио- и эвгеосинклинальную области. Основным источником кластики

выступала Русская платформа. Климат рифея рассматривался предположительно как теплый или жаркий. Примерно таких же взглядов придерживались и авторы работы [Геология..., 1977].

Минералого-петрографический состав песчаников наряду с данными о составе галек в конгломератах и сведениями, полученными при исследовании минералов тяжелой фракции, позволяет реконструировать состав размывавшихся на палеоводосборах комплексов пород и с определенной степенью достоверности расшифровать их геодинамическую природу. Однако если первая задача решалась в процессе геологосъемочных и тематических работ постоянно, то вторая оказалась «terra incognita» до конца 1980-х гг.

В первой половине 1980-х гг. в результате целенаправленных исследований на основе детального комплексного литолого-фациального анализа оказалось возможным расшифровать условия образования терригенных и карбонатных отложений каратауской серии и создать модель развития позднерифейского бассейна осадконакопления [Маслов, 1988]. Были выделены и подробно описаны генетические типы осадков, фации и макрофации верхнерифейских отложений и разработана их детальная классификация. Прослежены пространственно-временные взаимоотношения фаций и их ассоциаций, составлены литолого-фациальные профили и схематические палеогеографические карты, проведено изучение состава терригенных пород, реконструировано распределение в разрезах и по площади палеобассейна терригенно-минералогических ассоциаций и восстановлены основные закономерности их формирования и эволюции питающих провинций. Изучение верхнерифейских отложений явилось своеобразной прелюдией к анализу всего разреза рифея и способствовало определению наиболее важных направлений исследований.

Во второй половине 1980-х гг. были продолжены работы по фациальной типизации осадков, описанию генетических типов осадков и фаций. Значительное внимание уделено детальной литолого-стратиграфической документации и анализу материалов предшественников по всем естественным разрезам и разрезам буровых скважин. Это позволило провести «привязку» генетических типов осадков и фаций к конкретным разрезам и построить схематические палеогеографические карты для различных уровней нижнего и среднего рифея. Однако препятствиями к решению последней задачи оказались отсутствие отчетливых маркеров, неопределенность критериев проведения границ многих местных подразделений и значительная пестрота фаций. В связи с этим в дальнейшем основное внимание было сосредоточено на анализе пространственно-временных соотношений крупных литолого-фациальных комплексов отложений.

Анализ осадочных ассоциаций рифея показал, что главная роль среди них принадлежит бассейновым (мелководным и умеренно глубоководным терригенным и карбонатным) отложениям; континентальные терригенные и вулканогенно-терригенные комплексы, маркирующие эпохи значительных сокращений морской акватории, фиксируются только в начале айского, машакского и зильмердакского времени. Это указывает на значительно бóльшие размеры конечных водоемов стока рифея, нежели территория современного Башкирского мегантиклинория.

Установлено, что распределение фаций в разрезе рифея подчинено нескольким, достаточно хорошо проявленным, закономерностям. Трансгрессивная линия развития, подчеркнутая сменой континентальных обломочных фаций начальных этапов формирования седиментационных серий, терригенными и карбонатными отложениями «сверхмелководных», мелководных и умеренно глубоководных зон бассейна, наиболее типична для нижней части каратауской серии. Формирование континентальных терригенных ассоциаций этой серии было связано, по-видимому, с крупным понижением уровня моря и резкой проградацией с запада на восток аллювиально-дельтовых «клиньев». Более высокие уровни каратавия представлены чередующимися терригенными и карбонатными отложениями, накапливавшимися в основном в сублиторальных и литоральных обстановках в обширном мелководном бассейне.

Разрезы нижнего и среднего рифея характеризуются иной «организацией» фаций и имеют заметно иное строение. В начале раннего рифея практически повсеместно на территории как современного Башкирского мегантиклинория, так и в пределах Волго-Уральской области формировались континентальные и близкие к ним по генезису терригенные комплексы значительной мощности (айская, прикамская свиты и др.). В дальнейшем в Башкирском мегантиклинории преимущественно континентальная седиментация сменилась процессами формирования умеренно глубоководных

тонкозернистых терригенных илов и комплекса гравитационных и фоновых осадков (большеинзерская свита), а в расположенных западнее районах продолжалась мелководная и субконтинентальная седиментация (прикамская свита Волго-Уральской области). Накопление глубоководных и удаленных от побережья осадочных ассоциаций пришлось на середину раннего рифея (саткинское время). В конце раннего рифея на северо-востоке мегантиклинория имело место формирование «сверхмелководных», мелководных и умеренно глубоководных последовательностей бакальской свиты, сменявшихся в юго-западном направлении преимущественно мелководно-морскими ассоциациями юшинской свиты.

Средний рифей — это время накопления «сверхмелководных» терригенных ассоциаций (верхи машакского, зигальгинский и зигазино-комаровский уровни). Шельфовые карбонатные образования типичны только для самого конца юрматиния. В этом основное отличие юрматиния как от бурзяния, так и от позднего рифея. Определенное сходство строения седиментационных серий раннего и среднего рифея подчеркивается присутствием в их базальных частях вулканогенно-осадочных ассоциаций, преобладанием среди карбонатных последовательностей доломитов и широким развитием углеродисто-глинистых сланцев. Результатом этих исследований стал вывод о том, что последовательность осадочных ассоциаций в разрезах бурзяния и юрматиния не свидетельствует в пользу предположений о формировании их на пассивной континентальной окраине и появлении к востоку от современного западного склона Южного Урала уже в среднем рифее крупных океанических пространств.

Сопоставление обстановок формирования осадочных ассоциаций и «архитектуры» седиментационных последовательностей рифея западного склона Южного Урала с аналогичными данными по другим регионам распространения отложений рифея в пределах западной мегазоны Урала, а также осадочным ассоциациям рифея, развитым по периферии и в центральных районах Сибирского, Северо-Американского и Индийского кратонов, показало значительную пестроту и сложность слагающих их фашиальных ассоциаций при общем преобладании среди них мелководных и «сверхмелководных» терригенных и карбонатных отложений и подчиненной, за некоторыми исключениями, роли континентальных и умеренно глубоководных образований. На основе сравнительного анализа осадочных последовательностей намечено несколько их типов, в той или иной мере характеризующих существовавшие в рифее бассейны осадконакопления.

В целях реконструкции характера источников сноса был предпринят количественный анализ состава песчаников практически всех терригенных уровней стратотипа рифея. В результате выявилось несколько типов распределения фигуративных точек псаммитов на диаграмме Q_mFL_t [Dickinson et al., 1983]. Первый из них характерен для песчаников ниже- и верхнерифейского аркозовых комплексов. Фигуративные точки песчаников этих уровней рифея группируются в основном в полях I и II диаграммы Q_mFL_t . Формирование их происходило, по-видимому, за счет размыва внутренних частей кратона (типа стабильных шельфов или платформ) и «переходных» его зон. Ко второму типу могут быть отнесены псаммиты большеинзерской, юшинской, зигазино-комаровской и авзянской свит и отчасти лемезинской подсвиты зильмердакской свиты, характеризующиеся локализацией фигуративных точек почти исключительно в поле I, с тяготением к стороне Q_mF . Это преимущественно кварцевые песчаники с небольшим количеством полевых шпатов и близкие к ним по составу экстракварцевые разности (зигальгинский и лемезинский уровни), формирование которых было связано как с размывом значительно выположенных зон кратонов, подвергшихся интенсивному химическому выветриванию, так и, предположительно, крупных зон (областей, блоков) с преобладающим распространением кварцитов и (или) иных кварцсодержащих (или преимущественно кварцевых) пород. Существенную роль при этом играло и неоднократное переотложение обломочного материала в прибрежных и мелководно-морских обстановках относительно стабильных континентальных шельфов. Третий тип распределения точек составов песчаников характерен для машакского уровня юрматиния, а также бедерьшинского и инзерского уровней верхнего рифея. Псаммиты этих уровней группируются в полях I и IV диаграммы Q_mFL_t , что предполагает вовлечение в размыв минералогически зрелых осадочных и осадочно-метаморфических пород из рециклированных орогенов. Основными типами источников сноса для псаммитовых ассоциаций эталона рифея являлись, таким образом, «континентальные блоки» и «рециклированные орогены».

Рассматривая характер изменения соотношений крупных классов источников сноса в процессе формирования песчанниковых ассоциаций типового разреза рифея, можно отметить схожесть бурзянской и юрматинской серий. Образование песчанников базальных уровней бурзяния и юрматиния происходило за счет размыва кристаллических пород Восточно-Европейской платформы, осадочно-метаморфических комплексов раннего протерозоя и рифейских осадочных образований. Последнее наиболее типично, по-видимому, для машакского уровня, одним из источников питания которого были терригенные толщи нижнего рифея [Ротарь, 1976; Анфимов и др., 1983]. На средних и поздних стадиях эволюции ранне- и среднерифейского бассейнов в область осадконакопления поступала более зрелая кластика. Верхнерифейские ассоциации псаммитов имеют, напротив, в целом менее зрелый состав. В качестве основных источников сноса для них выступали, по-видимому, как внутренние зоны кратона, так и области типа рециклированных орогенов. Это свидетельствует в пользу предположения о постепенном усложнении общей схемы минерального питания бассейнов седиментации рифея западного склона Южного Урала и вовлечении в размыв все более гетерогенных по составу зон.

В конце 1990-х гг. на примере верхнедокембрийского разреза Башкирского мегантиклинория рассмотрены индикационные возможности глинистых пород для реконструкции палеоклиматических особенностей седиментогенеза [Маслов и др., 1999]. Благодаря этим исследованиям суммированы все данные о вещественном составе глинистых сланцев типового разреза рифея и ашинской серии, выполнены реконструкции исходного состава поступавшей в седиментационные бассейны рифея тонкой алюмосиликокластики. На основе данных о валовом химическом составе глинистых пород показано, что в раннем рифее имел место сдвиг палеоклиматических обстановок от аридных к гумидным. В начале среднего рифея в размыв могли быть вовлечены существенно более зрелые образования, что, наряду, возможно, с интенсивным химическим выветриванием на палеоводосборах, привело к формированию экстракварцевых песчанников зигальгинского уровня. К концу юрматиния климат вновь стал семиаридным. Сходные обстановки в областях сноса существовали и в позднем рифее – венде.

В начале 2000-х гг. на основе синтеза петрографических, лито- и геохимических данных было показано, что в рифее происходил размыв преимущественно раннепротерозойских кислых интрузивных образований, типичным представителем которых в пределах Средневолжского мегаблока Волго-Уральской области является бакалинский ультраметагенный комплекс. Некоторую роль в качестве источника кластики играл и раннепротерозойский осадочно-метаморфический проточехол платформы. Анализ распределения в глинистых породах рифея редкоземельных элементов, Sr, Th, Sc и вариаций их индикаторных отношений позволил установить, что в раннем рифее в пределах Средневолжского мегаблока Восточно-Европейской платформы размыву подверглись преимущественно кислые магматические образования. В среднем рифее область сноса была, вероятно, более гетерогенной: наряду с кислыми ассоциациями в размыв были вовлечены породы основного и ультраосновного (?) состава, однако роль их на палеоводосборах была, скорее всего, невелика. Нарастание к авзянскому времени в глинистых сланцах значений K_2O/Al_2O_3 , ЛРЗЭ/ТРЗЭ, $(La/Yb)_N$ и $\Sigma PZЭ$ позволило предположить, что с этого момента и почти до конца каратавия доминирующая роль на палеоводосборах принадлежала кислым магматическим и метаморфическим ассоциациям.

Начиная с 2010-х гг. усилиями Н.Б. Кузнецова (ГИН РАН) и Т.В. Романюк (ИФЗ РАН) и их коллег были получены данные о U-Pb изотопных возрастах, редкоземельной и Hf-систематике обломочных цирконов, присутствующих в песчаниках различных уровней стратотипа рифея и ашинской серии венда. Это позволило сделать ряд весьма интересных выводов. Так, установлено, что в песчаниках айской свиты бурзяния преобладают цирконы с палеопротерозойскими возрастными. Высказано предположение, что для раннего и, возможно, среднего рифея источниками обломочных цирконов выступали палеопротерозойские орогены [Кузнецов и др., 2013; Романюк и др., 2013 и др.]. Псаммиты лемезинской подсвиты зильмердакской свиты содержат примерно равное количество палеопротерозойских и неоархейских цирконов. Это предполагает выведение в область размыва архейских комплексов Волго-Урала, являвшихся источниками обломочного материала вплоть до середины девона, т.е. с небольшими перерывами (?) на протяжении почти 900 млн лет. В песчаниках верхнего венда количество архейских и палеопротерозойских обломочных

цирконов сопоставимо, преобладающими же являются мезо- и неопротерозойские кристаллы, что, как и полученные на рубеже XX и XXI вв. данные [Willner et al., 2003], указывает на кардинальное изменение в позднем венде общей палеогеографической ситуации на рассматриваемой территории: если в целом в интервале ~1750–600 млн лет основным поставщиком кластики в бассейны, существовавшие в области сочленения Восточно-Европейской платформы и [современного] Урала выступала именно платформа, то в венде значительная, если не преобладающая часть обломочного материала, по мнению [Кузнецов и др., 2012 и др.], поступала с «Квинслендского края» Австралии.

Вместе с тем, основанные на данных, приведенных в указанных и других публикациях, модели построены для интервалов, разделенных сотнями миллионов лет. До недавнего времени весь верхний рифей (1030–600 млн лет) был охарактеризован одной популяцией обломочных цирконов. Полученные в конце 2017 г. данные о U-Pb изотопном возрасте обломочных цирконов из аркозовых песчаников бирьянской подсветы зильмердакской свиты верхнего рифея [Маслов и др., в печати] существенно дополняют существующие в литературе представления. Оказалось, что в аркозовых песчаниках бирьянской подсветы на долю обломочных цирконов с лопийскими и раннекарельскими возрастными приходится всего 4%, одно зерно (~1%) имеет возраст 964 ± 57 млн лет, тогда как кристаллы с позднекарельскими, ранне- и среднерифейскими возрастными составляют 35, 34 и 26%. Это отличается как от распределения возрастов обломочных цирконов в песчаниках зигальгинской свиты ($3137 \pm 10 \dots 1697 \pm 18$ млн лет; кристаллы с позднекарельскими возрастными ~54%, еще 35% — зерна раннекарельского и позднелопийского возраста) [Кузнецов и др., 2017], так и от распределения их в песчаниках лемезинской подсветы зильмердакской свиты ($3070 \pm 27 \dots 1817 \pm 59$ млн лет; ~57% цирконов с поздне- и среднелопийскими возрастными, 38% — с карельскими возрастными) [Романюк и др., 2013]. В целом спектр U-Pb изотопных возрастов обломочных цирконов из бирьянских аркозов в определенной мере схож с возрастным спектром цирконов из песчаников ашинской серии венда Южного Урала [Кузнецов и др., 2012]. Полученные данные показывают, что во время формирования аркозовых песчаников бирьянской подсветы на палеоводосборах продолжали существовать комплексы пород, поставлявшие в область осадконакопления, хотя и в заметно меньшем, чем в начале среднего рифея (зигальгинское время), объеме, кристаллы с позднекарельскими возрастными (35% против 54%), а источники с цирконами лопийского (4% против 26%) и раннекарельского возраста практически исчезли (1% против 18%). Доминировали же в области размыва породы с цирконами ранне- и среднерифейского (мезопротерозойского) возраста. В пределах Восточно-Европейской платформы такие образования известны только в Свеко-Норвежской и Свеко-Фенской областях, но считается, что они не могли являться поставщиками обломочного материала для верхнедокембрийских толщ Южного Урала.

Предполагать же формирование популяции обломочных цирконов в песчаниках бирьянской подсветы, так же как и в песчаниках ашинской серии, за счет «австралийских источников» невозможно, так как замеры направлений падения косых слойков в песчаниках указывают на привнос кластики и в бирьянское, и в лемезинское время с запада и северо-запада [Акимова, 1964, 1967 и др.]. Следовательно, источники цирконов с мезопротерозойскими возрастными располагались вблизи современного Южного Урала (Северокамский блок и районы северо-западнее него?) и были в какой-то степени подобны комплексам гренвиллид Свеко-Норвежской области.

С учетом данных о скоростях накопления отложений разного генезиса время, потребовавшееся для смены пород-источников обломочных цирконов в начале позднего рифея, составляет ~40–50 млн лет. Примерно столько же могли накапливаться и отложения собственно бирьянской подсветы. Таким образом, можно предполагать, что наряду с длительно размывавшимися источниками обломочного материала на востоке Восточно-Европейской платформы в рифее присутствовали и комплексы пород, поставлявшие громадные объемы кластики для осадочных последовательностей Западного Урала в течение очень коротких интервалов времени. Преобладание мезопротерозойских обломочных цирконов в песчаниках бирьянской подсветы предполагает пересмотр представлений о доминировании в фундаменте Волго-Урала кристаллических комплексов архея и палеопротерозоя.

В середине 2010-х гг. в рамках проектов РФФИ «Южноуральский залив вендского моря» и «Котлинский биогеоценотический кризис на границе венда и кембрия: сообщества мягкотелых

организмов и изменяющиеся параметры среды обитания» специалистами из Новосибирска (руководитель — Д.В. Гражданкин) и Екатеринбурга проведены масштабные исследования вендских осадочных последовательностей Южного Урала. В результате исследований по первому проекту удалось показать, что основная часть разреза ашинской серии принадлежит самым верхам венда (котлинский региоюрс) [Гражданкин, Маслов, 2015], что, несомненно, приведет к переосмыслению в будущем ряда устоявшихся представлений об истории формирования отложений самых верхов верхнего докембрия на Южном Урале. Работы по второму гранту позволили сделать вывод о том, что котлинский кризис (интервал времени ~560–540 млн лет назад) был более масштабным, чем это представлялось ранее. Установлено, что указанный кризис объединяет два «кризисных» (короткоживущих) сообщества, а по длительности охватывает беломорский и котлинский века позднего венда. Формирование и расцвет второго кризисного сообщества сопровождалось широким развитием арумбериоморфных текстур. Сопоставление литогеохимических данных и данных о смене сообществ мягкотелых организмов в разрезах венда позволило высказать предположение, что биогеоценоотические изменения и восстановление экосистем, скорее всего, проходили очень быстро, поэтому разрешающая способность литогеохимических методов не позволяет зарегистрировать кратковременные экологические вариации. Сделан вывод, что нестабильность окислительно-восстановительных параметров среды могла обусловить повсеместное распространение в котлинское время арумбериоморфных текстур в приливно-отливных обстановках. Кроме того, способность к быстрому и широкому распространению во время эпизодического развития аэробных обстановок, скорее всего, обеспечила экологический успех и выживаемость таких типичных для эпохи котлинского кризиса организмов, как палеопасцихиды и арбореоморфы. Ревизия списков таксонов эдиакарских мягкотелых организмов по всем местонахождениям и анализ их стратиграфического распространения показали, что биоразнообразие в отдельных регионах сильно завышено. Так, например, оказалось, что для венда Южного Урала характерны только две группы организмов — фрондоморфы и палеопасцихиды, которые характеризуют состояние ископаемой биоты после котлинского кризиса. Анализ присущих «докотлинским», «собственно котлинским» и «посткотлинским» последовательностям венда Восточно-Европейской платформы и ее периферии значений ряда индикаторов среды и обстановок седиментации позволил выяснить, что корреляция между вариациями окружающей среды и фазами котлинского кризиса не наблюдается.

Существенно продвинулись в последние годы исследования сложнодислоцированных (приуроченных к тектоническим зонам различного генезиса) углеродсодержащих пород нижнего и среднего рифея Южного Урала [Ковалев, 2004; Ковлев, Высоцкий, 2006; Ковалев и др., 2009, 2013а, 2013б, 2014, 2016 и др.]. Показано, что вне зависимости от механизма допалеозойского метаморфизма в пределах Башкирского мегантиклинория в позднем венде имело место формирование как зональных комплексов с высокобарическими парагенезисами, так и линейных зон, в которых субстрат был изменен на уровне амфиболитовой и зеленосланцевой фаций. В этих зонах происходило перераспределение вещества при стрессовой (?) динамической нагрузке в условиях мусковит-хлоритовой и эпидот-амфиболитовой субфаций и при существенной роли гидротермальных флюидов. Локальный метасоматоз и метаморфогенное сульфидообразование сопровождалось перераспределением благородных металлов, что привело к формированию Rh специализации метаморфизованных пород, образованию самородного Au, собственно Ag и Ag-содержащих минералов, сульфоселенидов Au и Ag, редкоземельных фаз и U-Th минерализации. Благороднометалльная специализация «фоновых» терригенных образований бурзяния и юрматиния является при этом «первичной», зависящей только от минерального и химического состава источников, поставивших материал в бассейн седиментации [Ковалев и др., 2016]. Привлекаются к этим исследованиям сейчас и данные по изотопному составу кислорода и углерода, как в терригенных породах, так и в ОБ черносланцевых толщ [Ковалев и др., 2017].

Наряду с указанными исследованиями, требующими существенного (по качеству и стоимости) аналитического сопровождения, и вследствие этого имеющими «штучный» характер, все последние годы продолжаются и «обычные» геологические исследования, в первую очередь вендских осадочных ассоциаций [Горожанин и др., 2015, 2016; Горожанин, Канипова, 2017 и др.]. Они привели к расширению представлений о генезисе в первую очередь нижневендских отложений.

Так, например, установлено, что в разрезах толпаровской свиты наряду с микститами предположительно ледникового генезиса присутствует несколько пластов песчаников с подводно-оползевыми деформациями; эти песчаники заполняют промоины/каналы, врезанные в породы с горизонтальной слоистостью. Присутствие подобных образований позволяет рассматривать отложения всей толпаровской свиты как достаточно глубоководные марино-гляциальные [Горожанин, Канипова, 2017].

После значительного перерыва во многом благодаря сотрудничеству специалистов Москвы и Уфы возобновились палеомагнитные исследования верхнедокембрийских, в первую очередь вендских отложений Башкирского мегантиклинория [Голованова и др., 2011; Федорова и др., 2013; Данукалов и др., 2017; Levashova et al., 2013, 2015 и др.]. Представляется, что о значимости полученных в этой области результатов можно будет судить в ближайшем будущем.

Ограниченность объема не позволяет одинаково подробно осветить все аспекты современных исследований верхнедокембрийских отложений западного склона Южного Урала. Так, вне внимания автора осталась минерагения рифея, прошедшая путь от детальных полевых наблюдений до активного привлечения к построению моделей формирования месторождений сведений, полученных при анализе разнообразных изотопных систем. Не нашли отражения представления о современной тектонической структуре Башкирского мегантиклинория, а также данные о несколько более молодом, чем верхи венда, верхнем возрастном пределе ашинской серии и ряд других вопросов....

И это, и все сказанное выше показывает, что верхнедокембрийский разрез западного склона Южного Урала продолжает оставаться в поле зрения исследователей и способен преподнести им еще немало сюрпризов. Надо только научиться понимать проблемы и задавать вопросы...