

С. Ю. Енгальчев

ТЕКСТУРНО-СТРУКТУРНЫЕ ОСОБЕННОСТИ И ГЕНЕЗИС СРЕДНЕДЕВОНСКИХ ПЕСЧАНИКОВ АРУКЮЛАСКОЙ СВИТЫ НА ВОСТОКЕ ГЛАВНОГО ДЕВОНСКОГО ПОЛЯ

Среднедевонские терригенные отложения широко распространены на северо-западе Русской плиты, в пределах Главного девонского поля (ГДП). По составу среди них резко преобладают преимущественно красноцветные песчаники, алевролиты и глины, значительно реже встречаются мергели, доломиты, конгломераты и осадочные брекчии. К настоящему времени литология девонских обломочных отложений на данной территории изучена недостаточно, что препятствует сопоставлению их с разновозрастными отложениями в Прибалтике и Западной Европе.

Цель статьи – изложение результатов палеогеографического анализа узкого стратиграфического интервала – арукюлаского горизонта зйфельского яруса среднего девона, отвечающего в местной стратиграфической схеме одноименной свите. На востоке ГДП среди среднедевонских отложений этот интервал является наиболее ярким представителем терригенных красноцветных отложений.

Статья написана по результатам исследований естественных обнажений арукюлаской свиты по берегам рек Оредеж, Луга, Плюсса и ряда карьеров (рис. 1). Данный район располагается в северной части Псковско-Демьянской структурно-фациальной зоны [1], в пределах южной части Лужской моноклинали.

В ходе полевых работ проводилось детальное описание текстур пород, а для косослойчатых текстур – определение их пространственной ориентировки. В лабораторных условиях методом гранулометрического анализа были изучены структуры песчаных пород.

Стратиграфия. Красноцветные отложения арукюлаской свиты (D_{2ar}) повсеместно залегают на карбонатно-глинистых отложениях наровского горизонта [2]. Идентификация нижней границы свиты затруднена из-за постепенных переходов, чаще всего она проводится по появлению характерных остатков ихтиофауны (роды *Runcosteus*, *Ganosteus*, *Psammolepis*), ясной косой слоистости и глинисто-карбонатных галек подстилающих пород, а также исчезновению известковистости в породах. Верхняя граница четкая и проводится по подошве светлоокрашенных кварцевых песчаников оредежской свиты, буртнийского горизонта среднего девона.

Породы, слагающие свиту, имеют циклическое строение, выраженное чередованием в вертикальном разрезе песчаных, алевропесчаных и маломощных глинистых слоев. Причины такого строения разреза, вероятнее всего, следует искать в изменении уровня вод палеобассейна.

Для свиты характерны плохая выдержанность по простиранию отдельных стратиграфических единиц, отсутствие реперных уровней (за исключением редких маломощных прослоев глиняных конгломератов) и фаунистического разнообразия. Это в значительной степени затрудняет прослеживание отдельных пачек и корреляцию удаленных выходов.

Свиту можно разделить на две пачки: нижнюю и верхнюю.

Нижняя пачка. Сложена преимущественно мелко- и среднезернистыми песчаниками, окрашенными в красно-бурые, розовые и реже желтоватые тона, часто с косой и троговой слоистостью. В породах встречаются слабообкатанные обломки (галки, окатыши) алевролитов, мергелей, доломитов и обломков скелетов панцирных рыб и бесчелюстных, местами придающие им брекчиевидный облик. В верхней части пачки залегают глинисто-алевролитовые разности, слагающие пласт мощностью 20 м. Песчаники характеризуются хорошо выраженной, мно-

гоярусной косо́й сло́йчатостью потокового типа, нередко значительной мощности. Общая мощность нижней пачки — около 60 м.

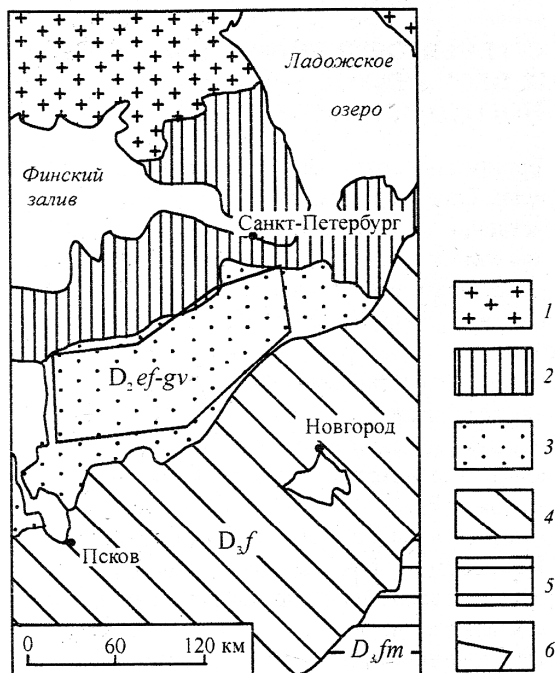


Рис. 1. Геологическая карта-схема района исследования.

1 — магматические и метаморфические пород докембрия Балтийского щита; 2 — додевонские (верхний протерозой — ордовик) осадочные породы чехла Русской плиты; 3 — отложения среднего девона (эйфель-живет); 4, 5 — отложения верхнего девона (4 — фран, 5 — фамен); 6 — район полевых исследований.

Верхняя пачка. В основании пачки преобладают пески и песчаники с косо́й сло́йчатостью потокового типа, которые вверх по разрезу постепенно сменяются пачкой переслаивающихся (от 8–17 до 30 м) пестроцветных глин, мелко-тонкозернистых серых и розовых песчаников и алевролитов. Мощность отдельных прослоев составляет 0,2–1,2 м. Эта часть разреза характеризуется значительной известковистостью пород, местами в ней присутствуют линзы-прослои доломитизированных алевритистых известняков мощностью до 0,6 м. Общая мощность верхней пачки — около 35–55 м. Фаунистические остатки представлены обломками ихтиофауны: *Coccosteus grossi* Obr., *Devonochus concinnus* (Gross), *Naplacanthus marginalis* Ag., *Homostius iatus* Asm., *Pycnosteus palaeiformis* Preobr., *P. pauli* Mark, *Schizosteus asatkini* Obr., *Tartuosteus cf. luhai* Mark., *T. giganteus* (Gross) и др.

Мощность арукюлаской свиты колеблется и составляет от 50–60 м (на северо-востоке) до 100–150 м (на юге).

Минеральный состав пород. Пески и песчаники свиты по содержанию породообразующих минералов на классификационной диаграмме [3] относятся к группам олигомиктовых и кварцевых, реже мезомиктовых песчаных пород. При резком преобладании кварца (69–87%) второстепенных минералов — слюд, полевых шпатов и др. — не превышает 10–15%. Из аксессуарных минералов в песчаных породах присутствуют: алмадин, ставролит, апатит, циркон, турмалин и др. Достаточно часто в породах встречаются слюдяные разновидности — микалиты [4].

Цемент песчаников может состоять из различных типов – железистого, карбонатного (чаще всего это кальцит, реже доломит, сидерит) и глинистого. Как показали рентгенофазовые исследования, глинистые породы арукюлаской свиты почти повсеместно сложены диоктаэдрической гидрослюдой политипа 1М (76–82%), кроме того, в незначительных количествах встречаются каолинит (8–12%) и реже монтмориллонит (1–3%) и хлорит (4–10%). Содержание хлорита в составе глин падает вверх по разрезу. В небольших количествах (первые проценты) в некоторых пробах глин присутствуют карбонат и гипс. Вторичные изменения зерен песчаных и алевропесчаных пород представлены регенерацией кварца и полевых шпатов, деформацией и расслаиванием чешуек слюд и коррозией зерен кварца цементирующим карбонатным веществом. Поздние изменения цемента проявляются во вторичной доломитизации, перераспределении первичного железистого и уплотнении глинистого цемента.

Литолого-фациальная характеристика. Для пород арукюлаской свиты удалось выделить (рис. 2, 3) следующие палеоландшафтные зоны: открытого шельфа, барового пояса (барьерных островов), закрытого шельфа [5]. На *открытом глубоком шельфе* накапливались темно-серые и серые массивные, горизонтально слоистые глины. В них наблюдаются тонкие линзовидные прослои серых и пестроцветных мергелей, доломитов, кварцевых известковых тонкозернистых песков и песчаников, с пологоволнистой слоистостью. Образования *открытого мелководного шельфа* представлены тонкослоистым и линзовидно-полосчатым чередованием светло-серых, светло-желтых, розовых и красно-коричневых тонко- и мелкозернистых слюдистых песков и песчаников с зеленовато- и буровато-серыми алевритами (алевролитами) и зеленовато-серыми иногда пестроцветными, нередко известковыми глинами. Породы содержат остатки морской фауны и линзочки известняков. Отложения *зоны барьерных островов (баров)* сложены красноцветными тонко-, мелко- и среднезернистыми иногда слабо известковистыми песками и песчаниками с более или менее отчетливо выраженной пологой косою разнонаправленной слоистостью, редким гравием известковых пород, остатками панцирных рыб. Зона *подвижного мелководья на закрытом шельфе* характеризуется широким развитием красных и красно-бурых, тонко- и мелкозернистых песков и песчаников. Последние обычно слабо глинистые с пологоволнистой и субгоризонтальной слоистостью. Пачки песков разделяют слои красных, фиолетовых и пестроцветных глин. С зоной *закрытого малоподвижного мелководья закрытого шельфа* связаны красные и пестроцветные, обычно массивные глины с тонкими линзовидными прослоями красных и красно-коричневых глинистых алевритов (алевролитов) и тонкозернистых песков и песчаников.

В пределах изученного участка (рис. 3) прослеживаются только три зоны: открытого мелководного шельфа, баров (барьерных островов) и закрытого мелководного шельфа. Последняя зона, в свою очередь, подразделяется на две подзоны: подвижную и малоподвижную и развита на юге Оредежско-Плюсского междуречья в виде отдельного пятна. По характеру распространения пород можно сделать вывод о том, что зона закрытого мелководного шельфа продолжалась в северном направлении. Зона баровых фаций образует на карте несколько изогнутых петель, создавая своеобразный пояс, охватывающий более мелководную забаровую зону. Ширина баровой зоны варьирует в широких пределах и, вероятнее всего, мигрировала во времени, в связи с чем ее граница в некоторой степени условна.

О нормально-морском характере вод арукюлаского палеобассейна свидетельствует ряд фактов: а) находки зерен глауконита; б) повышенное содержание карбонатного материала в породах в виде цемента и карбонатных конкреций; в) присутствие остатков ихтиофауны; г) находки беззамковых брахиопод и мшанок. Все признаки типичны для морских мелководных бассейнов аридной (семиаридной) зоны [6]. В северной части палеобассейна можно

предполагать уменьшение солености вследствие поступления с палеоконтинента значительного количества пресных вод.

Текстуры пород. При описании текстур в естественных обнажениях особое внимание уделялось сингенетическим, седиментационным текстурам, однако в породах можно наблюдать более поздние, наложенные текстуры (кольца Лизеганга, карбонатная цементация). Большинство седиментационных текстур выделяется в обнажениях благодаря скоплению на поверхности слоек слюды, глинистых примазок и темноцветных минералов.

«Шариковые» (глобуляровые, гороховые) цементационные образования, диаметром от 1,5–2 до 3–4 см, называемые в геологической литературе *журавчиками*, могут считаться достаточно типичными для девонских терригенных отложений. Они рассеяны по толще или срastaются, образуя более крупные выделения. Петрографические исследования показали, что последние представляют собой разновидность песчаников с пойкилобластовым кальцитовым цементом. Журавчики установлены в трансгрессивных частях разрезов и нередко прослеживаются на некоторое расстояние. Изредка в породах наблюдаются участки пластовой карбонатной цементации, имеющие овальную или сплюснутую форму.

1. *Зона мелководного закрытого шельфа.* Для песчаных пород свойственно относительно более высокое содержание глинистой и алевритовой составляющих. Присутствуют единичные маломощные прослои глин и редкие линзы сильно глинистых доломитов. В породах наблюдается разнообразная косая (разного масштаба и строения), разномасштабная троговая (мульдообразная), горизонтальная и субгоризонтальная слоичатость. Наиболее крупная косая слоичатость может достигать мощности в несколько метров. Присутствие такого комплекса текстур свидетельствует о высокой динамичности придонной обстановки и миграции по дну водоема подводных валов-дюн различной конфигурации [7].

Мелкомасштабная (3–5 см) косая и троговая слоичатость ассоциируется с тонкозернистыми, глинистыми песчаниками, с прослоями песчаных глин. Данные образования, несомненно, фиксируют затишные обстановки с незначительной активностью придонных вод, связанные, вероятнее всего, с понижениями рельефа дна. С этими фациями ассоциируют единичные биотурбационные текстуры [8]. Они представлены следами ползания в виде немногочисленных слабо извилистых холмиков. Высота валиков достигает 2–3 мм, при их протяженности в среднем около 6–10 см.

Наиболее интересными в генетическом аспекте следует считать особые «глиняные мелкогалечные конгломераты», развитые только в данной зоне. Это массовые скопления окатышей и галек, сложенных глинистым (песчано-глинистым) материалом. Такие окатыши заполняют эрозионные трог-врезы в массивные песчаные пласты или образуют самостоятельные линзы мощностью 30–50 см, протягивающиеся на десятки метров. В пределах некоторых линз наблюдается градиционная слоистость, свидетельствующая об одноактности их формирования. Наряду с ними в песчаниках присутствуют единичные гальки и окатыши глинистого состава размером от 0,2 до 5 см.

2. *Зона баров (барьерных островов).* Для песчаников данной зоны характерна горизонтальная и пологонаклонная, разномасштабная косая и троговая (мульдообразная) слоичатость. В целом породам свойственно незначительное количество глинистых прослоев и галек, сложенных глинистым материалом.

Крупномасштабная (мощностью 70–150 см) косая слоичатость рассматриваемой зоны, интерпретируемая нами как слоистость пляжевого напластования, является отличительной чертой отложений подводной части пляжа [9]. Чаще всего она подчеркнута скоплением по слоистости тяжелых минералов, глинистых примазок и редких галек глини или детрита, состоящего из фрагментов наружного скелета панцирных рыб. Слоичатость тонкая и различается в обнажениях с трудом. Слойки в пределах таких крупных серий часто волнистые и в ряде слоев могут быть распознаны валики ряби. С ней ассоциирует разнообразная мелкая косая слоичатость, в том числе косвенного типа мощностью 20–60 см. Последняя образовалась на подводной поверхности пляжа при миграции по дну водоема песчаных валов-гряд.

3. *Зона открытого шельфа.* В песчаных породах развита горизонтальная, разномасштабная косая и троговая слоичатость. Наличие крупной (мощность 60–85 см) косой и мульдообразной слоичатости говорит о наличии сильных придонных течений, перемещающих по дну значительные массы обломочного материала в виде крупных валов-дюн.

В качестве уникальных, свойственных только данной зоне, можно назвать уровни местного размыва. Они представляют собой неровную эродированную поверхность, в углублениях которой наблюдается скопление галек и валунов глин, массивных остатков панцирных рыб. Такие поверхности встречаются локально и прослеживаются в обнажениях на расстояние в первые сотни метров. В целом породы обогащены тонким материалом. Песчаные породы часто переслаиваются с тонкослоистыми карбонатными глинами и реже мергелями.

Результаты исследования структуры пород. При литолого-палеогеографических и фациальных исследованиях гранулометрический состав пород служит индикатором динамики среды осадконакопления и может являться основой дробного фациального районирования. Для уточнения структурных особенностей пород и определения их генезиса по стандартной схеме был выполнен ситовой 19-фракционный гранулометрический анализ

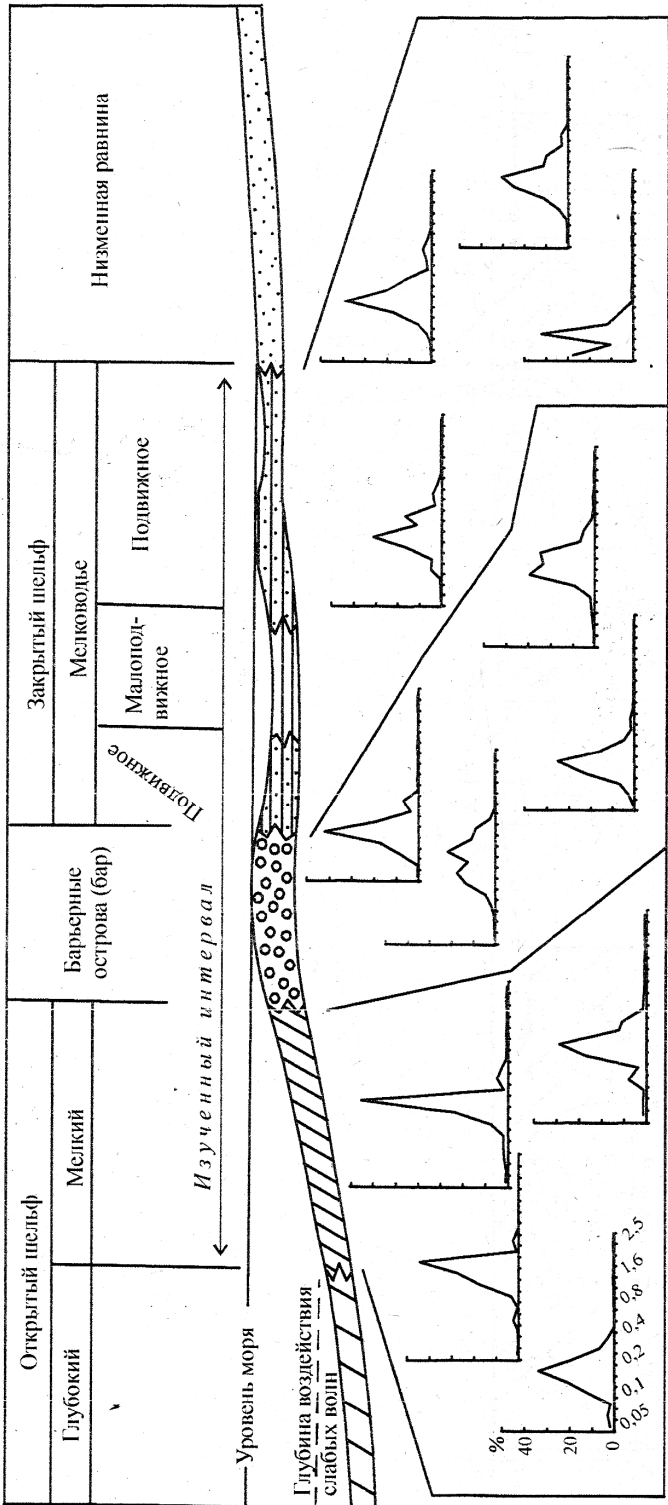


Рис. 2. Литолого-фациальный профиль через шельф, с преимущественно терригенным типом осадконакопления (построен с использованием [5]). Приведены некоторые типичные гранулометрические спектры распределения алювосесчаных пород аруколаской свнты (по вертикали – содержание (вес. %), по горизонтали – размер фракций (мм)).

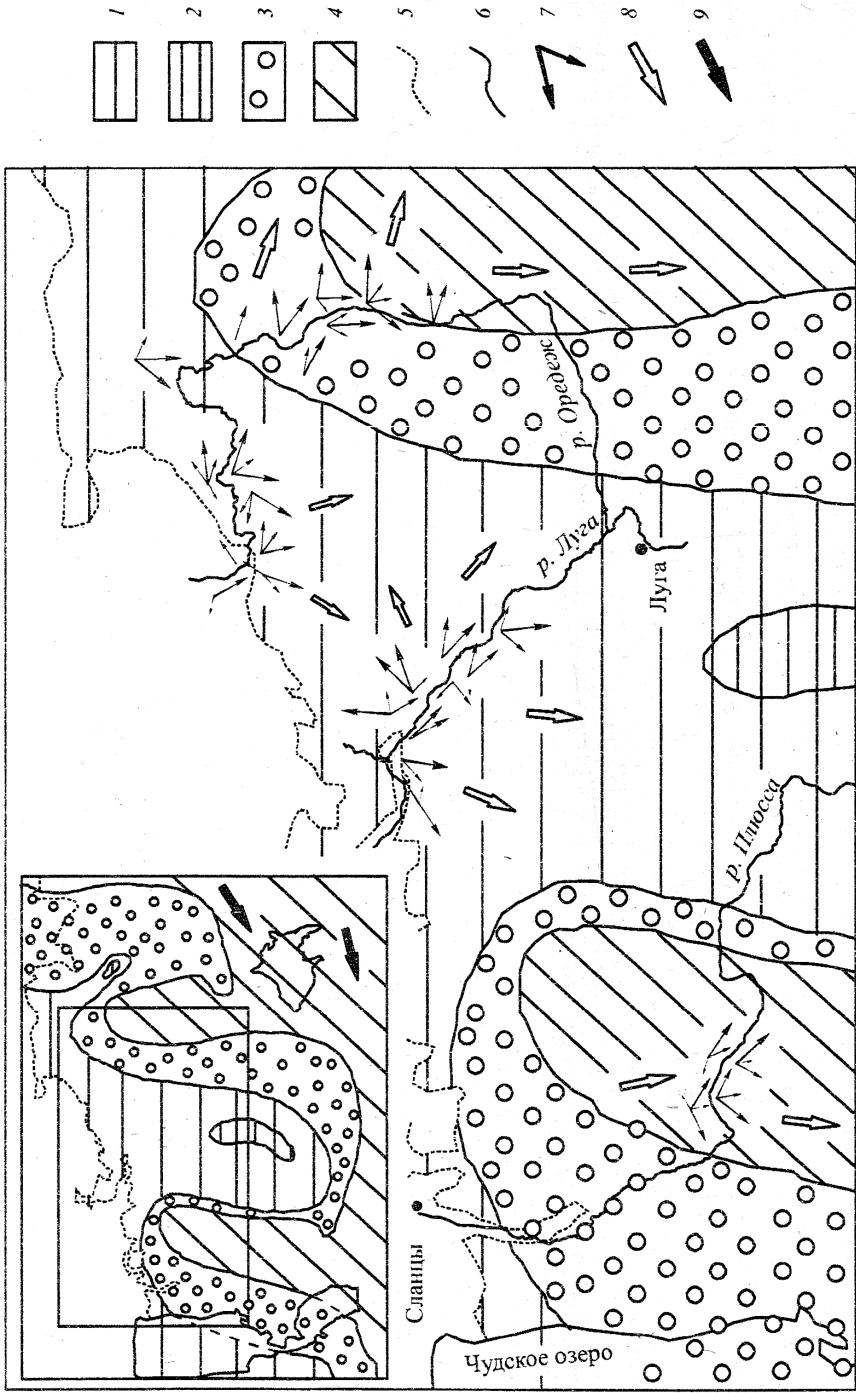


Рис. 3. Карта-схема направлений палеотечений в аруклоасском палеобассейне.
 1, 2 - зона закрытого шельфа (1 - подвижное и 2 - малоподвижное мелководье); 3 - зона баров; 4 - зона открытого шельфа; 5 - северная граница распространения аруклоасской свиты; 6 - границы палеоландшафтных зон; 7 - локальные направления палеотечений; 8 - генерализованные направления палеотечений; 9 - вдольбереговое течение.

(24 образца – из области закрытого шельфа, 11 – из баровой зоны и 8 – из зоны открытого шельфа). Значительная часть полученных кривых распределения имеет полимодальный характер, что препятствует использованию статистических параметров (асимметрия, эксцесс и др.). Выявление динамических типов песков проводилось по методике, разработанной Б. Н. Котельниковым [10].

В целом песчаные отложения арукюлаской свиты характеризуются среднезернистой структурой, зерна полуокатанные (реже среднеокатанные), различной степени сортировки. Вверх по разрезу свиты заметно увеличение количества окатанных зерен. По результатам гранулометрических исследований установлено, что в каждой зоне можно выделить несколько типов кривых распределения, часть из них индивидуальны, а некоторые кривые распространены и в соседних зонах и могут считаться фоновыми. В качестве фоновых можно рассматривать типы кривых, для которых свойственны слабая сортировка, отчетливая полимодальность при господстве фракций 0,16–0,2 и 0,25–0,315 мм, а также продукты их частичного преобразования.

Из-за высокой гидродинамики среды осадконакопления, частой смены в пространстве границ ландшафтных зон, непостоянства рельефа и изменчивости направления палеотечений в бассейне происходило смешение обломочного материала из разных зон и как следствие усложнение спектра кривых распределения, что препятствует диагностике отдельных генетических типов.

Подавляющее количество образцов из зоны закрытого шельфа интерпретируется как прибрежно-морские пески подводного берегового склона и пляжа, в меньшем количестве развиты пески слабых морских течений. Пробы из зоны барьерных островов диагностируются как пески пляжа и подводного берегового склона, а образцы из зоны открытого шельфа преимущественно определяются как пески постоянных и сильных морских течений и подводного берегового склона. Результаты, полученные с использованием метода Б. Н. Котельникова, хорошо согласуются с имеющимися материалами как по текстурам пород, так и по распределению и фациальной принадлежности выделенных ландшафтных зон.

Проведенные исследования свидетельствуют о том, что весь песчаный материал арукюлаской свиты в той или иной мере подвергался пляжевой обработке. Ряд исследователей полагают [9], что большинство древних морских шельфовых песков в более ранние циклы прошли через обстановку пляжа или островных баров. Сходное мнение высказывал Л. Б. Рухин [10] в отношении песчаных пород палеозоя Ленинградской области.

С целью выявления характерных черт поверхности песчаных зерен были проведены морфоскопические исследования поверхности обломочных зерен для двух образцов песчаников с использованием растрового электронного микроскопа (РЭМ). С песчаных зерен узкой размерной фракции 0,25–0,315 мм раствором 0,1н. соляной кислоты были удалены железистые пленки. На поверхности каждого зерна с помощью РЭМ было установлено проявление ряда разнообразных, сугубо индивидуальных особенностей поверхности. Значительно слабее развиты такие формы микрорельефа, которые свойственны всей совокупности зерен данного образца. Развитые на поверхности некоторых зерен коррозии и растворения часто затушевывают более ранние морфоструктуры. Для поверхностей зерен свойственно широкое развитие механических повреждений в виде глубоких вытянутых прямолинейных канавок-борозд, выбоин и ямок. Все эти признаки свидетельствуют об транспортировке зерен, при которой происходило их интенсивное механическое взаимодействие.

Сравнение наблюдаемых признаков поверхности зерен с накопленными данными об их фациальной природе [12, 13] подтверждают прибрежно-морской генезис песчаников. В целом полученные данные хорошо согласуются с петрографическими наблюдениями в шлифах и под бинакуляром, а также с результатами других исследований.

Палеотечения в арукюласком палеобассейне. На основании около 1200 авторских замеров ориентировки косослойчатых текстур в естественных обнажениях удалось реконструировать направление палеопотоков. Используемая методика выполнения замеров и их обработки подробно описана в литературе.

В пределах изученной части палеобассейна не установлены резкие изменения в направлении палеопотоков при их общей направленности на юг и юго-восток, от области сноса (южной части Балтийского щита) в сторону морского бассейна. Полученные результаты в целом согласуются с данными, приведенными другими исследователями, в частности В. М. Куршса [6, 7], базирующимися на единичных замерах. Однако имеющиеся данные (см. рис. 3) показывают более сложную картину распределения водотоков, чем предполагалось ранее.

Для мелководной зоны закрытого шельфа наблюдается максимальная изменчивость в направленности палеотечений и не удается выделить общего направления палеотечений. Это обусловлено, вероятно, тем, что течения в этой мелководной зоне могли генерироваться ветром. Возможно, сезонный характер ветра приводил к возникновению местных (сезонных) течений. Движущиеся по мелководью валы-дюны соединялись друг с другом, образуя мели, которые осложняли местные системы палеотечений. При этом формировались затишные (малоподвижные) мелководные, изолированные от течений участки дна, где некоторое время аккумуляровался тонкозернистый и алевропелитовый материал. Формированию стремительных водных потоков, способных переносить большие массы рыхлого обломочного материала с суши, способствовало увеличение объема атмосферных осадков. Сходная картина наблюдается на современных шельфовых равнинах.

В зоне барьерных островов господствовали палеотечения, направленные в сторону открытого морского бассейна. Для роз-диаграмм падения косой слойчатости песчаников данной зоны типична большая однонаправленность. Вероятнее всего, между барьерными островами существовали протоки, по которым водные массы перемещались в сторону открытого шельфа.

В пределах зоны открытого шельфа, вдающейся в виде своеобразных заливов (рис. 3, врезка), преобладали местные течения, связанные с циркуляцией водных масс в заливах. Здесь происходило смешение вод, поступающих с барьерных островов и из забаровой зоны, с водами открытых частей бассейна. В более удаленной области шельфа, вероятнее всего, существовало устойчивое вдольбереговое течение, направленное вдоль палеоконтинента. Оно реконструируется по результатам рассмотрения общей палеогеографической ситуации арукюлаского интервала и распространения баровых фаций по площади. Сравнение полученных данных со схемами течений в современных шельфовых областях свидетельствует об их сходстве.

Таким образом, можно заключить, что гидродинамическая обстановка арукюлаского палеобассейна на востоке Главного девонского поля характеризовалась значительной подвижностью вод и постоянным перемещением по поверхности дна дюн, сложенных рыхлым песчаным материалом, под действием мощных придонных течений. На фоне общей высокой активности среды существовали изолированные участки спокойных, слабо динамичных условий, в которых отлагались тонкозернистые песчаные, алевропесчаные и глинистые илы различной степени песчанности. На таких участках обитали угнетенные терригенным прессингом бентосные сообщества илоедов, брахиопод, кораллов и мшанок, о чем свидетельствуют их единичные находки. В то же время костные останки панцирных рыб и бесчелюстных, обитавших в условиях активной гидродинамики, достаточно широко распространены в породах свиты. Мелкие чешуйки, остатки зубов и фрагменты наружного скелета небольшого размера часто встречаются в породах, концентрируясь в подвалье косых серий, в основании глинистых и алевролитовых пачек, соответствующих депрессиям дна.

На большинстве фоссилий из песчаных прослоев наблюдаются следы многочисленных царапин, говорящие о их окатывании и истирании.

Автор благодарит проф. Е. Г. Панову (СПбГУ) и В. Р. Вербицкого (ВСЕГЕИ) за предоставленные материалы, а также П. В. Федорова (СПбГУ) за ценные советы по материалам публикации.

Summary

Engalychev S. Y. Structural-textural features and genesis sandstones of Arukula formation (Middle Devonian) on the east of Main Devonian Field.

In the east of the Main Devonian Field (northwestern Russia) red terrigenous deposits are widespread. The most typical formation among them is known as Arukula formation. The author studied in detail many natural outcrops along banks of the Oredej, Luga, Plussa rivers, and summarized the results of drilling in this region. Based on the analysis of the collected material the author determined and traced three facies zones corresponding to a closed shelf, barrier islands and an open shelf within the bounds of the Arukula formation. Sandstones deposited in these three facies zones differ in its structural-textural features. The complex use of data about textures and structures of the beds (19-sieves grain-size analysis, morphology of grain surface by electron microscopy and others) allowed the author to work out in detail dynamic conditions of sedimentation. Numerous measurements of cross-bedding orientation gave a chance to reveal local paleocurrents in the Arukula basin.

Литература

1. *Легенда* Ильменской серии листов Государственной геологической карты Российской Федерации масштаба 1:200 000 (изд. 2-е) / Ред. В. П. Кириков. СПб., 1999.
2. *Геология СССР*: В 30 т. / Отв. ред. А. Э. Якобсон. Т. 1: Ленинградская, Псковская, Новгородская области. М., 1971.
3. *Шванов В. Н.* Петрография песчаных пород (компонентный состав, систематика и описание минеральных видов). Л., 1998.
4. *Панова Е. Г., Шванов В. Н.* Среднедевонские микалиты р. Оредеж // *Литология и полезные ископаемые*. 2000. № 4.
5. *Македонов А. В.* Методы литофациального анализа и типизации осадков гумидных зон. Л., 1985.
6. *Курис В. М.* Девонское терригенное осадконакопление на Главном девонском поле. Рига, 1992.
7. *Курис В. М.* Литология и полезные ископаемые терригенного Главного девонского поля // *Вестн. С.-Петерб. ун-та. Сер. 7: Геология, география*. 2003. Вып. 3 (№ 23).
8. *Энгальчев С. Ю.* Новые данные об икхотекстурах из песчаных отложений Главного девонского поля // *Вестн. С.-Петерб. ун-та. Сер. 7: Геология, география*. 2003. Вып. 3 (№ 23).
9. *Петтиджон Ф., Поттер П., Сивер Р.* Пески и песчаники / Пер. с англ.; Под ред. Б. Н. Котельникова. М., 1976.
10. *Котельников Б. Н.* Реконструкция генезиса песков: Гранулометрический состав и анализ эмпирических полигонов распределения. Л., 1989.
11. *Рухин Л. Б.* Закономерности строения и состава песчаных толщ Ленинградской области // *Учен. зап. Ленингр. ун-та*. 1949. Вып. 17.
12. *Krinsley V. H., Donahue K.* Environmental interpretation of sand grain surface texture by electron microscopy // *Geol. Soc. Amer. Bull.* 1968. Vol. 79, N 6.
13. *Porter J. J.* Electron microscopy of sand surface texture // *J. of Sedimentary Petrology*. 1962. Vol. 32, N 1.

Статья поступила в редакцию 20 февраля 2005 г.