

На правах рукописи



Мельничук Олег Юрьевич

**Верхнедевонские терригенные отложения среднего сегмента
Восточно-Уральской мегазоны: особенности вещественного
состава и условия осадконакопления**

Специальность 25.00.06 – литология

Автореферат диссертации
на соискание ученой степени
кандидата геолого-минералогических наук

Москва – 2022

Работа выполнена в лаборатории литологии Федерального государственного бюджетного учреждения науки Института геологии и геохимии им. академика А. Н. Заварицкого Уральского отделения РАН (ИГГ УрО РАН), г. Екатеринбург.

Научный руководитель:

доктор геол.-мин. наук,
главный научный сотрудник
лаборатории литологии ИГГ УрО РАН

Мизенс Гунарс Андреевич

Официальные оппоненты:

доктор геол.-мин. наук, профессор,
заведующий кафедрой осадочной
геологии Института наук о Земле СПбГУ

Шишлов Сергей Борисович

кандидат геол.-мин. наук,
ведущий научный сотрудник,
заведующий лабораторией литологии
и геохимии осадочных формаций
Института геологии им. Н. П. Юшкина
Коми НЦ УрО РАН

Салдин Виктор Алексеевич

Ведущая организация: ФГБУН Институт нефтегазовой геологии и геофизики им. А. А. Трофимука СО РАН.

Защита состоится 6 июня 2022 г. в 11.00 на заседании диссертационного совета Д 002.215.02 при ФГБУН Геологическом институте РАН по адресу: 119017, Москва, Пыжевский пер., 7, стр. 1; конференц-зал (4 этаж).

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке геологической литературы Секции наук о Земле по адресу: Москва, Старомонетный пер., д. 35 (здание ИГЕМ РАН) и на сайте ГИН РАН:

http://ginras.ru/struct/19/10/files/Диссертация_Мельничук_ОЮ_19.03.2022.pdf

Отзыв в двух экземплярах, оформленный в соответствии с требованиями ВАК, просим направлять по адресу: 119017, Москва, Пыжевский пер., 7, стр. 1, ГИН РАН. тел. +7 (495) 959-34-96. E-mail: loam@mail.ru

Автореферат разослан «__» апреля 2022 г.

Ученый секретарь
диссертационного совета
кандидат геол.-мин. наук

Латышева Ирина Валерьевна

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы исследования. Геодинамическая ситуация, существовавшая в позднем девоне на Восточном Урале (палеоокеаническом/палеоостроводужном секторе Урала по [Иванов, 1998] и др.), являлась достаточно сложной. Предполагается, что в конце франского–фаменское время, а затем в карбоне, произошла косая коллизия Восточно-Европейского континента и Магнитогорской островной дуги [Иванов, 1998; Пучков, 2000; Puchkov, 2009]. В связи с этим особый интерес представляет восстановление бассейнов и обстановок осадконакопления, существовавших до и во время коллизионных процессов, в частности, на территории Среднеуральского сегмента современной Восточно-Уральской мегазоны (ВУМЗ). Некоторую ясность в историю развития упомянутых бассейнов на указанной территории вносит изучение верхнедевонских отложений ВУМЗ, к которым относятся породы терригенных кодинской и устькодинской свит, вулканогенных и вулканогенно-осадочных маминской, клевакинской, кондихинской, восточносафьяновской и мосинской толщ, башкарской свиты, карбонатных сохарёвской и чепчуговской свит.

Генезис вулканогенных и вулканогенно-осадочных образований, а также карбонатных толщ представляется достаточно ясным, чего нельзя сказать о терригенных комплексах. В качестве примера можно привести вопрос об условиях накопления кодинской свиты: в относительно детальных литологических исследованиях [Анфимов, Чувашов, 2005; Чувашов, Анфимов, 2008] они описаны как мелководно-морские и дельтовые, в то же время при реконструкциях более общего характера [Пучков, 2000; Смирнов и др., 2003] выдвинуто предположение об их глубоководном генезисе.

Цели и задачи. Цель работы заключается в уточнении условий осадконакопления и палеотектоники среднего сегмента Восточно-Уральской мегазоны в позднем девоне. Для её достижения необходимо было решить следующие задачи:

1. Изучение наиболее представительных обнажений кодинской и устькодинской свит с проведением полевого описания и отбором проб на различные виды исследований.

2. Установление фациального состава кодинской и устькодинской свит.

3. Определение вещественного состава (петрографической, геохимической и минералогической характеристики) терригенных отложений кодинской и устькодинской свит, сравнение их с аналогами и референтными объектами, реконструкция основных источников сноса.

4. Изучение постседиментационных изменений песчаников и аргиллитов кодинской и устькодинской свит.

5. Реконструкция условий осадконакопления и породообразования с последующим уточнением различных аспектов тектонической и геодинамической ситуации, существовавшей для толщ, ныне обнажающихся в пределах ВУМЗ.

Научная новизна. 1. Впервые детально изучены структурно-текстурные особенности и вещественный состав кодинской и устькодинской свит Восточно-Уральской мегазоны. 2. В отношении кодинской свиты установлено формирование в мелководных морских условиях, выделены обстановки субаквальной части дельты (проксимальные и дистальные части фронта дельты и продельты) и мелководно-морской равнины. 3. Показано, что в устькодинское время седиментация происходила в пределах глубоководной осадочной системы. 4. Установлено, что источником сноса для рассматриваемых образований являлись блоки композитной коры, а не островная

дуга. 5. Обосновано предположение о том, что время накопления кодинской свиты соответствует началу позднедевонских аккреционных процессов на восточном склоне Среднего Урала. 6. Определена позднекатагенетическая степень постседиментационных преобразований и выявлены регрессивно-литогенетические вторичные изменения пород кодинской и устькодинской свит.

Практическая и теоретическая значимость работы. Полученные данные могут быть использованы при проведении разномасштабных геологосъемочных работ и тематических исследований, в том числе при изучении нефте- и газопродуктивных объектов, имеющих дельтовый и глубоководно-морской генезис, а также для уточнения существующих государственных геологических карт рассматриваемых районов. Аргументированная в диссертации обширным фактическим материалом модель процессов и обстановок седиментации позднедевонского бассейна вносит вклад в изучение истории развития, палеогеографии и палеотектоники среднего (Среднеуральского) сегмента ВУМЗ.

Автор диссертации полагает, что методика поэтапной интерпретации геохимических особенностей глинистых пород с целью реконструкции петрофонда, палеоклимата на водосборах и геодинамических обстановок, а также гидрофаций, продемонстрированная в настоящей работе и кратко описанная в [Мельничук, 2020] будет полезна студентам, аспирантам и начинающим исследователям, заинтересованным в данной тематике, и поможет им избежать механистического подхода к обозначенной процедуре и противоречивых выводов. Вероятно, полезной будет и диаграмма $\lg(\text{Fe}_2\text{O}_3 + \text{MgO})/(\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O}) - \lg(\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3)$ [Мельничук, 2018], разработанная для песчаников.

Положения, выносимые на защиту.

1. Верхнефранская кодинская свита Восточно-Уральской мегазоны накапливалась в обстановках фронтальной части дельты, продельты и мелководно-морской равнины, в основном при взаимодействии речных и волновых процессов. При образовании отдельных толщ значимую роль играли экстра- и интрабассейновые гиперпикнальные потоки.

2. Фаменская устькодинская свита Восточно-Уральской мегазоны представляет собой отложения глубоководных конусов выноса, осадочный материал в которые поставляли высоко- и низкоплотностные мутьевые, а также обломочные потоки и оползни.

3. Кодинская и устькодинская свита образовались за счет размыва единого петрофонда, в состав которого входили магматические и кремневые породы, метаморфизованные образования (сланцы, кварциты, серпентиниты). Массивы указанных пород располагались на различном расстоянии от приёмного бассейна, существовавшего в пределах формирующейся аккреционной окраины Восточно-Европейского континента.

Степень достоверности и апробация результатов. Достоверность результатов обеспечена большим объемом полевых работ (описано свыше 1000 м разрезов и обнажений), значительным количеством изученных образцов и проб горных пород, комплексным сочетанием современных аналитических и классических методов изучения осадочных образований (изучено более 160 шлифов, порядка 70 рентгено- и 50 дериватограмм, проинтерпретированы результаты рентгенофлуоресцентного анализа и анализа методом ICP-MS для более чем 70 проб), их воспроизводимостью и сравнением с новыми и новейшими данными, полученными в мировой практике.

Основные достижения диссертации и положения, выносимые на защиту, докладывались и представлялись на полевых отчетах и теоретических семинарах

лаборатории литологии ИГГ УрО РАН, конференциях и совещаниях регионального и всероссийского уровня. В их числе: Всероссийская школа студентов, аспирантов и молодых ученых по литологии (Екатеринбург, 2014, 2016); Всероссийское литологическое совещание (Москва, 2015; Казань, 2019); Научные чтения памяти П. Н. Чирвинского “Проблемы минералогии, петрографии и металлогении” (Пермь, 2016, 2017); XXVII Всероссийская молодежная конференция с участием исследователей из других стран “Строение литосферы и геодинамика” (Иркутск, 2017); Научные чтения “Экзолит”, посвященные памяти О. В. Япаскурта и Г. Ф. Крашенинникова (Москва, 2018, 2019); VI Всероссийская молодежная геологическая конференция с международным участием “Геология, геоэкология и ресурсный потенциал Урала и сопредельных территорий” (Уфа, 2018); IX Сибирская конференция молодых учёных по наукам о Земле (Новосибирск, 2018); Пятая всероссийская конференция “Верхний палеозой России” (Казань, 2019).

По теме диссертации опубликовано 28 работ, в том числе 5 статей в рецензируемых журналах из списка ВАК.

Личный вклад автора. Автор участвовал в полевых работах в течение сезонов 2014–2021 гг., в ходе которых были описаны и изучены основные/представительные обнажения кодинской и устькодинской свит в пределах Алапаевско-Теченской зоны ВУМЗ, а также отобраны пробы на различные виды камеральных исследований. Лично автором выполнена пробоподготовка, описание шлифов терригенных пород, интерпретация полученных полевых и лабораторных данных. Последняя заключалась в (1) построении седиментологических и сводных колонок изученных толщ, (2) выделении литотипов, объединении их в слоевые ассоциации с последующим фациально-генетическим анализом, в том числе выявлением особенностей строения бассейна седиментации; (3) выделении петротипов и хемотипов песчаных и глинистых пород, изучении особенностей их вещественного состава с выполнением реконструкции особенностей седименто- и литогенеза; (4) синтезе полученной информации, построении локальных геодинамических схем.

Структура и объем диссертации. Диссертационная работа объемом 241 страницу состоит из введения, пяти глав, заключения, 59 рисунков и 10 таблиц, пяти приложений. Список литературы включает 263 наименования.

Благодарности. Автор выражает искреннюю благодарность своему научному руководителю д. г.-м. н. Г. А. Мизенсу (ИГГ УрО РАН), признательность и огромную благодарность сотрудникам ИГГ УрО РАН д. г.-м. н.: чл.-корр. РАН А. В. Маслову, д. г.-м. н. Г. А. Петрову, к. г.-м. н. Л. В. Бадида (Кокшиной), С. А. Дубу (Сапурину), И. Г. Закирьянову, к. г.-м. н. Е. Н. Волчек, к. г.-м. н. М. Т. Крупенину, к. г.-м. н. Г. Ю. Шардаковой, к. г.-м. н. Т. Я. Гуляевой, А. Д. Рянской, к. г.-м. н. А. В. Коровко, к. г.-м. н. Л. И. Мизенс и к. г.-м. н. А. Г. Мизенс; к. г.-м. н. Фазлиахметову А. М. (ИГ УФИЦ РАН) и д. г.-м. н., профессору РАН Д. В. Гражданкину (ИНГГ СО РАН).

Отдельное спасибо моей жене и родителям за поддержку и понимание.

Работа выполнена в рамках темы АААА-А18-118053090044-1 государственного задания ИГГ УрО РАН и при поддержке проектов УрО РАН № 15-18-5-36 и № 18-5-5-11, гранта РФФИ № 16-35-00263 мол_а.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во **Введении** обозначена актуальность темы исследования, цели и задачи работы, её структура, научная новизна и практическая значимость, сформулированы защищаемые положения. Приведены краткие сведения о фактическом материале, апробации результатов.

ГЛАВА 1. ВЕРХНЕДЕВОНСКИЕ ОТЛОЖЕНИЯ СРЕДНЕУРАЛЬСКОГО СЕГМЕНТА ВОСТОЧНО-УРАЛЬСКОЙ МЕГАЗОНЫ

В главе кратко рассмотрены события, произошедшие в позднедевонское время на Земле (**раздел 1**), основные черты геологического строения и истории формирования структурных элементов среднего сегмента Восточно-Уральской мегазоны (**раздел 2**), краткая история изучения верхнедевонских отложений этой мегазоны (**раздел 3**), более полно – их стратиграфия и условия накопления (**раздел 4**).

Согласно [Golonka, 2020] в позднедевонское время в ходе раскрытия Палеотетиса (началось в раннем девоне) происходит продвижение различных тектонических элементов (с образованием зон субдукции) в сторону Восточно-Европейского и Сибирского континента, Североказахстанского террейна. Исследуемая область, как в соответствии с этими реконструкциями, так и более ранними [Мизенс, Свяжина, 2007; Свяжина, Петров, 2011] находилась в приэкваториальных широтах. Именно в это время образовалась аккреционная окраина Восточно-Европейского континента в результате причленения к ней Магнитогорской островной дуги и восточноуральских террейнов. Для Среднего и Северного Урала начало аккреции было датировано границей фран/фамен (F/F) [Петров и др., 2008].

В качестве ВУМЗ мы вслед за В. Н. Смирновым с соавторами [2003] понимаем несколько зон и блоков кристаллических пород (сегментов земной коры), находящихся в современных координатах восточнее Тагильской (мега)зоны (см. схему на рисунке 1) и ограниченных с востока Карталинским разломом.

Наиболее древними (позднепротерозойскими) образованиями в строении ВУМЗ являются толщи в составе Мурзинско-Адуйской, Салдинской и Сысертско-Ильменогорской зон. По мнению Г. А. Петрова [2017] блоки, входящие в состав Мурзинско-Адуйского комплекса, до рифтогенеза в позднерифейское и ранне-среднеордовикское время могли быть частью единого микроконтинента. Вендско-раннекембрийский возраст предполагается для плутонических пород офиолитовой ассоциации и ультрамафит-мафитовых комплексов, развитых в Медведевско-Арамилской (МАЗ) и Алапаевско-Теченской зонах [Петров и др., 2010; Смирнов, 2012]. Происхождение последних связано с эпизодами магматизма, предшествовавшими формированию Уральского подвижного пояса. Последующая история рассматриваемого региона включает в себя магматические проявления различного типа – задугового (в основном поздний ордовик–ранний силур), островодужного (поздний эмс–ранний фран), окраинно-континентального (фамен–ранний карбон), коллизионного (башкир–поздняя пермь) и траппового (ранний триас). В разрезе они представлены вулканогенными и вулканогенно-осадочными толщами, интрузиями в комплексах других пород [Смирнов, 2012].

Терригенные, карбонатные и терригенно-карбонатные толщи распространены в МАЗ и Алапаевско-Теченской зоне (АТЗ) в силурийско–среднекаменноугольном возрастном диапазоне [Государственная..., 2011]. Для большинства палеозойских вулканогенных и осадочных ассоциаций, обнаруживаемых в ВУМЗ, предполагается аллохтонное залегание, возможно, они образуют аккреционные скопления [Иванов, 1998; Язева, Бочкарев, 1998; Пучков 2000, 2010]. Рассматриваемые доюрские образования на территории ВУМЗ нередко перекрыты терригенными толщами различного генезиса (континентального, прибрежно-морского, морского), возраст которых варьирует от раннемелового до четвертичного [Пучков, 2000, 2010].

Изучение верхнего девона ВУМЗ насчитывает более чем 140-летнюю историю, начиная с установления позднедевонского возраста песчаных пород в районе

Условные обозначения

Зоны [Смирнов и др., 2003]

- I — Салатимская
- II — Платиноносный пояс
- III — Тагильская
- IV — Верхисетско-Туринская
- V — Салдинский и
- VI — Сыертско-Ильменогорский
- выступы кристаллических пород
- VII — Медведско-Арамилльская
- VIII — Мурзинско-Адуйский
- кристаллический блок
- IX — Алапаевско-Теченская (АТЗ)

Подзоны АТЗ [Государственная..., 2000]

- IX₁ — Режевская
- IX₂ — Рефтинско-Каменская
- IX₃ — Буринско-Калдинская
- IX₄ — Алапаевско-Айбыкульская

Толщи и свиты

- D₂rd — рудянская
- D₂₋₃mm — маминская
- C₁sm — смолинская
- C₁₋₂kl — ключевская

..... несогласные контакты

Разрывные нарушения

- установленные
- - - предполагаемые
- главные надвиги
- - - прочие надвиги

⊙ изученные разрезы

Возраст пород

- S-D₁
- D₂₋₃
- C₁₋₂

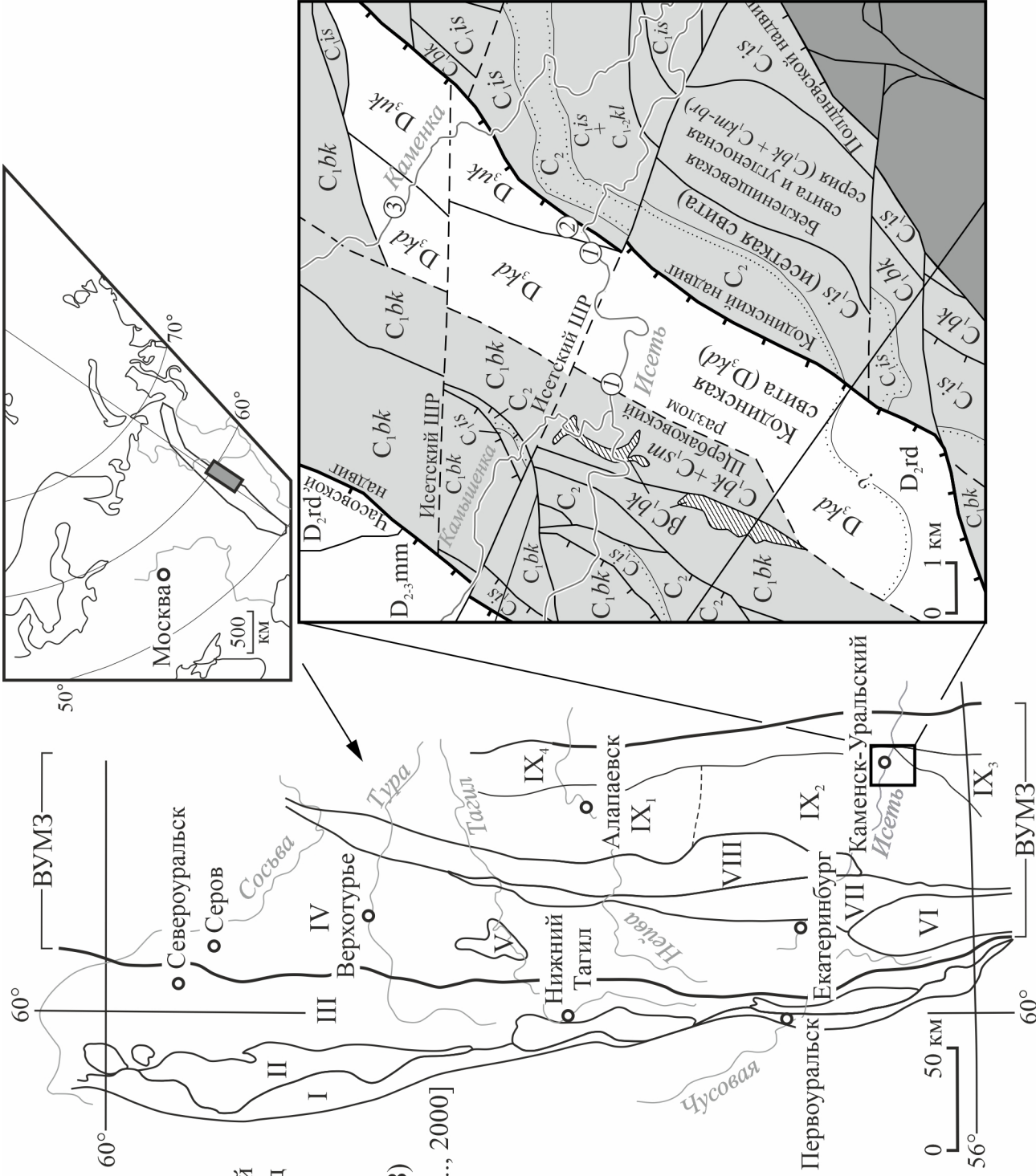


Рисунок 1 – Расположение Кодинского блока (карта вынесена справа) и наиболее представительных разрезов кодинской и устькодинской свиты (1 – на р. Исеть, 2 – карьер на левом берегу Кодинского лога, 3 – возле д. Черемхово) в современной структуре восточного склона Среднего Урала

с. Щербаково и толщи вулканитов в районе д. Брод А. П. Карпинским ещё в 1880 г. Оно продолжается и по сей день, в основном в работах сотрудников ИГГ УрО РАН, посвященных исследованию основных этапов магматизма (лаборатория региональной геологии и геотектоники, палеовулканизма и региональной геодинамики, петрологии магматических формаций); условий седиментации, органических остатков, стратиграфии, изотопии и особенностей вещественного состава известняков Режевской изолированной карбонатной платформы и других карбонатных толщ (лаборатории палеонтологии и стратиграфии, литологии); стратиграфии, фациально-генетического анализа, минерального и химического состава терригенных толщ (лаборатории палеонтологии и стратиграфии, литологии).

Верхнедевонские толщи на исследуемой территории обнажены в пределах МАЗ и АТЗ. Собственно терригенными среди них являются только кодинская (D_{3kd}) и устькодинская (D_{3uk}) свиты. В составе каждой из указанных свит преобладают песчаники и аргиллиты (в ассоциации с мелкозернистыми алевролитами), тогда как псефитолиты и карбонатные породы имеют подчиненное значение. В то же время в составе других обломочных толщ и свит достаточно широко развиты образования или компоненты, указывающие на непосредственную связь с вулканической активностью.

Наиболее представительные разрезы кодинской и устькодинской свит обнажаются на территории Кодинского блока (см. карту справа на рисунке 1) Рефтинско-Каменской подзоны АТЗ, который представляет собой вытянутую в направлении СВ–ЮЗ структуру, входящую в систему Каменско-Карабольских блоков и пересеченную Исетским широтным разломом (ШР). Ближайшее обрамление блока слагают ниже–среднекаменноугольные вулканогенная бекленищевская, карбонатная исетская и терригенно-карбонатные смолинская, щербаковская и кунарская свиты. Контакты между перечисленными стратонами тектонические либо несогласные, при этом в восточной части блока прослежен надвиг [Государственная..., 2000].

Кодинская свита (порядка 950 м) слагает большую часть одноименного блока. Впервые она выделена Г. А. Смирновым с соавторами [1974] в качестве аналога зилаирской свиты (совместно с фаменской устькодинской свитой), обнажающейся на восточном склоне Южного Урала. В окрестностях г. Каменск-Уральский, на обоих берегах р. Исеть, на всем протяжении от окраины д. Кодинка до с. Щербаково и, частично, выше него, обнажается наиболее полно сохранившийся разрез свиты (см. рисунок 1, 1 на карте внизу справа). Также она вскрыта в карьерах юго-западнее с. Черемхово в северной части блока (см. рисунок 1, 3 на карте внизу справа). Отдельные выходы наблюдаются на берегах водохранилища в пгт. Синячиха, выступы и гривки – в разрезе по Кодинскому логу (ранее разрез был обнажен значительно лучше и являлся частью стратотипа [Наседкина, Зенкова, 1999]). По находкам комплекса брахиопод кодинская свита относится [Наседкина, Зенкова, 1999; Чувашов, Анфимов, 2008; Мизенс А., 2012a] к верхнему франу (губинский горизонт согласно [Стратиграфические..., 1993]). Свита залегает на бугристой поверхности известняков, для которых контакт с подстилающими породами неизвестен [Наседкина, Зенкова, 1999; Чувашов, Анфимов, 2008]. Под названием кодинской свиты иногда упоминается [Коровко и др., 2005; Смирнов, Коровко, 2007] глинисто-кремнистая толща (600 м) с прослоями терригенных и карбонатных пород.

В Режевской подзоне она согласно залегает на породах маминской толщи, возраст её точно не установлен.

Устькодинская свита имеет общую мощность порядка 1000 м. Стратотип свиты ранее был обнажен на склонах Кодинского лога и описан [Наседкина, Зенкова, 1999]. В настоящее время отдельные разрезы свиты (мощностью не более 50–100 м) можно наблюдать в карьере на окраине д. Кодинка (см. рисунок 1, 2 на карте внизу справа), на левом берегу р. Исеть выше с. Щербаково. По находкам комплекса брахиопод эти породы отнесены к фаменскому ярусу верхнего девона в объёме шамейского, чепчуговского и, вероятно, хвощевского горизонтов [Наседкина, Зенкова, 1999].

ГЛАВА 2. МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЙ

В главе (состоит из двух разделов) приведена методика комплексного исследования условий седиментации и вещественного состава пород перечисленных выше разрезов кодинской и устькодинской свит. Она включала полевое описание разрезов, отбор образцов на шлифы и различные виды лабораторных исследований, в том числе геохимические, выполненные в ЦКП «Геоаналитик» ИГГ УрО РАН.

Для результатов полевого описания интерпретация заключалась в использовании методик фашиально-генетического анализа (см., например, [Фролов, 1995, гл. 18 и 19 и ссылки в них]), в ходе которых нами были использованы такие понятия как слой и пласт [Ботвинкина, 1962, 1965], пачка [Стратиграфический..., 2006], литотип [Фролов, 1965], слоевая ассоциация (СА, устойчивые парагенезы литотипов), циклит [Карагодин, 1980], генетический тип [Фролов, 1984, 1995] и фация [Прошляков, Кузнецов, 1991].

Для данных о вещественном составе интерпретация заключалась в использовании литохимических модулей и химической классификации Я. Э. Юдовича и М. П. Кетрис [2000], классификационных и генетических (в том числе модульных) диаграмм, различных геохимических и минеральных индикаторов петрофонда, тектонического режима, палеоклимата и гидрофаций. В ходе процедуры интерпретации особенностей лито- и геохимических характеристик нами было обращено внимание на такие её моменты как: 1) установление взаимоотношений лито-, петро- и хемотипов; 2) рассмотрение геохимически значимых корреляций; 3) сравнение с реальными геологическими объектами и эталонами; 4) использование актуальных дискриминантных диаграмм, индикаторов и представлений о седименто- и диагенезе; 5) подтверждение предположений с применением нескольких геохимических индикаторов. В сжатой форме использование этой методики описано для глинистых пород в нашей работе [Мельничук, 2020], более широко, не только для аргиллитов и ассоциирующихся с ними пород – в полном тексте диссертации.

Конечной целью произведенных работ являлись палеорекострукции более крупных масштабов, нежели при фашиальном анализе. Комплексное исследование указанных позднедевонских толщ полностью полчилено цели стадийного анализа – расшифровке прямых и косвенных следов различных этапов седименто- и литогенеза (в широком смысле), которые находят свое отражение в составе и структурно-текстурных особенностях осадочных пород [Япаскерт, Карпова, 2016].

ГЛАВА 3. ХАРАКТЕРНЫЕ РАЗРЕЗЫ ВЕРХНЕДЕВОНСКИХ ТЕРРИГЕННЫХ ОТЛОЖЕНИЙ НА ВОСТОКЕ СРЕДНЕГО УРАЛА

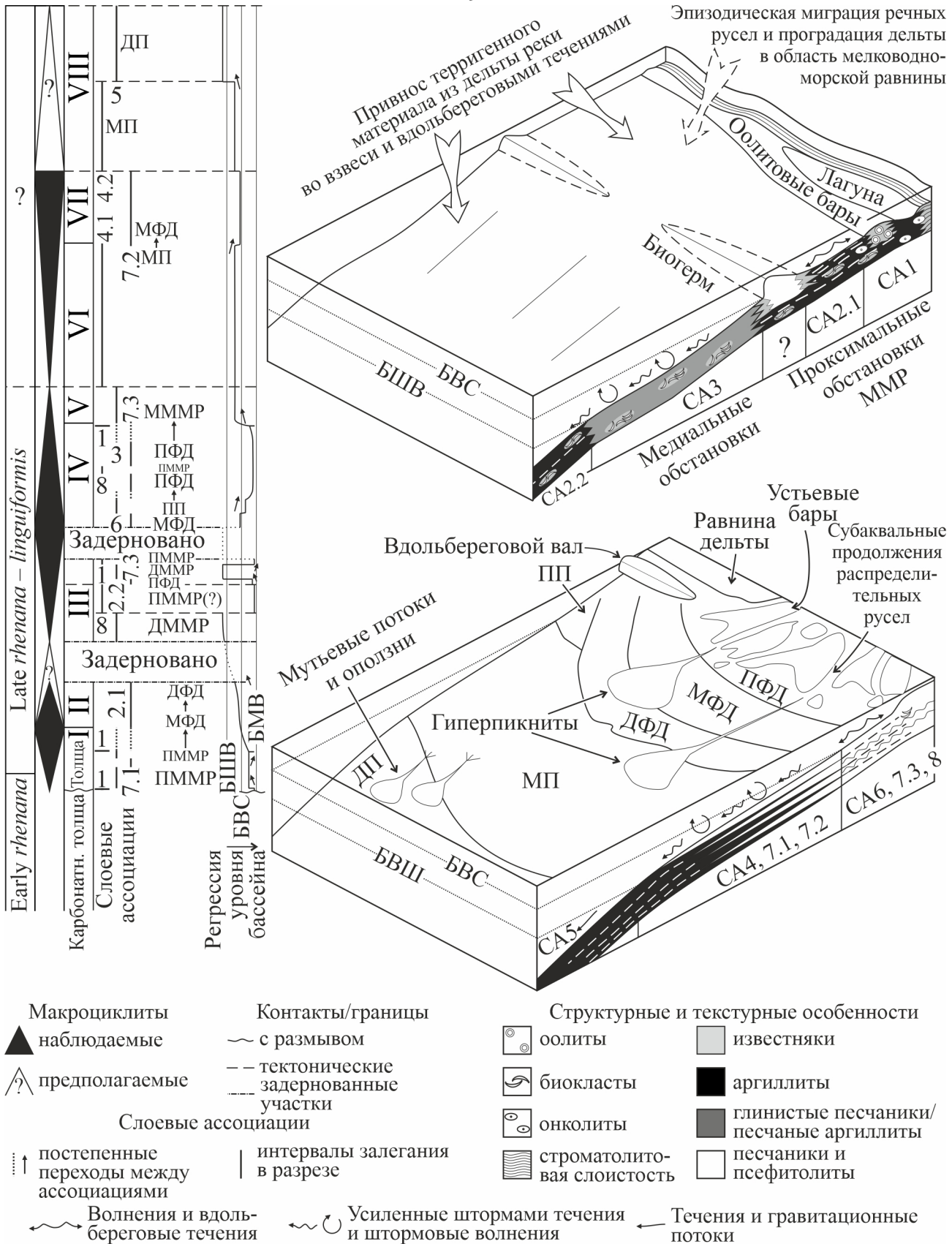
В первом разделе (общая характеристика) приведено обобщение более чем полувековой истории изучения кодинской и устькодинской свит. Охарактеризованы

работы Г. А. Смирнова с коллегами [1961, 1974], В. А. Наседкиной и Г. Г. Зенковой [1999], О.Э. Погромской [2002], А. Л. Анфимова [2004, 2006, 2011], А. Л. Анфимова и Б. И. Чувашова [2005], Б. И. Чувашова и А. Л. Анфимова [2008], А. Г. Мизенс [2012]. Отмечены несоответствия между описанием различными авторами карбонатной толщи, подстилающей кодинскую свиту, а также несоответствие этих отложений критериям, по которым следует выделять органогенные постройки (см. [Flügel, 2010, с. 30]), и необходимость их доизучения. **Во втором, третьем и четвертом разделах** приведено подробное попачечное описание наиболее представительных разрезов (см. раздел 1 автореферата) исследуемых свит. При этом карбонатная толща вынесена нами из состава кодинской свиты, а свита разбита на 8 толщ. Впервые описан разрез, вскрытый при строительстве автодороги Каменск-Уральский – Челябинск (толща III), и дайка лампрофиров в разрезе толщи V. Отмечено, что непрерывный разрез кодинской свиты без серьезных тектонических нарушений, можно наблюдать на левом берегу только для толщ I–II (150 м), IV–V (195 м), VI–VII (300 м). Все комплексы брахиопод, идентифицированные в карбонатной толще и толщах I, III–V [Мизенс, 2012а, 2012б; Мизенс, Мизенс, 2018, 2019], указывают на их позднефранский возраст и позволяют относить породы к верхней части губинского горизонта (= конодонтовые зоны Early rhenana для карбонатной толщи и нижних 6 пачек толщи I и Late rhenana – linguiformis для других пачек и толщ, см. колонку слева на рисунке 2).

ГЛАВА 4. ОСНОВНЫЕ ЭЛЕМЕНТЫ ЛИТОЛОГИЧЕСКОГО СОСТАВА РАЗРЕЗОВ И ФАЦИИ

Глава состоит из трёх частей: **в первом разделе** для изученных разрезов выделены литотипы (5 – для карбонатных пород, 6 – для глинистых пород и ассоциирующихся с ними мелкозернистых алевролитов, 9 – для песчаников и 3 для псефитолитов) и их подтипы, слоевые ассоциации (13 штук) и циклиты различных уровней; **во втором разделе** проанализированы существующие модели мелководных и глубоководных морских осадочных (терригенных и карбонатных) систем, необходимые для понимания результатов изучения кодинской и устькодинской свит; **в третьем разделе** на основании выполненного анализа реконструированы обстановки осадконакопления упомянутых свит. Содержание данной главы использовано для обоснования **1 и 2 защищаемых положений**.

При интерпретации особенностей слоевых ассоциаций автором были использованы такие понятия как мелководно-морская равнина (ММР) и субаквальная часть дельты. Под первой мы понимаем существующую на шельфе осадочную систему с достаточно пологим рельефом дна, с терригенным либо карбонатным (карбонатный рамп) или смешанным типом осадконакопления, на которую оказывают влияние в основном приливно-отливные и волновые процессы (волнения в спокойную и штормовую погоду). Выделение различных зон в ней происходит в зависимости от уровня их взаимодействия. Субаквальная часть дельты разделена на фронтальную часть (ФД) и продельту (П). Первая – область, в которой речные течения, несущие осадки, впадают в приемный бассейн и взаимодействуют с бассейновыми процессами [Reading, Collinson, 1996]. Для неё характерна седиментация наиболее грубых отложений. В качестве продельты – та часть дельты, в которой преобладает осаждение глинистых и алевролитовых частиц [Bhattacharya, 2006].



БМВ – уровень малой воды, БВС – базис воздействия волн в спокойную погоду, БВШ – базис воздействия волн в штормовую погоду; обстановки: ФД – фронтальная часть дельты, П – продельта, П – проксимальные, М – медиальные, Д – дистальные.

Рисунок 2 – Распределение слоевых ассоциаций и обстановок седиментации в разрезе кодинской свиты на р. Исеть (слева) и их предполагаемое положение на блок-диаграммах мелководно-морской равнины смешанного типа (справа сверху) и субаквальной части дельты волно-речного влияния (справа внизу)

Карбонатная толща, подстилающая кодинскую свиту

Образовалась в основном за счет разрушения уже существующих массивов известняков и переотложения преимущественно карбонатного обломочного материала, источником которого были небольшие биогермы, образованные мшанками, кораллами, и, возможно, губками, в ассоциации с кальцимикробами, тогда как карбонатные отложения, сформированные *in situ*, в разрезе толщи имеют ограниченное развитие, и в процессе седиментации они, скорее всего, слагали органогенное образование пластообразной либо линзовидной формы [Мельничук и др., 2018]. В контексте терминов, используемых в настоящей работе, можно предполагать формирование толщи в разных обстановках проксимальной части карбонатного рампа: в наиболее близких к литорали и литоральных (пузырчатые баундстоуны), а также более удаленных от береговой линии, в том числе защищенные (известняки с большим количеством матрикса) и открытые участки дна (грейнстоуны), куда сносились обрывки и обломки кораллов, мшанок и амфипор.

Кодинская свита

Для кодинской свиты можно наблюдать чередование слоевых ассоциаций (СА1–СА8) с нормально-морской и пресноводной (согласно [Друщиц, 1974]) фауной, а также сонахождение её (фауны) с растительными остатками (РО), подчас достаточно крупными и многочисленными, что позволяет предполагать преобладание в её разрезе подводных дельтовых отложений в сочетании с другими мелководно-морскими образованиями. СА, за некоторыми исключениями, не несут признаков, свойственных субэаральным обстановкам и глубоководным образованиям.

ММР с карбонатной седиментацией и смешанным типом осадконакопления. Данные обстановки характерны для нижней части толщи I, толщи III и толщи V и представлены в разрезе карбонатной СА1, карбонатно-глинистыми ассоциациями СА2.1, СА2.2 и СА3 (см. рисунок 2). Первая СА сложена литотипами–маркерами проксимальных обстановок ММР (ПММР) с нормальной морской солёностью: оолитовые известняки с разнообразной слоистостью, вероятно, слагали аккумулятивные формы, например, баровые; онколитовые пак-, грейн- и рудстоуны, а также строматолитовые известняки накапливались на открытых участках, подверженных воздействию волн в спокойную погоду, а аргиллиты и вак-, флоат- и пакстоуны с крупными онколитами, имеющими однородный микритовый слой – в условиях с более спокойной гидродинамикой (шельфовые западины, лагуна?). К сожалению, условия седиментации не всегда были благоприятными для формирования полной СА и чаще всего перечисленные литотипы слагают пласты небольшой мощности, отделяющие пачки, сложенные породами карбонатно-глинистых СА и преимущественно песчаных СА.

В несколько более удаленных от побережья условиях ПММР накапливались отложения СА2.1, представляющие собой известковые аргиллиты с рассеянными раковинами брахиопод и гастропод, члениками криноидей, пластинами и линзами известняков с многочисленными раковинами и обломками раковин брахиопод, а также полибиокластовыми известняками с остатками перемещенной нормально-морской фауны. Ассоциация таких остатков в этих известняках, как обломки амфипор и колониальных кораллов, согласно [Wendte et al., 2009; Da Silva et al., 2011] весьма характерна для защищенных участков, в частности для зарифовой зоны. Помимо существенно глинистого состава, влияние реки на этот участок шельфа отражалось в наличии маломощных (до 10–60 см) слоев песчаников (от тонко- до

средне-мелкозернистых) с развитым карбонатным цементом, редкими пелоидами, интракластами и оолитами, горизонтальной, волнистой и косой слоистостью (результат переноса и перемыва песчаного материала вдольбереговыми течениями и волнениями?), РО. При усилении привноса песчаного материала фронтальная часть дельты проградировала в данные обстановки, что находит свое отражение в увеличении толщины песчаных прослоев и, как правило, отсутствии мелководно-морских организмов в той части циклитов, которая их вмещает, либо в наличии ракушнякав, сложенных одним преобладающим видом брахиопод, которые были более толерантны к изменению солености воды. Эту часть СА следует идентифицировать как часть продельты, а не собственно ММР.

Основным фактором, способствовавшим образованию СА3 (толща V) можно считать эпизодическое воздействие штормов во время осадконакопления. Среди пород СА3 часто встречаются опесчаненные и глинистые слои и линзовидные прослои с нормально-морской фауной и многочисленными деформированными, в том числе вжатыми друг в друга, раковинами брахиопод, имеющими признаки, характерные для обработки штормовой деятельностью (см., например, [Fürsich, Oschmann, 1993]), к ним мы также причисляем более разнообразный видовой состав брахиопод по сравнению с другими породами этой толщи [Мельничук, Мизенс, 2016], а также сочетание брахиоподовых комплексов, характерных для различных зон ММР [Мизенс, Мизенс, 2019]. По степени сохранности и небольшой толщине ракушнякав в соответствии с критериями [Yao et al., 2016] можно предполагать, что это штормовые слои переходной/медиальной зоны ММР (МММР).

В дистальных частях ММР (ДММР) накапливалась СА 2.2 во многом похожая на СА2.1 (что вполне возможно при малом привносе песчаного материала в обстановки ММР), за исключением отсутствия волнистой слоистости в песчаниках и их более тонком гранулометрическом составе. Изолированные линзы полибиокластовых известняков этой СА содержат самые разнообразные органические остатки из разных зон ММР.

Субаквальная часть дельты речного влияния и смешанного (волно-речного) типа, смежные с ней обстановки ММР с терригенной седиментацией. В наиболее проксимальных обстановках (приливно-отливной равнине) нами предполагается формирование отложений, обнаженных в карьерах возле д. Черемхово. Они представляют собой цикличное чередование тонкозернистых песчаников и аргиллитов. Породы с ризолитами, трещинами усыхания и разнообразными текстурами, в том числе ленточной слоистостью.

Выше БВС нами предполагается накопление слоевых ассоциаций СА6, 7.3 и 8 (см. нижнюю блок-диаграмму на рисунке 2). В толще IV СА6 представлена аргиллитами с пластами (до 20–40, максимум 1 м) мелкозернистых песчаников с горизонтальной, волнистой, реже косой и косоволнистой слоистостью, то есть с текстурами, свидетельствующими как о разной скорости потока в момент оседания песка, так и о его перераспределении волнениями. В связи с этим породы этой преимущественно глинистой СА относятся нами к проксимальной части продельты (ПП). Вверх по разрезу (пачка 20 м) виден результат проградации дельты в эту область – появление среди аргиллитов промоин (15–20 см мощностью) с неровными нижними поверхностями. Промоины выполнены более грубыми, до крупнозернистых с линзами грубозернистого, песчаниками с массивным обликом и горизонтальной слоистостью, иногда сменяющейся пологоволнистой и косой слоистостью. В них встречаются крупные РО, линзы с раковинами пелеципод, брахиопод и гастропод. На этом участке разреза песчаники и аргиллиты расклиниваются, что позволяет предполагать, что эти песчаные тела имеют достаточно малые размеры и U-образную

форму, то есть являются, согласно [Bhattacharya, 2006; Olariu et al., 2010; Ahmed et al., 2014], субаквальными продолжениями распределительных русел.

Вышезалегающая ассоциация мелко- и среднезернистых песчаников с массивным обликом, горизонтальной и косою однонаправленной слоистостью (СА 7.3) обладает рядом характеристик, позволяющих отнести её к проксимальной части ФД (ПФД): наличие амальгамации [Swift et al., 1991], значительное преобладание песчаников над аргиллитами, относительно широкое распространение волнистой (гигантской очень пологой ряби) слоистости. Здесь по небольшой мощности пластов (до 4.3 м), наличие амальгамации и литокластов над нижними эрозионными поверхностями нами выделены субаквальные продолжения распределительных русел, тогда как наличие устьевых баров в разрезе можно только предполагать. Следует упомянуть литотип, – переслаивание аргиллита и горизонтальных, а также похожих на сочленённые линзы, слойков крупно-среднезернистого песчаника с массивным обликом и крупными РО. Толщина слойков песчаника сначала увеличивается от 2 мм до 5–7 см, затем уменьшается. Представляется, что его генезис связан с переработкой отложений, привносимых сильными течениями в зону активного волнения, и является отражением процессов, происходящих во время наводнения, сопряженного со штормом. Среди песчаников ПФД залегает пачка мелкозернистых песчаников с горизонтальной и волнистой слоистостью, многочисленными прослоями пеллециподовых ракушняков (СА8). В большинстве случаев раковины ориентированы выпуклой стороной вверх либо раздроблены, то есть несут признаки воздействия волнений, в том числе достаточно сильных, и речных течений (согласно [Fürsich, Oschmann, 1993; Yao et al., 2016]). Вмещающие отложения, вероятно, слагали аккумулятивные структуры (вдольбереговые бары?).

В толще III СА7.3 отличается наличием верхних размывших поверхностей у песчаных пластов (показатель воздействия волнений) и слабой биотурбацией (следы бегства и ползания). Последнее характерно и для СА8 в этой толще.

В составе парагенезов СА4.1, СА 4.2 и СА5 (продельтовые обстановки), а также СА7.1 (медиальная и дистальная часть ФД, соответственно МФД и ДФД) и СА7.2 (МФД) нами встречены отложения гиперпикнальных потоков различной природы – внутри- и внебассейновой. Последние в разрезе толщи VII, выполненной СА7.2, распознаются достаточно уверенно и сопоставимы с литотипами группы В классификации долгоживущих гиперпикнальных потоков [Zavala et al., 2011]. Они представляют собой крупно- и среднезернистую песчаную массу с беспорядочной, а в наиболее мощных (до 90 см) пластах и с горизонтальной либо косою пологонаклонной слоеватостью. В песчаном матриксе неравномерно распределены разноразмерные, полуугловатые, полуокатанные и окатанные литокласты аргиллита, известняка, гальки вулканогенных пород и окатанные зёрна кварца, крупные РО, в том числе обломки стволов деревьев с сохранившейся структурой, а также достаточно крупные раковины гастропод, пеллеципод и брахиопод средней степени сохранности, их обломки, линзы ракушняка, то есть обломки и органические остатки вне- и бассейновой природы. Среди тонкослоистых глинистых пород с неравномерной примесью алевроитового материала, пластами (от 1–2 до 50 см) тонко- и мелкозернистых песчаников с горизонтальной, реже волнистой и мелкой косо-волнистой слоистостью (СА4.1, толща VI), нами обнаружены схожие слои (до 80 см), но с более тонким матриксом и меньшим количеством псефитовых обломков. Данную закономерность мы склонны связывать с уменьшением скорости гиперпикнальных потоков и, соответственно, количества влекомого вещества.

В составе СА7.2 есть песчаники (до 3 м), которые демонстрируют признаки пульсационного характера потока, поставлявшего материал – чередование

равномерной и неравномерной горизонтальной слоистости, что характерно для внебассейновых гиперпикнитов ([Mulder et al., 2003; Plink-Björklund; Steel, 2004]. Согласно критериям [Plink-Björklund; Steel, 2004; Zavala et al., 2011] к ним можно причислить и мелкозернистые песчаники (до 5 м) с массивным обликом и редкими рассеянными глинистыми литокластами (литотип В_{3s} по [Zavala, Pen, 2018]?).

СА7.1 (верх толщи I и толща II) отличается “скудным” набором текстур песчаников, у которых преобладает горизонтальная равномерная и неравномерная слоистость, реже встречается массивная текстура и, иногда, градационная сортировка зерен (элементы Т_а и Т_б слоевой последовательности А. Боума?), что, в совокупности с наличием достаточно многочисленных РО, в том числе в переслаивающихся с песчаниками алевролитах и аргиллитах, может свидетельствовать о формировании СА, в особенности песчаников, в большей степени за счет гиперпикнальных потоков, образовавшихся за счет обрушения устьевых баров ПФД. Соотношение песчаной и глинистой составляющей в циклитах уменьшается вверх по разрезу толщи II, но в целом близко к таковому в МФД [Olariu et al., 2010; Ahmed et al., 2014]. Об оползании устьевых баров может свидетельствовать наличие редких оползневых колобков [Olariu et al., 2010]. Переход от СА2.1 к СА7.1 в толще I сопровождается увеличением мощности песчаных пачек и, параллельно с ним, угнетением стеногалинных организмов, и, вероятно, является результатом латеральной миграции дельтовых рукавов и мелких протоков в область ММР, сопряженной с локальным опреснением бассейна. Наличие дельты в отдалении от рассматриваемого участка отмечено нами при интерпретации особенностей оолитовых известняков СА1.

Глинистый материал попадал в область продельты (СА4 и СА5) различными способами – из взвеси, и, вероятно, при переносе течениями глинистых агрегатов, слипшихся до размерности алевритовых и песчаных частиц. По всей видимости, с последним явлением связаны особенности гранулометрического состава пород, слагающих бóльшую часть толщи VIII (СА4.2 и СА5). Внешне глинистые породы кажутся (?) алевритовыми и песчанистыми. С другой стороны, подобный состав можно объяснить и периодически возникающими медленными ламинарными потоками, вполне возможными на пологом склоне продельты, когда песчано-глинистая масса оплывала и перемешивалась. Песчаный материал поступал в область продельты как с медленными слабыми однонаправленными течениями (тонкие песчаные слойки, в том числе с мелкой косою слоистостью, разъединенные линзочки песчаного материала), так и гиперпикнальными потоками (см. выше), которые в медиальной части продельты были повержены волновому воздействию с образованием различных волнистых типов слоистости (СА4). В более дистальных участках продельты, характеризующихся меньшим количеством песчаного материала (СА5) видны песчаные слои (отложения мутьевых потоков), как правило, возникающие в результате обрушения аккумулятивных форм ПФД.

В разрезе толщи можно диагностировать 3 макроциклита (см. колонку слева на рисунке 2), два нижних из них имеют ре-проциклическое строение, а верхний – проциклическое. Хотя можно предполагать, что он также является ре-проциклитом. Их формирование связано с автоциклическими и с аллоциклическими факторами, такими как миграция и отмирание распределительных каналов, в том числе их субаквальных частей, а также разномасштабными эвстатическими колебаниями.

Устькодинская свита

Относительно широкое распространение гиероглифов в совокупности с наличием слоевой последовательности П. Дж. Таллинга с соавторами [Talling et al.,

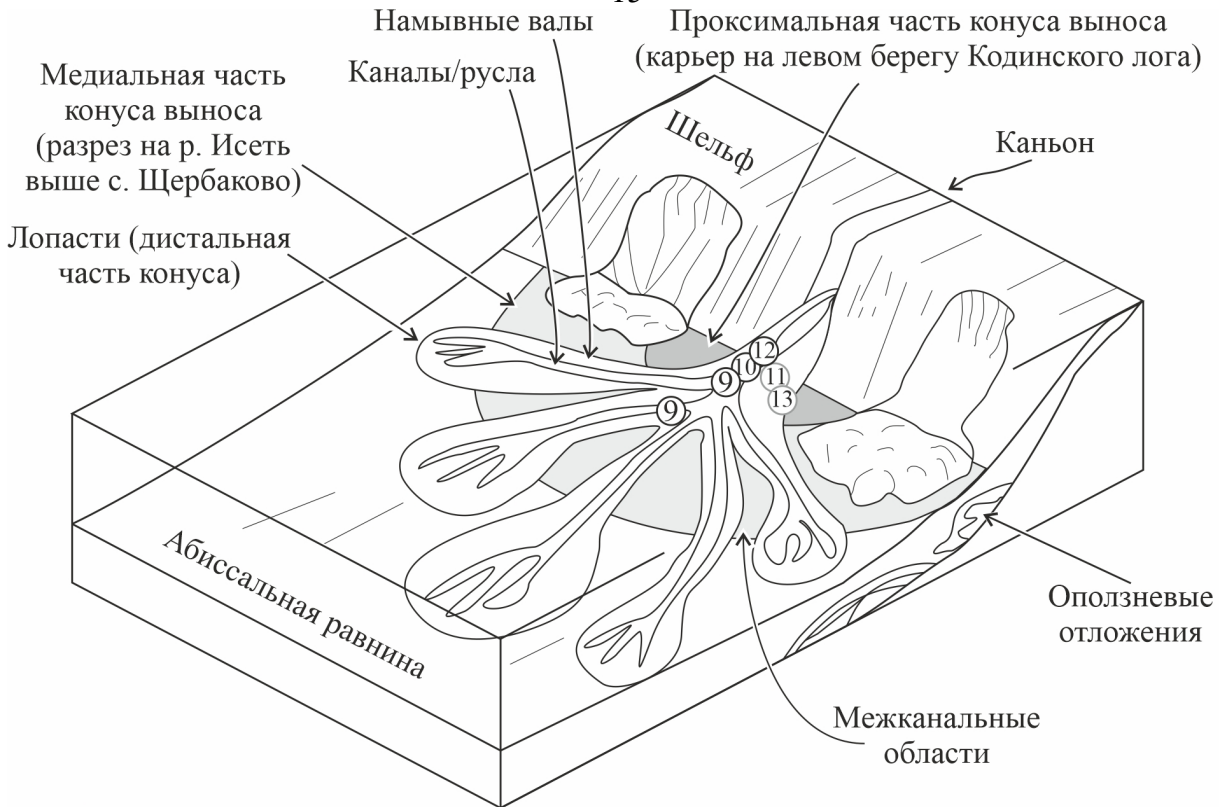
2012] и элементов слоевой последовательности Д. Р. Лоу [Lowe, 1982], заставляет предполагать образование устькодинской свиты в глубоководных обстановках. При этом выделенные нами литотипы, как правило, уверенно отождествляются с элементами обозначенных слоевых последовательностей (рисунок 3).

Широкое развитие в разрезе, вскрытом в карьере на левом берегу Кодинского лога, отложений грубозернистых (по терминологии П. Дж. Таллинга с соавторами) высокоплотных мутьевых потоков, наличие слоев дебритов с относительно чистым песчаным матриксом, а также достаточно мощных пачек, сложенных глинистыми дебритами с высокой связующей силой матрикса позволяет предполагать их формирование в проксимальных обстановках конуса выноса близких к склону [Walker, 1978; Lowe, 1982; Shanmugam, Moiola, 1988; Talling et al., 2012a, 2012b]. CA10 и CA12 в таком случае формировались в условиях глубоководных русел (см. рисунок 3), о чем для первой дополнительно свидетельствует наличие амальгамации песчаных слоев. CA11 и CA13, находящиеся с ними в тесной ассоциации, осаждались в обстановках намывного вала и межрусловых областей в виду их преимущественно глинистого состава и наличия тонких прослоев с градационной сортировкой материала [Kane, Hodgson, 2011]. Представляется, что резкие контакты между глинистыми и более грубыми пачками, слагающими циклиты в этом разрезе, могут быть типичны для проксимальных обстановок глубоководного конуса выноса.

Разрез выше с. Щербаково практически полностью сложен циклитами, в формировании которых принимали участие как высокоплотные, так и низкоплотные мутьевые потоки, а также гемипелагиты или подобные им образования. Хорошо выражена слоевая последовательность в большей степени свойственная для медиальной части глубоководного конуса выноса [Voima, 1962; Talling et al., 2012b]. Наличие крупной глыбы (результата обвала или оползания) в таких обстановках маловероятно, но в целом допустимо (см., например, [Лисицын, 1988]). Сохранение слоевой последовательности практически целиком предполагает седиментацию в достаточно “спокойных” условиях с относительно редким привнесом материала с мелководья в каналы/русла глубоководной системы либо в обстановках, например, внутренней части намывного вала [Kane, Hodgson, 2011]. Однако в последнем случае элемент T_A, вероятно, периодически отсутствовал бы в строении элементарных циклитов (ЭЦ), что справедливо только для CA9.4. В связи с чем можно предполагать, что в разрезе выше с. Щербаково в основном обнажены фации русел. Рецикличное строение разреза можно объяснить увеличением количества поступающего песчаного материала в глубоководную область (за счет факторов различной природы) либо сменой условий на более проксимальные.

ГЛАВА 5. ОСОБЕННОСТИ ВЕЩЕСТВЕННОГО СОСТАВА ПЕСЧАНЫХ И ГЛИНИСТЫХ ПОРОД И ИХ ИНТЕРПРЕТАЦИЯ

В главе выделены типы (и петротипы) песчаников (**раздел 1**), петротипы глинистых пород и ассоциирующихся с ними алевролитов (**раздел 2**), выполнено сопоставление литотипов и петротипов с хемотипами (**раздел 3**), выделенными с использованием классификации Я. Э. Юдовича и М. П. Кетрис [2000] и служебных диаграмм. При этом отмечено практически полное совпадение литотипов и петротипов с хемотипами, что в свою очередь является своеобразной верификацией последующих результатов исследований особенностей химического состава. Произведена реконструкция климата на палеоводосборах и тектонических обстановок (**раздел 4**), окислительно-восстановительных обстановок и палеосолености (**раздел 5**). Главу завершает **раздел 6** – рассмотрение постседиментационных изменений,



Проксимальная часть конуса выноса
Фация русел Фация намывных валов

Медиальная часть конуса выноса
Фация русел

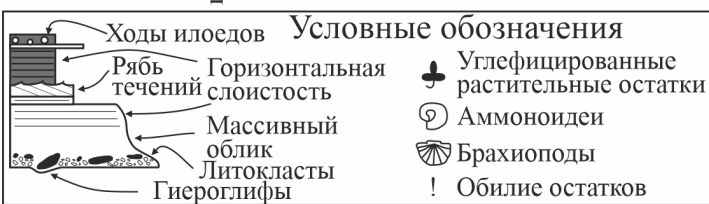
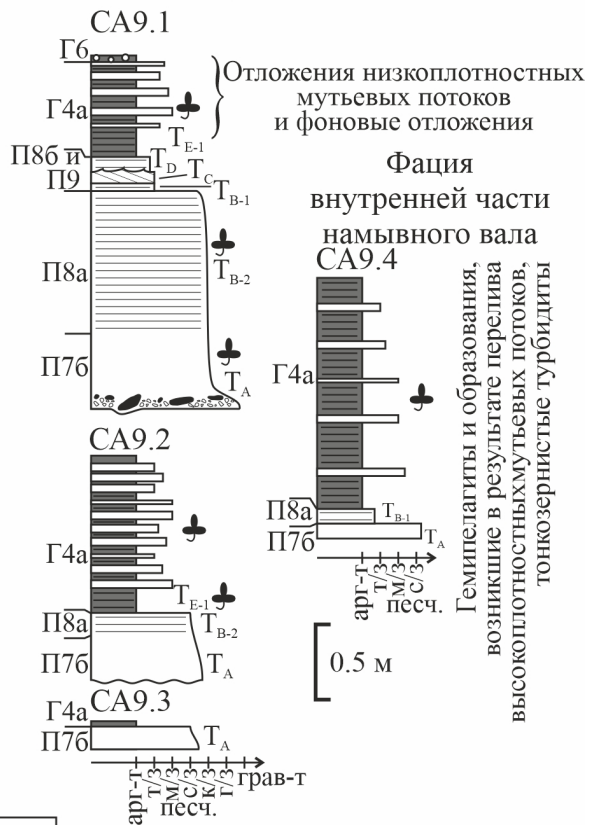
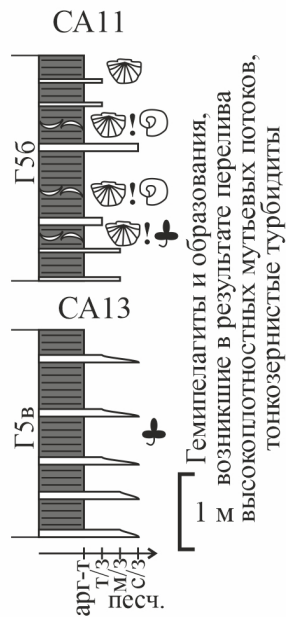


Рисунок 3. Идеализированные слоевые ассоциации устькодинской свиты, их строение, а также положение на блок-диаграмме глинисто-песчаного глубоководного конуса выноса

реконструированных на основе данных предыдущих разделов и главы 4. Содержание данной главы использовано для обоснования **3 защищаемого положения**.

Типы песчаников и глинистых пород

По петрографическому составу песчаники кодинской и устькодинской свит отвечают петрокластическим кварц-полевошпатовым и полевошпатовым грауваккам с содержанием зёрен кварца порядка 10–20% от суммы главных аллотигенных компонентов, полевых шпатов (ПШ, кислые и средние плагиоклазы, калиевые разности редки) – 25–40%, обломков пород – до 65%. Породы средней, реже плохой и хорошей степени сортировки. Микротекстура слоистая. По наличию тех или иных аутигенных минералов и их парагенезов среди песчаных пород выделяется три типа.

Первый является наиболее распространенным и представляет собой полевошпатовые граувакки с преобладанием хлорита в цементе, с конформными и инкорпорационными межзерновыми контактами (МЗК). Основная масса сцементирована хлоритом, слагающим плёнки, в том числе крустификационные каёмки, и выполняющим поры. Среди других аутигенных минералов следует отметить кальцит, кварц и иллит (в составе плёнок и порового цемента?), а также каолинит. Два последних минерала диагностированы только по данным рентгеноструктурного анализа. Регенерация кварца не развита либо наблюдается для единичных зёрен в виде полных каёмок или неполных отростков. Карбонатные минералы слагают поровый, в том числе пойкилитовый цемент и могут выполнять порфиробласты в порах, заполненных хлоритом.

Характерной чертой большинства образцов рассматриваемых песчаников является наличие единичных трещин и микротрещин либо их систем разной степени раскрытости и разным заполнением. По отношению к залеганию слоев трещины поперечные и косые, в том числе разветвляющиеся. Как правило, чем шире раскрыта трещина, тем крупнее размер кристаллов в ней. Однако иногда она залечена кристаллами разного размера, что особенно характерно для кремнезёма. Нередким является и полиминеральное заполнение трещин, например, кремнь и карбонат. Причем кремневый минерал находится ближе к стенкам. Окремнение встречается и в поровом пространстве (моно- и поликристаллический цемент), вблизи трещин и на некотором удалении от них, а также вокруг зёрен кварца, метаморфических, кремнёвых и, иногда, кислых вулканических ОП, в форме регенерации или пойкилитового цемента. Карбонатные минералы тоже могут быть развиты возле трещин и в породе, корродируя основную массу, а также по мелким трещинам в зёрнах. Последовательность кристаллизации в порах аналогична таковой в трещинах.

Можно предполагать, что трещины образовались после внутрислоевого растворения с выносом вещества, так как они иногда секут сутурные швы. Последние в таких образцах могли быть проводниками соединений Si, K, Al – в шлифе (обр. 3155-10-7) можно наблюдать как сутурный шов на определенных участках размыкается, становясь зоной стилолитизации, в осевой части которой раскристаллизован кремнезём, а в органическом веществе (ОВ) видны мелкие чешуйки с яркими интерференционными окрасками, характерными для мусковита.

Существует ещё несколько особенностей, встречающихся в составе породы рассматриваемого типа: хрупкие деформации ПШ, кремней, кварца – с полосками Бёма, а также трещинки в кварце примерно параллельные направлению трещин в породе. Имеют место также шиповидные вкрапления чешуек хлорита в зёрна кварца и ПШ, рекристаллизационно-бластическое замещение кварца кварцем, цемент

проникновения. Представляется, что в составе данного подтипа чаще встречаются инкорпорационные МЗК, чем в аналогичных песчаниках.

Второй тип представляет собой песчаники с преобладанием карбонатных минералов в цементе и песчаные известняки – это разности с поровым и базальным в разной степени раскристаллизованным карбонатным цементом (кальцитом и доломитом), в основном тонко- и микрокристаллическим, а также скрытокристаллическим, более крупные кристаллы редки. Содержание цемента составляет от 10% до 40–50% и даже 70% от площади шлифа. Среди пород данного типа нами выделяется три подтипа: первый – с многочисленными (до 20 % от площади шлифа) окатанными и полуокатанными обломками хлоритизированного вулканического стекла; второй – интенсивно карбонатизированные песчаники и песчаные известняки, в которых карбонатный цемент (несколько генераций) корродирует аллотигенные компоненты, в том числе интенсивно; третий подтип – с трещинами. Отличается от других песчаников второго типа несколько лучшей степенью раскристаллизации цемента. Карбонатные минералы (кальцит, в редких образцах – вместе с доломитом), выполняющие трещины, иногда совместно с кремнезёмом, раскристаллизованы лучше, чем цемент. В основном это мелко- и тонкокристаллические, иногда среднекристаллические зёрна, в песчаниках устькодинской свиты встречаются также крупно- и даже гигантокристаллические индивиды. Как правило, в трещинках, пронизывающих карбонатизированные псаммитолиты устькодинской свиты, кристаллы кремнезёма тоже более крупные. Ко второму подтипу следует отнести ещё и песчаники, которые, вероятно, изначально были граувакками с хлоритовым цементом, но в настоящее время у них пойкилитовый (как правило) карбонатный и кремневый цемент

В составе *третьего типа* (интенсивно ожелезненные песчаники) присутствуют фрагменты и реликты, реже целые зёрна, кварца, плагиоклазов, вулканитов, хлоритизированного вулканического стекла, кородированные, замещенные и сцементированные микрокристаллическими и аморфными оксидами и оксигидроксидами железа.

Среди **глинистых пород и ассоциирующихся с ними алевролитов** выделяются три петротипа. *Первый* – алевритистые и алевритовые аргиллиты и глинистые мелкозернистые алевролиты с оптически ориентированной основной массой (в целом, либо на определенных участках) и волнисто-слоистой и горизонтальной микротекстурой. Среди слоистых силикатов в них, как правило, преобладают иллиты и мусковит (в основном политипы 1М, реже 2М₁) и железистые и железисто-магнезиальные хлориты, а зёрна алевритовой размерности представлены кварцем и плагиоклазами. Наряду с перечисленными минералами в малых количествах (как правило менее 5 мас. %, реже до 10 мас. % по данным рентгеноструктурного и термического анализа) встречаются гётит, пирит и карбонатные минералы (кальцит и доломит). По наличию или отсутствию смешанослойных образований (ССО) ряда иллит–сметтит этот петротип подразделяется на два подтипа: в первом они отсутствуют, во втором – присутствуют в количестве до 30–40 мас. %. *Второй петротип* – карбонатизированные аргиллиты и глинистые мелкозернистые алевролиты с различными органическими остатками плохой и средней степени сохранности (онколиты, фрагменты раковин брахиопод, пелеципод, раковины остракод и пр.). Новообразованные кристаллы кальцита (до 30 % от площади шлифа) распределены неравномерно. *Третий петротип* – мергели с комковатой структурой основной тонкозернистой массы, сложенной карбонатным (до 60 % от площади шлифа) и глинистым материалом с алевритовой примесью. Первый

петротип развит среди пород обеих свит, карбонатизированные глинистые породы встречаются только в кодинской, а мергели – только в устькодинской свите.

Далеко не во всех исследованных образцах встречаются трещины с минеральным выполнением (единичные). При этом в петротипе 1 глинистых пород они выполнены карбонатным материалом, тогда как в мергелях (петротип 3) – кремнезёмом. В петротипе 2 нами трещины встречены не были.

Следует отметить, что трансформация смектита в иллит в глинистых породах кодинской и устькодинской свит носит неравномерный характер. На первый взгляд, в наиболее представительном разрезе кодинской свиты она подчиняется фациальному контролю, так как породы, содержащие ССО ряда иллит–смектит встречаются в составе карбонатно-глинистых СА, накопившихся в различных частях ММР, тогда как среди СА дельтового генезиса они отсутствуют. Однако в то же время пробы, отобранные из СА, характерных для ММР, также могут демонстрировать полную трансформацию ССО. Не обнаруживается каких-либо тенденций и для отложений глубоководных конусов выноса, выделяемых в устькодинскую свиту.

Песчаники с преобладанием хлорита в цементе, а также некарбонатизированные аргиллиты и глинистые мелкозернистые алевролиты аттестуются как псевдосиаллиты, отличимые по значениям щелочного модуля, редко как сиаллиты (аргиллиты) и псевдосилиты (песчаники). Карбонатизированные глинистые породы относятся к классу псевдогипогидролизатов, песчаники с развитым карбонатным и железным цементом – псевдосиферлитов и сиферлитов.

Источники сноса и климат на палеоводосборах, тектонические обстановки

При рассмотрении петрогенных граувакк кодинской и устькодинской свиты в шлифах можно утверждать, что на палеоводосборах размывались массивы различных пород, в том числе магматических (базальты, андезиты, долериты, риолиты, граниты и пр.), кремневые толщи, а также в разной степени метаморфизованные образования (кварциты, сланцы, серпентиниты). Наличие разнообразного петрофонада можно диагностировать и при интерпретации геохимического состава песчаников и аргиллитов. Например, на наличие ультрамафитов в петрофонде указывает смещение фигуративных точек в сторону вершины Ni на диаграмме V–Ni–Th $\times 10$ [Bracciali et al., 2007], отклонение от линии “основной петрофонд”–“кислый петрофонд” на диаграмме Cr/Th–Th/Sc [Condie, Wronkiewicz, 1990], и, в целом, обогащение (при нормировке на референтные объекты) песчаников и аргиллитов элементами, характерными, в том числе, для ультраосновного петрофонада – Cr, Co и Ni.

Исследуемые песчаники похожи по набору ОП на песчаные породы локальных кондихинской и восточносафьяновской толщ, возникшие за счет разрушения блоков активной континентальной окраины (АКО) [Государственная..., 2011], а по набору ОП и геохимическому облику – на псаммитолиты западного типа зилаирской серии, в частности, на практически одновозрастные с кодинской свитой образования биягодинской свиты (в особенности верхнего горизонта). Генезис последних связан с выветриванием толщ АКО на Южном Урале (см., например, [Пучков, 2010]). Иными словами, наиболее вероятным источником сноса нам представляется композитная кора АКО – на эрозионный срез в позднефранское время были выведены островодужные и спрединговые комплексы, а также континентальная кора, то есть следует уточнить время начала аккреции (граница F/F по [Петров и др., 2008]) на Среднем Урале поздним франом.

Климат на палеоводосборах скорее всего был гумидным (значения CIA > 70 [Nesbitt, Young, 1982]), при этом в кодинское время интенсивность выветривания

была как более, так и менее значительной – верхнефранские глинистые породы и алевролиты демонстрируют величины CIA равные 67–83 при среднем 77 ± 3 , тогда как для для фаменских разностей характерны величины индекса CIA от 70 до 77 при среднем 74 ± 2 . С использованием критерия, предложенного в [Подковыров, 2011], можно предполагать, что CIA в данном случае отражает именно изменение интенсивности выветривания, так как значимые корреляционные связи между ним и индикаторными соотношениями, отражающими состав пород–источников сноса (La/Sc, Th/Sc, Th/Cr), отсутствуют: $r(\text{CIA-La/Sc, Th/Sc, Th/Cr})$ для обеих выборок ≈ 0 .

Геохимические индикаторы некоторых гидрофаций

При рассмотрении кодинской и устькодинской свит необходимо говорить о субаквальных окислительно-восстановительном и восстановительно-окислительном типах диагенеза по [Логвиненко, 1980]. Первый в целом характерен для морских отложений с низким содержанием ОВ, второй – возникает в тех случаях, когда нормальный ход восстановительного морского диагенеза нарушается размывом и перемывом отложений гиперпикнальными потоками.

Геохимические характеристики интервалов, вмещающих гиперпикниты и турбидиты, необходимо использовать с осторожностью при реконструкции гидрофаций. Достаточно уверенно можно говорить только о том, что в проксимальной части ММР (СА2.1, низ толщи I, СА8, средняя часть толщи IV, и отложения в карьерах в районе с. Черемхово) обстановки были окисдными. Вероятно, следует считать, что только отложения блока А толщи III (фацция ДММР, СА 2.2) накапливались в субокисдных обстановках, так как они сильнее прочих обогащены U (на диаграмме $U_{\text{EF}}-Mo_{\text{EF}}$ [Algeo, Tribovillard, 2009; Tribovillard et al., 2012] фигуративные точки смещены вправо). Понижение уровня кислорода в придонном слое воды с увеличением глубины представляется вполне естественным, однако это явление также может быть связано и с Кельвассеровским событием (отложения имеют “подходящий” возраст). Последнее предположение нуждается в уточнении.

Распределение фауны, вероятно, контролировалось количеством взвешенного в воде материала и изменением солености, что связано с активностью речной системы. Об этом может свидетельствовать неплохая сходимость результатов фациального анализа с распределением по разрезу концентраций В и величин В/Ga. Например, при рассмотрении этих индикаторов можно предполагать, что во время накопления СА, определяемых нами как образовавшиеся в нормально-морских условиях, эпизодически происходило опреснение. В частности, это подтверждается геохимическими характеристиками проб, отобранных из тех частей СА (фацция прodelьты), где глинистые породы перекрываются относительно мощными песчаниками, и/или в которых отсутствует бентосная фауна либо присутствует только эвригалинная. Они (характеристики) схожи с таковыми пресноводных и опресненных пачек фронтальной части дельты и прodelьты, приливно-отливной равнины.

Литогенетические преобразования и наложенные изменения

Стадию постседиментационных преобразований изученных песчаников и глинистых пород можно оценить как позднекатагенетическую (рисунок 4). В первую очередь об этом свидетельствует массовое развитие хлоритового цемента в граувакках. Согласно [Worden et al., 2020], оно связано с растворением аксессуарных минералов, преобразованиями вулканических стекол, в том числе обломков основных и средних вулканитов, а также с трансформацией смектитов при нагреве более 120°C .

Для позднего катагенеза также характерно [Эпигенез..., 1971; Логвиненко, Орлова, 1987; Дриц, Коссовская, 1990; Япаскурт, 2008]: (1) широкое развитие конформных и инкорпорационных контактов, являющихся результатом гравитационного уплотнения и коррозии зёрен, (2) пластические, гибкие и хрупкие деформации аллотигенных компонентов, в том числе трещины в породе, и (3) практически полная трансформация смектитов в ССО ряда иллит–смектит и хлорит–смектит, наиболее благоприятные условия для которой отвечают температурам начала позднего катагенеза, а также (4) наличие швов флюидоразрыва, источниками вещества для образования которых могут быть, в том числе флюиды, возникшие при трансформации смектитов.

Однако трещины в породах и выполняющие их и поровое пространство, а также сутурные швы, минералы кремния, а тем более карбонатные, не обязательно имеют исключительно позднекатагенетическую природу. Их аутигенез, возможно, связан не только с фоновыми литогенетическими преобразованиями, протекающими при погружении отложений, но и со вторичными изменениями, имеющими наложенный характер. Так, аутигенные чужеродные (аутигенные аллогенетические по [Холодов, 1970]) или наложенные минералы имеют ряд отличительных признаков [Япаскурт, 2014, с. 45], которым рассматриваемые новообразования кремневых и карбонатных минералов удовлетворяют. На их наложенный характер, по-видимому, указывает и парагенез с весьма редко встречающимися в песчаниках структурно-вещественными признаками (полоски Бёма, рекристаллизационно-бластическое замещение кварца кварцем и прочие), характерными для метагенеза согласно [Симанович, 1978; Япаскурт, 2008 и ссылки в ней].

Неравномерная степень трансформации смектитов в разрезе может быть связана с прогревом в результате взаимодействия пород с дайками бекленищевской свиты, а также вдоль разломов в ходе воздымания и деформации толщ. Похожее явление описано, например, для третичных отложений юго-запада Рейнского грабена [Heling, 1974], а также для палеоген–неогеновых пород аккреционной призммы Барбадос [Schoonmaker et al., 1986]. Как уже упоминалось, источником кремнезёма в трещинах являются флюиды, высвобождающиеся при трансформации смектита в иллит. Однако сложно сказать, что именно являлось источником соединений, из которых осаждались карбонаты. В этой роли могли выступать как флюиды, возникшие в результате трансформации смектитов, так и, например, флюиды других формаций (подстилающей кодинскую свиту карбонатной толщи, толщ обрамления Кодинского блока) либо воды седиментосферы.

Таким образом, микротрещины и их минеральное выполнение в глинистых и песчаных верхнедевонских породах Кодинского блока, очевидно, генетически связаны с позднекатагенетическими и регрессивными литогенетическими изменениями пород.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В позднедевонское время на аккреционной окраине Восточно-Европейского континента вблизи территории ВУМЗ существовала структура сложного состава (композитная кора). На поверхности этой структуры в условиях гумидного климата на различном удалении от приемного бассейна, скорее всего являвшегося окраинным морем, эродировались массивы магматических (базальты, андезиты, долериты, риолиты, граниты и пр.), в разной степени метаморфизованных образований (сланцы, кварциты, серпентиниты), кремневые толщи, а также известняки, что способствовало накоплению кодинской (верхний флан) и устькодинской (фамен) терригенных толщ. Немаловажно, что образование первой, по-видимому, служит индикатором начала

Стадия литогенеза и тип постседиментационных изменений		Структурно-вещественные признаки литогенетических процессов		
Наложенные изменения		Типы песчаных отложений		
Прорессивно-литогенетические (фоновые) преобразования		Петротипы глинистых и ассоциирующихся с ними алевроитовых отложений		
Диagenез	Катагенез	1	2	3
Диagenез	Ранний	1 Каёмки и отростки регенерационного кварца I 2 Хлоритовые каёмки (в том числе крустификационные) 3 Каёмки и отростки регенерационного кварца II 4 Хлоритовый поровый цемент 5	1 Хлоритизированное вулканическое стекло 2 Карбонатный цемент (плёнки) 3 Карбонатный базальный цемент, следы коррозии и растворения обломков 4 Карбонатные минералы по хлоритизированному вулканическому стеклу 5	3 Окси- и гидроксиды железа (базальный цемент), следы коррозии и растворения обломков
	Поздний	6 Стиллитовые и парастиллитовые швы 7 Полоски Бёма в зёрнах кварца, цемент проникновения, шиповидные вкрастания хлорита в кварц, бластез 8 Кременезём вокруг зёрен (регенерация III?), в порах и трещинах, стиллитах 9 Карбонатные минералы в порах и трещинах, порфириобласты, в том числе с пойкилитовым строением	6 7 8 9	Иллит (полностью трансформированный смектит) Кременезём в трещинах Карбонатные минералы в трещинах
Метагенез		Деформации аллотипенных? Трещины в породе? Конформные и инкорпорационные, сутурные МКК	Трещины в породе? Кременезём в трещинах Карбонатные минералы в трещинах	Иллит (полностью трансформированный смектит) Кременезём в трещинах Карбонатные минералы в трещинах
Ретрессивный литогенез		Трещины в породе? Деформации аллотипенных? Конформные и инкорпорационные, сутурные МКК	Трещины в породе? Кременезём в трещинах Карбонатные минералы в трещинах	Иллит (полностью трансформированный смектит) Кременезём в трещинах Карбонатные минералы в трещинах

Цифры в кружочках и квадратиках – последовательность появления признаков в породе, наблюдаемая в шлифах.

Рисунок 4. Схема предполагаемого соотношения некоторых структурно-вещественных признаков, наблюдаемых в породах кодинской и устькодинской свит, со стадиями литогенеза

аккреционных процессов для Среднего Урала, дополняя существующие изотопные датировки [Петров и др., 2008].

Известняки во франское время размывались также и в бассейне седиментации, где существовали небольшие биогермные массивы. Обломочный материал этих массивов способствовал формированию позднефранской карбонатной толщи (до 60 м), подстилающей кодинскую свиту (порядка 950 м), а также некоторых пачек в составе кодинской свиты.

Для кодинской свиты предполагается седиментация в обстановках фронтальной части дельты и продельты, а также мелководно-морской равнины – литорали и периодически опреснявшейся сублиторали. Осадки поступали в виде взвеси, алевро-глинистой суспензии, с помощью речных течений, в том числе гиперпикнальных, реже в результате оползания устьевых баров. Затем они перерабатывались и перераспределялись вдольбереговыми течениями, волнениями и штормами. Тип дельтовой системы (или систем?) можно охарактеризовать как существовавший при преобладании речной активности либо речной активности в сочетании с волновой. В ходе формирования кодинской свиты дельтовая система эволюционировала от менее грубого типа (глинисто-песчаного?) к более грубому (существенно песчаному). В целом, дельтовая система проградировала достаточно далеко в бассейн, о чем свидетельствует наличие в области продельты отложений интрабассейновых мутьевых потоков.

Образование фаменской устькодинской свиты (более 1000 м) тесно связано с (относительно?) глубоководными обстановками. В изученных разрезах выявлены проксимальные и медиальные части глубоководного конуса выноса. Обломочный материал поступал в них с мутьевыми и обломочными потоками, реже приносился оползнями. Тип системы менялся со смешанного на более гравелитистый (по [Reading, Richards, 1994]). Причиной изменений могло являться усиление тектонической активности в области сноса.

В разрезах обеих свит выделяются циклиты различных порядков, начиная от ЭЦ и мезоциклитов (циклитов 3-го порядка), заканчивая макроциклитами, элементами которых являются отдельные толщи. Их формирование связано как с автоциклическими, так и с аллоциклическими факторами, такими как миграция и отмирание распределительных каналов, в том числе их субаквальных частей, а также разномасштабными эвстатическими колебаниями.

Терригенный материал, поступивший в бассейн осадконакопления, в ходе литогенеза преобразовался в петрокластические кварц-полевошпатовые и полевошпатовые граувакки, хлорит-иллитовые и иллит-хлоритовые глинистые породы, и ассоциирующиеся с ними алевролиты, в том числе со ССО ряда иллит-смектит. Все перечисленные породы являются петрогенными, примесь пирокластике в песчаниках (кристаллокласты?, неокатанные преобразованные витрокласты?) если и присутствует, то в незначительных количествах.

Перед выведением на дневную поверхность породы кодинской и устькодинской свит претерпели преобразования, характерные для стадий позднего катагенеза, а также наложенного метагенеза и регрессивного литогенеза. Последние две стадии, вероятно, протекали на фоне коллизии и орогенеза, происходивших в

раннекаменноугольное и более позднее время на территории ВУМЗ. При постседиментационных изменениях аргиллиты и алевролиты подверглись иллитизации и карбонатизации, песчаники – кальцитизации (несколько эпизодов, в том числе по трещинам), доломитизации (также по трещинам), ожелезнению, окремнению (редкие случаи диа- и катагенетической регенерации кварца, более поздний кремнезем по трещинам, в стилолитах и в околотрещинном поровом пространстве), хлоритизации (также в несколько этапов) с практически полным превращением смектитов, изначально присутствовавших в поровом пространстве, в хлорит и иллит.

СПИСОК РАБОТ, ОПУБЛИКОВАННЫХ ПО ТЕМАТИКЕ ДИССЕРТАЦИИ

Статьи в журналах из списка ВАК

1. **Мельничук О. Ю.** Особенности вещественного состава аргиллитов кодинской свиты (верхний девон, восток Среднего Урала) / О. Ю. Мельничук, А. Д. Рянская // Литосфера. – 2017. – Т. 17, № 3. – С. 71–86.
2. **Мельничук О. Ю.** Позднедевонская дельтовая система на востоке Среднего Урала / О. Ю. Мельничук // Вестник Пермского Университета. Геология. – 2018. – Т. 17, № 1. – С. 18–32.
3. **Мельничук О. Ю.** Устькодинская свита фамена восточного склона Среднего Урала: фациально-генетические реконструкции / О. Ю. Мельничук // Вестник Института геологии Коми НЦ УрО РАН. – 2018. – № 3 (279). – С. 8–16.
4. Маслов А. В. Реконструкция состава пород питающих провинций. Статья 1. Минералого-петрографические подходы и методы / А. В. Маслов, **О. Ю. Мельничук**, Г. А. Мизенс, Ю. В. Титов // Литосфера. – 2019. – Т. 19, № 6. – С. 834–860.
5. Маслов А. В. Реконструкция состава пород питающих провинций. Статья 2. Лито- и изотопно-геохимические подходы и методы / А. В. Маслов, **О. Ю. Мельничук**, Г. А. Мизенс, Ю. В. Титов, М. В. Червяковская // Литосфера. – 2020. – Т. 20, № 1. – С. 40–62.

Другие значимые статьи, материалы и тезисы конференций

1. **Мельничук О. Ю.** Фации продельты в составе позднедевонского дельтового конуса (восток Среднего Урала) / О. Ю. Мельничук // Проблемы минералогии, петрографии и металлогении. Научные чтения памяти П.Н. Чирвинского. – № 19. – Пермь: ПГНИУ, 2016. – С. 201–206.
2. **Мельничук О. Ю.** Обстановки формирования верхнедевонских отложений среднеуральского сегмента Восточно-Уральской мегазоны / О. Ю. Мельничук // Геология, геоэкология и ресурсный потенциал Урала и сопредельных территорий. Материалы IV Всероссийской молодежной геологической конференции. – Уфа: ИГ УНЦ РАН, 2016. – С. 45–49.
3. **Мельничук О. Ю.** Гидрофации верхнедевонской кодинской свиты по палеонтологическим и геохимическим данным (восточный склон Среднего Урала) / О. Ю. Мельничук, А. Г. Мизенс // Уникальные литологические объекты через призму их разнообразия. Материалы 2-й Всероссийской школы студентов, аспирантов и молодых ученых по литологии. – Екатеринбург: ИГГ УрО РАН, 2016. – С. 162–165.
4. **Мельничук О. Ю.** К вопросу об эволюции источников сноса во время формирования кодинской и устькодинской свит (верхний девон, восточный склон Среднего Урала) / О. Ю. Мельничук // Строение литосферы и геодинамика:

Материалы XXVII Всероссийской молодежной конференции с участием исследователей из других стран. – Иркутск: ИЗК СО РАН, 2017. – С. 149–150.

5. **Мельничук О. Ю.** Вещественный состав дайки из разреза кодинской свиты на р. Исеть (восточный склон Среднего Урала) / О. Ю. Мельничук, Е. Н. Волчек // Ежегодник-2017. Тр. ИГГ УрО РАН, вып. 165. – Екатеринбург, 2018. – С. 131–135.

6. Дуб С. А. Карбонатные конкреции в песчаных породах верхнедевонской кодинской свиты (восточный склон Среднего Урала) / С. А. Дуб, **О. Ю. Мельничук**, Г. А. Мизенс // Экзолит-2018. Научные чтения памяти О.В. Япаскурта. – М.: МГУ, 2018. – С. 29–31.

7. **Мельничук О. Ю.** Идентификация петротипов песчаных пород по литохимическому составу / О. Ю. Мельничук // Литология и я: от идей до выводов. Материалы 3-й Всероссийской школы студентов, аспирантов и молодых ученых по литологии. – Екатеринбург: ИГГ УрО РАН, 2018. – С. 102–105.

8. **Мельничук О. Ю.** Верхнефранские известняки кодинского разреза – органогенная постройка? (Средний Урал) / О. Ю. Мельничук, С. А. Дуб, И. Г. Закирьянов // Материалы IX Сибирской конференции молодых учёных по наукам о Земле. – Новосибирск: СО РАН, 2018. – С. 371–373.

9. **Мельничук О. Ю.** Гиперпикниты в разрезе кодинской свиты (верхний девон, восточный склон Среднего Урала) / О. Ю. Мельничук // Экзолит-2019. Фациальный анализ в литологии: теория и практика. Годичное собрание (научные чтения), посвященные 110-летию со дня рождения Г.Ф. Крашенинникова / ред. Ю.В. Ростовцевой. – М.: МГУ, 2019. – С. 94–96.

10. **Мельничук О. Ю.** К вопросу о типах терригенных мелководно-морских осадочных систем / О. Ю. Мельничук // Ежегодник-2018. Тр. ИГГ УрО РАН, вып. 166. – Екатеринбург, 2019. – С. 73–78.

11. **Мельничук О. Ю.** Особенности седиментации верхнедевонской дельтовой системы (кодинская свита, восточный склон Среднего Урала) / О. Ю. Мельничук // Осадочные планетарные системы позднего палеозоя: стратиграфия, геохронология, углеводородные ресурсы. Сборник тезисов Международной стратиграфической конференции Головкинского. – Казань: КФУ, 2019. – С. 165–166.

12. **Мельничук О. Ю.** Особенности вещественного состава песчаников верхнедевонской кодинской и устькодинской свит (восточный склон Среднего Урала) / О. Ю. Мельничук // Литология осадочных комплексов Евразии и шельфовых областей: материалы IX Всероссийского литологического совещания (с международным участием). – Казань: КФУ, 2019. – С. 287–288.

13. **Мельничук О. Ю.** К методике интерпретации лито- и геохимических особенностей состава мелко- и глубоководных глинистых пород / О. Ю. Мельничук // Методы, методы и снова методы в литологии. Материалы 4-й Всероссийской школы студентов, аспирантов, молодых ученых и специалистов по литологии. – Екатеринбург: ИГГ УрО РАН, 2020. – С. 30–33.