

*На правах рукописи*



ДУБ Семён Александрович

**КАРБОНАТНЫЕ ОТЛОЖЕНИЯ УКСКОЙ СВИТЫ  
ВЕРХНЕГО РИФЕЯ ЮЖНОГО УРАЛА:  
ЛИТОЛОГИЯ, ГЕОХИМИЯ, ОБСТАНОВКИ СЕДИМЕНТАЦИИ**

1.6.5 – Литология

**АВТОРЕФЕРАТ**

диссертации на соискание ученой степени  
кандидата геолого-минералогических наук

Екатеринбург  
2025

Работа выполнена в Федеральном государственном бюджетном учреждении науки (ФГБУН) Институте геологии и геохимии им. академика А.Н. Заварицкого Уральского отделения Российской академии наук (РАН), г. Екатеринбург

**Научный руководитель:**

**Маслов Андрей Викторович,**

доктор геолого-минералогических наук,  
член-корреспондент РАН,  
ФГБУН Институт геологии и геохимии Уральского  
отделения РАН (ИГГ УрО РАН, г. Екатеринбург),  
главный научный сотрудник,  
ФГБУН Геологический институт РАН (ГИН РАН,  
г. Москва), главный научный сотрудник

**Официальные оппоненты:**

**Антошкина Анна Ивановна,**

доктор геолого-минералогических наук, профессор,  
ФГБУН Институт геологии Федерального исследо-  
вательского центра «Коми научный центр Ураль-  
ского отделения РАН» (ИГ ФИЦ Коми НЦ УрО  
РАН, г. Сыктывкар), главный научный сотрудник

**Ростовцева Юлиана Валерьевна,**

доктор геолого-минералогических наук, доцент,  
ФГБУН Геофизический центр РАН (ГЦ РАН,  
г. Москва), главный научный сотрудник

**Ведущая организация**

ФГБУН Институт нефтегазовой геологии и геофи-  
зики Сибирского отделения РАН (ИНГГ СО РАН,  
г. Новосибирск)

Защита состоится «16» февраля 2026 года в 14:30 на заседании диссертационного совета 24.1.019.03 в ГИН РАН по адресу: 119017, г. Москва, Пыжевский пер., 7, стр. 1.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке ФГБУН Института геологии рудных месторождений, петрографии, минералогии и геохимии РАН (ИГЕМ РАН). Адрес: г. Москва, Старомонетный пер., 35, стр. 7.

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

Автореферат разослан «    » \_\_\_\_\_ 2025 года.

Ученый секретарь

диссертационного совета 24.1.019.03,  
кандидат геолого-минералогических наук

Латышева Ирина Валерьевна

## ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

**Актуальность исследования.** Верхнедокембрийские осадочные толщи западного склона Южного Урала, обнажающиеся в пределах Башкирского мегантиклинория (БМА), характеризуются хорошо сохранившимися седиментогенными признаками, позволяющими реконструировать древние обстановки осадконакопления с высокой степенью достоверности. В то же время карбонатные последовательности рифея БМА во многом еще нуждаются во всестороннем изучении на современном уровне – число публикаций, посвященных непосредственно обстановкам их накопления, весьма невелико [Хабаров, 1985; Крылов, Заварзин, 1988; Маслов, 1988; Сергеев, 1992; Крупенин, 1999; Маслов, Анфимов, 2000; Ларионов, 2015]. В том числе одним из таких недостаточно хорошо исследованных геологических тел является терригенно-карбонатная укская свита верхнего рифея.

Укская свита завершает разрез каратауской серии верхнего рифея западного склона Южного Урала. В силу своего стратиграфического положения, свита рассматривается как один из ключевых объектов для реконструкции глобальных процессов в позднем докембрии [Кузнецов и др., 2003, 2006; Маслов и др., 2019; Сергеева и др., 2023; Grazhdankin et al., 2024; и др.]: изучение пограничных рифейско-вендских отложений БМА позволяет отследить крупные перестройки в биосфере, атмосфере и гидросфере того времени в контексте геологической истории Урала.

При этом до сих пор существует ряд спорных моментов, касающихся возраста и соотношений этого геологического тела с подстилающими и перекрывающими толщами, до конца не проработаны вопросы литолого-стратиграфического расчленения свиты и корреляции разрезов. Литолого-фациальные реконструкции ранее ограничивались в основном краткими описаниями разрезов и диагностикой в них строматолитов [Беккер, 1961; Козлов, 1982; Стратотип..., 1983; Хабаров, 1985; Козлов и др., 1995; Маслов и др., 2001]. В настоящее время требуется более детальная и актуализированная характеристика разрезов с седиментологической интерпретацией структурно-текстурных особенностей пород.

Каждая свита как местное стратиграфическое подразделение должна иметь стратотип [Стратиграфический..., 2019]. Сопоставление с эталонным разрезом позволяет определять принадлежность тех или иных отложений на любом этапе геологоразведочных работ, корректно коррелировать различные толщи в пределах региона (или осадочно-породного бассейна), а также проследить их фациальную изменчивость. В этой связи комплексное изучение стратотипа укской свиты (р. Юрюзань, г. Усть-Катав) и его подробное описание с привлечением данных петрографических исследований имеют первостепенное значение.

**Цели и задачи.** Цель работы заключалась в определении комплекса литологических и геохимических характеристик укской свиты как геологического тела и реконструкции на их основе обстановок седиментации карбонатных отложений. Для ее достижения решались следующие задачи:

1. Подробное описание стратотипического разреза укской свиты, ее литостратиграфическое расчленение и корреляция разрезов.
2. Выявление текстурно-структурных характеристик отложений в разрезе и в шлифах, с идентификацией микрофаций известняков и уточнением характера вторичных преобразований.
3. Фациальный анализ и реконструкция колебаний уровня моря.
4. Установление геохимических (включая литохимические) характеристик пород, их интерпретация; выбор проб, пригодных для определения параметров среды седиментации; реконструкция окислительно-восстановительных обстановок (редокс-обстановок) в палеобассейне.
5. Уточнение возраста укской свиты с учетом всей имеющейся к настоящему моменту информации, в том числе данных о стратиграфическом значении некоторых осадочных образований и о наличии перерывов.

**Научная новизна.** 1. Получены новые независимые от абсолютной геохронологии данные, проясняющие вопрос о корреляции укской свиты каратауской серии БМА с хроностратиграфической шкалой. 2. Предложена первая схема стратификации укской

свиты, выделенные литостратиграфические подразделения прослежены в пределах западного крыла БМА, сделана попытка скоррелировать разрезы разных зон, особое внимание уделено установлению границы нижней и верхней подсвит вне стратотипического разреза. 3. Впервые детально охарактеризованы обстановки осадконакопления карбонатных отложений укской свиты. 4. Определены геохимические особенности (редокс-статус) бассейна седиментации в уксское время. 5. Освещен ряд методических вопросов, касающихся изучения литологических и геохимических характеристик карбонатных и терригенно-карбонатных отложений.

**Теоретическая и практическая значимость.** Полученные результаты могут быть использованы для корреляции удаленных разрезов укской свиты, а также при крупномасштабных геологосъемочных работах. Представленные литолого-стратиграфические данные рекомендуются учитывать при обновлении региональных стратиграфических схем верхнего докембрия (рифья и венда) Урала. Седиментологические реконструкции представляют ценность как сравнительный материал при изучении других осадочных бассейнов (прежде всего докембрийских), в том числе при литолого-фациальном анализе нефтегазоносных толщ и трехмерном моделировании карбонатных резервуаров. Использованные критерии выбора проб, несущих информацию о составе древней морской воды, могут применяться для корректного определения редокс-параметров других палеобассейнов на основе геохимии редкоземельных элементов (РЗЭ). К укской свите приурочены наложенные проявления Pb-Zn и Fe руд, поэтому большое значение имеют результаты анализа эпигенетических преобразований пород.

#### **Защищаемые положения.**

1. Укская свита впервые подразделена на толщи. В ее стратотипическом разрезе (р. Юрюзань, г. Усть-Катав) нижняя подсвита имеет терригенно-карбонатный состав и включает три толщи: терригенную ямаштинскую, карбонатную аккостякскую и терригенно-карбонатную авдырдакскую, прослеживающиеся в пределах всего западного крыла Башкирского мегантиклинория. Верхняя карбонатная подсвита в стратотипе сложена последовательностью из четырех толщ (юрюзанской, медвежьей I, манайсинской и медвежьей II), при этом манайсинская толща представлена слоистыми зернистыми карбонатными отложениями, а остальные – преимущественно массивными строматолитовыми известняками. Верхняя подсвита характеризуется заметной изменчивостью по латерали.

2. Отложения нижнеукской подсвиты, вскрытые в северной части мегантиклинория (в стратотипе), накапливались в мелководных, но более удаленных от берега обстановках по сравнению с отложениями западных и юго-западных районов. Укская карбонатная платформа не имела рифового обрамления и представляла собой рампу, подверженный влиянию штормов. Постройки строматолитов *Linella* верхней подсвиты формировались ниже границы внутреннего и среднего рампы (ниже базиса действия обычных волн, но в пределах фотической зоны) и относятся к фациальному поясу «строматолитовых лугов».

3. В известняках верхнеукской подсвиты цериевая аномалия слабая отрицательная или практически отсутствует, что предполагает низкое содержание кислорода в бассейне седиментации. Редокс-статус среды осадконакопления главным образом определялся составом вод Мирового океана, с которым бассейн восточной пассивной окраины Балтики в это время сообщался и в котором были широко распространены аноксические обстановки.

4. Укская свита сформировалась до оледенения Стерт, охватывающего интервал ~717–660 млн лет. В пользу этого, помимо регионально-геологических и хемостратиграфических данных, свидетельствуют литологические особенности пород: для слоистых известняков обеих подсвит характерны текстуры molar-tooth, почти полностью отсутствующие в отложениях моложе 717 млн лет.

**Фактический материал и методы исследования.** Материалы для настоящей работы собраны во время полевых сезонов 2017–2024 гг. Стратотип укской свиты изучался в течение нескольких сезонов.

1. Изучен и подробно описан стратотипический разрез «Медведь» мощностью ~215 м; разрезы «Кулмас», «Аккостяк», «Куртаза–Савинтук» охарактеризованы с меньшей степенью детальности.

2. Изучено порядка 250 петрографических шлифов (здесь и далее имеются в виду главным образом породы карбонатных толщ), выделены микрофации известняков. Шлифы изготовлены в ИГГ УрО РАН (г. Екатеринбург) и ИНГТ СО РАН (г. Новосибирск), лабораторные исследования выполнены в ИГГ УрО РАН.

3. Для уточнения минерального состава рентгеноструктурным методом (РСА) проанализировано 30 образцов.

4. Методом рентгенофлуоресцентного анализа (РФА) определен химический состав отложений по 75 пробам.

5. С помощью метода ICP-MS изучен микроэлементный состав 60 валовых проб пород и 47 кислотных вытяжек (из них же), полученных при использовании уксусной, азотной и соляной кислот.

6. Для определения характера постседиментационных преобразований проведено изучение пород с помощью растрового электронного микроскопа (РЭМ).

**Личный вклад автора.** Работы по детальному изучению карбонатных отложений уксской свиты были инициированы Д.В. Гражданкиным и А.В. Масловым. Полевые исследования проходили при участии автора, большая часть из них была непосредственно им организована. Автором проводилась документация разрезов, отбор образцов для изготовления шлифов и изучения химического и микроэлементного состава пород, а также пробоподготовка. Им обработаны материалы исследований, вошедшие в диссертацию: охарактеризованы и стратифицированы осадочные последовательности, описаны особенности пород в шлифах, проинтерпретированы полученные данные, обобщены результаты, сформулированы выводы (при этом использованы классические и современные методы исследований). Интерпретации основаны как на отечественных, так и на зарубежных подходах.

**Апробация работы.** Результаты исследований апробированы на ряде конференций регионального и всероссийского уровня: Всероссийская школа студентов, аспирантов и молодых ученых по литологии (Екатеринбург, 2018 г.), Научные чтения памяти П.Н. Чирвинского «Проблемы минералогии, петрографии и металлогении» (Пермь, 2019 г.), Всероссийское литологическое совещание «Геология рифов» (Сыктывкар, 2020 г.), Молодежная школа имени В.В. Зайкова «Металлогения древних и современных океанов-2024. Рудогенез» (Миасс, 2024 г.), Межрегиональная конференция «Геология, полезные ископаемые и проблемы геоэкологии Башкортостана, Урала и сопредельных территорий» (Уфа, 2024 г.), Уральское литологическое совещание «Гетерогенность в осадочных системах» (Екатеринбург, 2024 г.), Всероссийская научная конференция «Фундаментальные проблемы изучения вулканогенно-осадочных, терригенных и карбонатных комплексов» (Москва, 2025 г.).

Диссертант является автором или соавтором более 50 публикаций, из них по теме диссертации в рецензируемых журналах из списка ВАК опубликовано 8 статей.

**Структура и объем диссертации.** Диссертационная работа объемом 260 страниц состоит из введения, пяти глав, заключения, пяти приложений, 89 рисунков и 8 таблиц. Список литературы включает 559 наименований.

**Финансирование.** Основной объем исследований выполнен при финансовой поддержке РФФИ – грант № 18-05-00062 «Осадочные системы уксской свиты верхнего рифея Южного Урала: седиментология, палеобиология, геохимия» (руководитель А.В. Маслов). Работы велись также в рамках тем АААА-А18-118053090044-1 «Геобиосферные процессы и их отражение в изотопно-геохимических характеристиках осадочных и вулканогенно-осадочных образований» и 123011800013-6 «Крупные этапы формирования осадочных и вулканогенно-осадочных последовательностей верхнего докембрия и палеозоя Урала» (руководитель А.В. Маслов) госзадания ИГТ УрО РАН.

**Благодарности.** Автор искренне признателен своему научному руководителю А.В. Маслову за погружение в мир докембрия, ценные советы и замечания, доброжелательное отношение и колоссальное терпение. Данная работа не состоялась бы без содействия и поддержки сотрудников лаборатории литологии ИГТ УрО РАН – Л.В. Бадицы, О.Ю. Мельничука, М.Т. Крупенина, Г.А. Мизенса, Н.С. Глушковой (ей автор особо благодарен за макетирование этого автореферата), И.Г. Закирьянова, Г.А. Петрова, Ю.Л. Ронкина, Н.К. Николенко, А.И. Ялышевой. Чрезвычайно продук-

тивным и полезным было обсуждение затрагиваемых в диссертации тем с Д.В. Гражданкиным, В.М. Горожаниным, Н.Д. Сергеевой, С.В. Мичуриным, А.Б. Кузнецовым, В.Н. Кулешовым, Л.Г. Вакуленко, Е.С. Пономаренко, В.А. Матвеевым, Н.Б. Кузнецовым, А.В. Колесниковым, В.Н. Сергеевым, К.Е. Наговициным, Д.С. Мельником, Г.Ф. Поливкиным.

Полевые работы на разрезах укской свиты проходили совместно с коллективом исследователей из ИНГГ СО РАН (Д.В. Гражданкин, Д.С. Мельник, А.В. Колесников, Н.И. Бобков, Д.О. Александров) и ИГГ УрО РАН (М.Т. Крупенин, А.В. Маслов, О.Ю. Мельничук, Л.В. Бадида, Д.В. Вдовин). Организации полевых и камеральных работ всегда способствовали администрация и сотрудники ИГГ УрО РАН.

База знаний автора по осадочной геологии была заложена профессором В.П. Алексеевым и преподавателями кафедры Литологии и геологии горючих ископаемых УГГУ. Опыт работы с каменным материалом также получен в Лаборатории литолого-минералогических исследований ядра (завлаб И.В. Вяткина) Тюменского центра исследований пластовых систем (г. Тюмень).

Значительное влияние на формирование научной картины мира автора оказало общение с М.П. Покровским, В.В. Черных, Н.А. Кучевой, Т.И. Степановой, Р.М. Ивановой, Г.Ю. Шардаковой, А.В. Коровко (ИГГ УрО РАН). Автор искренне признателен своим Учителям, всегда делившимся своим опытом и знаниями, – П.С. Козлову, благодаря которому геология стала для автора образом жизни, и Г.А. Мизенсу, открывшему путь в науку и помогающему во всех начинаниях. Огромное спасибо моим родным и супруге А.С. Дуб за понимание и постоянную поддержку.

## **УКСКАЯ СВИТА ВЕРХНЕГО РИФЕЯ БАШКИРСКОГО МЕГАНТИКЛИНОРИЯ. СОСТОЯНИЕ ИЗУЧЕННОСТИ**

**История изучения.** Укскую свиту как самостоятельное подразделение выделил из состава миньярской свиты С.М. Домрачев [1952] и отнес к девону. Позднее Ю.Р. Беккером [1958, 1961] было показано, что укская свита – это докембрийское подразделение. В 1960–1970-х гг. считалось, что свита имеет вендский возраст [Комар и др., 1965; Келлер, 1966; Сюндюков, Ревенко, 1972; Романов, 1973; Раабен, 1975], при этом нижняя граница венда проводилась в ее основании. Заключение Т.В. Янкаускаса по микрофоссилиям позволило отнести укскую свиту к рифею [Стратотип..., 1983]. Некоторое время свита причислялась к кудашу (выделяемому в составе «вендомия» или «терминального рифея») [Келлер, 1974; Семихатов и др., 1979; Стратотип..., 1983]. В конце XX и начале XXI вв. исследования были сосредоточены на решении вопросов микропалеонтологии, литохимии и изотопной хемотратиграфии. К настоящему времени получены данные о микрофоссилиях в терригенных отложениях свиты [Янкаускас, 1980; Стратотип..., 1982; Вейс и др., 2003; Сергеев, 2006; Сергеев и др., 2010; Станевич и др., 2018], составе органического вещества [Маслов и др., 2019; Парфенова, Мельник, 2020а, 2020б], изотопном возрасте глауконита [Горожанин, Кутявин, 1986; Зайцева и др., 2008, 2022б], распределении возрастов обломочного циркона [Зайцева и др., 2022а], а также об изотопном составе стронция и углерода в карбонатах [Подковыров и др., 1998; Кузнецов и др., 2003, 2006]. Большинство разрезов свиты описаны В.И. Козловым [1982] и Б.М. Келлером [Стратотип..., 1983], Е.М. Хабаровым [1985], А.В. Масловым с коллегами [2001], а также Н.Д. Сергеевой с соавторами [2023]. Строматолиты в верхней подсвите детально изучались И.Н. Крыловым [1967, 1975], Вл.А. Комаром [1979; Стратотип..., 1982], М.Е. Раабен и В.Е. Забродиным [Раабен, Забродин, 1972; Стратотип..., 1982], а также Ф.Я. Власовым [Шалагинов, 1994]; в последние годы строматолиты верхнеукской подсвиты снова вызывают большой интерес [Маслов и др., 2019; Дуб, Гражданкин, 2021; Поливкин, 2023, 2024; Grazhdankin et al., 2024]. Минеральный и химический состав терригенных пород исследовался А.В. Масловым с соавторами [1999; 2007], а карбонатных – Э.З. Гареевым [1982], а также Л.В. Анфимовым с коллегами [1993]. Минералы тяжелой фракции изучались Ю.Р. Беккером [1961], Н.Д. Сергеевой [1988] и Т.С. Зайцевой с соавторами [2022а]. Сделаны заключения о палеоклимате укского времени [Гареев, 1982; Маслов, Горожанин, 1999; Маслов и др., 2003; Мельничук, Маслов, 2025], но пока они базируются



836 ± 25 млн лет, а для средней части миньярской свиты – 780 ± 85 млн лет. Совершенствование методики впоследствии для примерно этих же уровней дало цифры 844 ± 24 и 820 ± 77 млн лет соответственно [Kuznetsov et al., 2017]. Указанные датировки считаются наиболее надежными для каратауской серии. По результатам датирования глауконита Rb-Sr методом возраст диагенеза отложений инзерской свиты оценивается в пределах 836–803 млн лет [Горохов и др., 2019]. В верхней части миньярской свиты фиксируется интервал доломитов мощностью порядка 300 м с низкими значениями  $\delta^{13}\text{C}$  [Подковыров и др., 1998; Кузнецов и др., 2006; Kuznetsov et al., 2017], интерпретируемый как отрицательный С-изотопный экскурс. Он может быть сопоставлен с аномалией Bitter Springs (~809–802 млн лет [Lu et al., 2017; Halverson et al., 2022]), учитывая отсутствие иных глобальных экскурсов в рассматриваемом диапазоне.

В укской свите распространены строматолиты *Linella* Krylov, *Tungussia* Krylov и *Patomella* Raaben [Крылов, 1967, 1975; Стратотип..., 1982]. Микробиота укской свиты содержит массовые *Leiosphaeridia*, *Protosphaeridium* и *Siphonophycus typicum*, формы *Palaeolyngbya zilimica*, *Bavlinella faveolata*, *Symplassosphaeridium* sp., чехлы *Polytrichoides* и *Tortunema* [Янкаускас, 1980; Стратотип..., 1982; Вейс и др., 2003; Станевич и др., 2018], обладающие широким стратиграфическим диапазоном распространения [Сергеев и др., 2010].

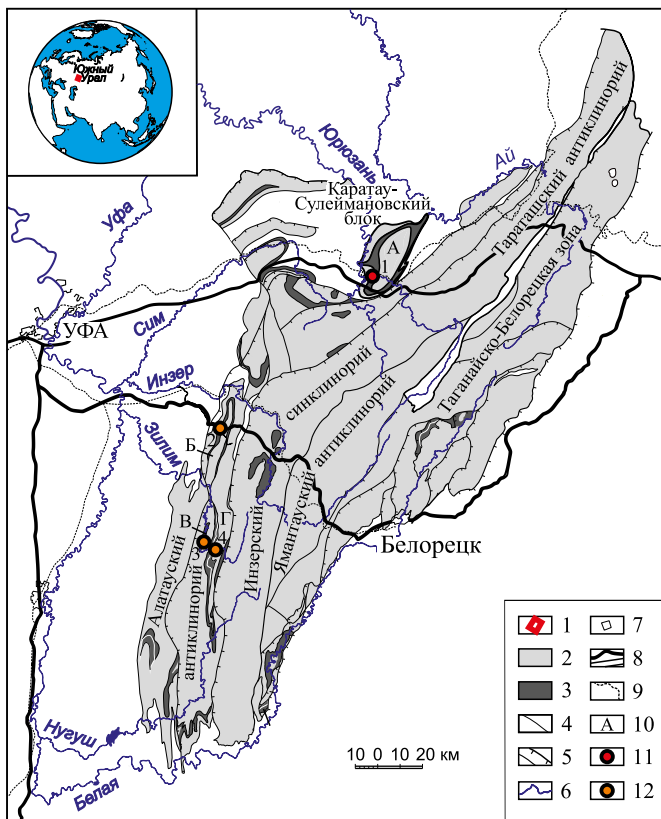
По глаукониту нижеукской подсвиты Rb-Sr методом получены датировки 688 ± 10 млн лет [Горожанин, Кутявин, 1986], а также 663 ± 9 [Зайцева и др., 2008] и 709 ± 9 млн лет [Зайцева и др., 2022б]. Возраст обломочного циркона из нижней подсвиты находится в интервале от 3236 ± 4 до 1129 ± 15 млн лет [Зайцева и др., 2022а]. Для укской свиты измеренное отношение  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$  в известняках, удовлетворяющих критериям сохранности изотопных систем, составляет 0,70535–0,70611 [Кузнецов и др., 2003, 2014]. Такие низкие значения стронциевого отношения не характерны для отложений моложе тония [Zaky et al., 2019; Zhou et al., 2020; Chen et al., 2022]. На основе Sr-изотопной систематики свита может быть сопоставлена с формацией Дидикама в Эфиопии с возрастом ~780–735 млн (значения  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$  в карбонатах от 0,7052 до 0,7062) [Miller et al., 2009; Swanson-Hysell et al., 2015; MacLennan, 2018]. Низкие значения  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$  типичны и для более древних отложений. Например, в нижней части серии Литл Дал (с возрастом свыше 780 млн лет) Канады они составляют 0,7055–0,7066 [Halverson et al., 2007]. Возможно также корреляция укской свиты с дашкинской свитой осланской серии (рассматриваемый параметр в ней 0,7051–0,7067 [Хабаров, Варакуса, 2011; Ветрова, 2018]) и с горевской свитой широкоинзерской серии (0,7055–0,7058 [Кузнецов и др., 2019]) Енисейского кряжа. Сходные значения  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$  (0,7056–0,7062) присущи нядонинской свите Западного Забайкалья, для которой на основе хемотратиграфических корреляций предполагается возраст в интервале 800–850 млн лет [Покровский, Буякайте, 2016].

Считается, что в Тирлянской синклинали на укской свите залегает аршинская серия [Козлов и др., 2011; Пучков и др., 2017], с U-Pb датировками циркона вулканических пород ~690, ~707 и ~732 млн лет [Краснобаев и др., 2012, 2019], однако непосредственная граница названных подразделений в разрезах не представлена. Стратиграфия этой серии сейчас пересматривается [Горожанин, 2023]. Её аналоги присутствуют и на западном крыле БМА (Дуб, 2021а).

**Расположение разрезов.** Опорные разрезы свиты находятся в северной и западной частях БМА – в пределах Сулеймановской антиклинали (разрез «Медведь», р. Юрюзань) и Алатауского антиклинория (разрезы «Кулмас» на р. Басу, а также «Аккостяк» и «Куртаза–Савинтук» на р. Зилим); в остальных тектонических структурах свита, как правило, обнажена фрагментарно (Рисунок 2). В Каратауском структурном комплексе, где укская свита была впервые описана по искусственным выработкам, представительных разрезов нет. В Инзерском синклинии ее самые нижние уровни присутствуют только в ядрах некоторых синклиналильных структур. В пределах восточного крыла БМА (Таганайско-Белорецкая зона) укские отложения обнажены слабо. Наиболее полный разрез укской свиты («Медведь») расположен на восточной окраине г. Усть-Катав. Ю.Р. Беккер и В.И. Козлов предложили считать его стратотипом (неостратотип).

**Полезные ископаемые.** Свита вмещает Зилимское проявление Pb-Zn руд в Алатауском антиклинории, на востоке БМА к полю ее распространения приурочено буро-

Рисунок 2 – Границы докембрийских образований БМА [Государственная... 2013, с изменениями] и расположение разрезов. Обозначения: 1 – положение листа на карте Евразии, 2 – площадь распространения докембрийских образований за исключением миньярской и укской свит, 3 – площадь распространения миньярской и укской свит, 4 – стратиграфические границы, 5 – тектонические границы, 6 – реки, 7 – населенные пункты, 8 – автодороги, 9 – железные дороги, 10 – тектонические структуры (А – Сулеймановская антиклиналь, Б – Авдырдаская антиклиналь, В – Зилимская синклиналь, Г – Бакеевская моноклиналь); 11–12 – изученные разрезы укской свиты (1 – «Медведь», 2 – «Кулмас», 3 – «Аккостяк», 4 – «Куртаза–Савинтук»): 11 – стратотип, 12 – гипостратотипы.



железняковое оруденение (Средне-Аршинское месторождение) [Государственная..., 2013; Ларионов и др., 2015].

## МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЙ И ТЕРМИНОЛОГИЯ

Большая часть полученных выводов базируется на детальном изучении разрезов во время полевых работ, последующем оптико-петрографическом исследовании шлифов, изучении вещественного и микроэлементного состава отложений в стратотипе свиты (Таблица 1).

Таблица 1 – Методы и материалы, привлеченные для изучения стратотипа

Методы	Материалы
Петрографическое изучение шлифов	250 шт.
РСА	30 обр.
РФА	75 обр.
ICP-MS	60 обр. (валовые пробы)
ICP-MS + ICP-AES	47 проб (кислотные вытяжки)
РЭМ	2 обр.

**Описание разрезов и литолого-фациальный анализ.** Главным объектом исследований являлся стратотип – разрез «Медведь». Отсутствие разрывных нарушений и хорошая обнаженность (особенно верхней подсыты) позволили изучить его по разным пересечениям и составить комплексное описание. Он послужил эталоном при выделении толщ, слагающих свиту, что способствовало корреляции удаленных разрезов. При полевом описании обнажений, а также при рассуждениях общего характера за основу принята классификационная схема карбонатных пород В.Г. Кузнецова [2007, с. 342]. При диагностике структуры известняков в шлифах задействовалась усовершенствованная классификация Р. Данхэма [Dunham, 1962; Embry, Klován, 1971; Lokier, Junábi, 2016], классы которой позволяют судить о гидродинамике среды седиментации. Основным инструментом при реконструкции обстановок служил микрофациальный анализ. Под «микрофацией» понимался комплекс седиментологических и палеонтологических признаков, которые могут быть установлены в шлифе или образце [Flügel, 2010]. Работа Э. Флюгеля охватывает преимущественно преимурозойские отложения, тогда как докембрийские карбонаты нередко включают своеобразные образования, типичные именно для этого времени [Grotzinger, James, 2000; Cantine et al., 2020; и др.], поэтому не все встреченные отложения описаны в терминах стандартных микрофаций. Сочетая в настоящей работе отечественный и зарубежный подходы, автор объединял когенетичные и сходные микрофации в группы, которые по масштабам соответствовали литотипам (типичным породам с устойчивым комплексом признаков, свидетельствующих о способе и условиях их образования [Фролов, 1984]). Термин «фация» применялся в отношении отложений, несущих черты обстановок осадконакопления, но не к самим обстановкам. Циклитом назван повторяющийся в разрезе набор слоев (элементов циклита), характеризующийся определенной направленностью изменения литологических признаков (в соответствии с [Геологический..., 2012]).

В настоящей работе под органогенной постройкой понимается любое геологическое тело, созданное организмами, захороненными на месте обитания в прижизненном положении (согласно [Геологический..., 2011]). Автором принято следующее определение рифа – крупная органогенная постройка с выраженным рельефом и собственным каркасом, достигающая уровня моря или базиса действия обычных/нормальных волн, характеризующаяся присутствием смежного комплекса предрифовых и зарифовых фаций.

Морфология строматолитов определяется не только строматолитообразующей биотой, но также абиотическими факторами, в том числе гидродинамикой среды, освещенностью, фоновой седиментацией и гидрохимией бассейна осадконакопления [Петров, 1996; Grotzinger, Knoll, 1999; Riding, 2011; и др.]. В этой связи использовать бинарную номенклатуру некорректно, «родовое» название применяется только в качестве краткого обозначения комплекса признаков, по которому удобно различать морфотипы строматолитов. Так, к морфотипу *Linella* отнесены столбчатые ветвящиеся разноориентированные строматолиты с диаметром столбиков от 2 до 15–20 см (чаще до 8 см) (=толстостолбчатые) и малым или почти отсутствующим межстолбиковым расстоянием, а к морфотипу *Patomella* – столбчатые ветвящиеся разноориентированные строматолиты с диаметром столбиков до 2 см (=тонкостолбчатые) и с сопоставимым с ним межстолбиковым расстоянием (согласно [Крылов, 1967; Стратотип..., 1982]).

В описании строматолитосодержащих отложений использованы следующие иерархические взаимоотношения геологических тел: I. Строматолитовый столбик; II. Биогерм (элементарная постройка) – представлен группой столбиков, образовавшихся в результате роста и разделения одной микробной колонии; III. Собственно «строматолитовая органогенная постройка» (постройка среднего масштаба – комплекс сочлененных биогермов); IV. Строматолитовая органогенная мегапостройка, по масштабу соответствующая самостоятельной толще в составе свиты.

Помимо массивных строматолитовых известняков, в укской свите широко распространены слоистые известняки с обильными текстурами molar-tooth (MT-текстурами), которые представляют собой раннедиагенетические прожилки лентовидной, червеобразной, веретеноподобной, нитевидной или иной замысловатой формы в поперечном сечении, выполненные специфическим равномернокристаллическим однородным

карбонатом (микроспаритом), и являются породообразующим компонентом протерозойских осадочных последовательностей [James et al., 1998; Кузнецов, 2005; Pollock et al., 2006; Петров, 2011; Kriscautzky et al., 2022]. Под МТ-кластами в работе понимаются обломки таких прожилков.

Разновидностью карбонатных платформ с достаточно пологим углом наклона дна бассейна и без рифового обрамления является карбонатный рамп [Ahr, 1973; Read, 1985; Tucker, Wright, 1990; Pomar, 2001]. Он подразделяется на три части – внутренний, средний и внешний. Верхняя граница среднего рампа определяется базисом действия нормальных волн, а нижняя – базисом действия штормовых волн, независимо от абсолютных глубин бассейна [Burchette, Wright, 1992]

**Интерпретация аналитических данных.** Для уточнения соотношений минеральных фаз в образцах задействован метод PCA (использован дифрактометр Shimadzu XRD-7000, полуколичественная оценка концентраций кристаллических фаз и определение параметров элементарной ячейки выполнены с помощью программы SiroQuant [Ряжская и др., 2015], аналитики О.Л. Галахова и Т.Я. Гуляева). Содержания породообразующих оксидов в валовых пробах установлены методом РФА на спектрометрах СРМ-35 (г. Орел) и EDX-8000 (Shimadzu) согласно аттестованной методике [Горбунова, Татарина, 2015] (аналитики Н.П. Горбунова, Л.А. Татарина, Г.С. Неупокоева, Г.А. Аввакумова, И.А. Желунцын). Концентрации редких и некоторых главных элементов, как в валовых пробах (60 образцов), так и в кислотных вытяжках из них (47 вытяжек), измерены на ICP-MS-спектрометре Perkin Elmer ELAN 9000 и ICP-AES-спектрометре Perkin Elmer Optima 8000 (аналитики Н.В. Чередниченко, Д.В. Киселева, Л.К. Дерюгина). Подготовка валовых проб велась по стандартной методике [Вотьяков и др., 2006]. При получении вытяжек азотной, соляной и уксусной кислот все измеренные содержания элементов пересчитывались на массу растворившегося вещества. Схема использованных методик по изучению микроэлементного состава (включая РЗЭ и Y) известняков в валовых пробах и кислотных вытяжках различного типа представлена на Рисунке 3.

Данные PCA и РФА позволили оценить чистоту образцов известняков, для этой цели использована классификация терригенно-карбонатных и карбонатно-терригенных пород по вещественному составу, фигуративные точки образцов нанесены на диаграмму состава трехкомпонентных систем (кальцит – доломит – глинистое вещество / силикокластика).

Главной трудностью при «извлечении» информации о среде осадконакопления остается отделение первичной карбонатной составляющей от некарбонатной (в т.ч. терригенной), и от вторичных карбонатных фаз. Помимо (био)хемогенных карбонат-

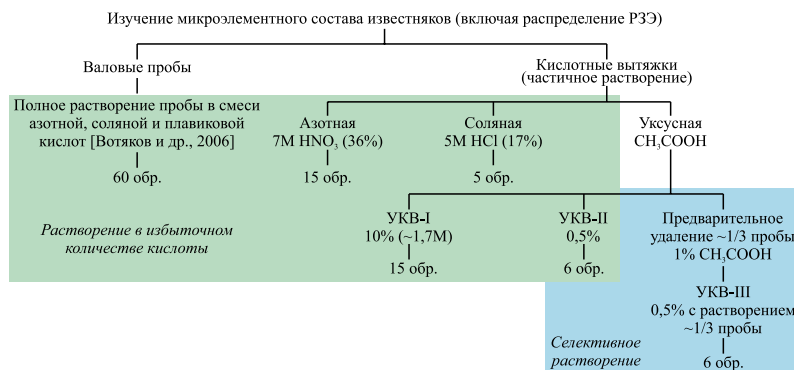


Рисунок 3 – Схема процедур по изучению содержания микроэлементов в известняках и кислотных вытяжках.

ных минералов (с низкими содержаниями PЗЭ и Y) носителями PЗЭ и Y в известняках и доломитах могут выступать обогащенные ими компоненты/примеси: глинистый материал, рассеянные зерна аксессуарных минералов, фосфаты, Fe-Mn-(оксигидр)оксиды, органическое вещество, а также поздние карбонатные фазы [Webb, Kamber, 2000; Bolhar, Van Kranendonk, 2007; Юдович, Кетрис, 2011; Tostevin et al., 2016]. Так, спектр PЗЭ+Y, полученный при анализе валовых проб, может быть использован для палеоредокс-реконструкций только при работе с «ультрачистыми» карбонатами (обычно <1% некарбонатных примесей). В других случаях необходимо исключить компоненты, искажающие сигнал среды осадконакопления. Данная задача может быть решена как методами локального анализа (лазерная абляция, микрозонд), так и с помощью кислотных вытяжек.

Под «спектром PЗЭ+Y» в работе понимается как непосредственное распределение PЗЭ и Y при нормировании их концентраций, так и специальный график, иллюстрирующий это распределение. Гидрогенные (унаследованные от морской воды) спектры PЗЭ+Y при нормировании по глинистым сланцам (sh – PAAS, RPSC и др.) характеризуются обогащением тяжелыми PЗЭ (TPЗЭ) относительно легких PЗЭ (LPЗЭ) (величины  $Nd_{sh}/Yb_{sh}$  в пределах 0,15–0,6), а также значениями  $Y/No > 36$  [Webb, Kamber, 2000; Ling et al., 2013; Tostevin et al., 2016; Wallace et al., 2017; Zhang, Shields, 2022]. О присутствии некарбонатных минералов-концентраторов PЗЭ в отложениях могут свидетельствовать значения  $\Sigma PЗЭ$  более 10 г/т, а выраженная отрицательная аномалия Eu указывает на примесь терригенного/глинистого материала [Дуб, Мизенс, 2023].

Величина аномалии Ce в карбонатных породах рассчитана без учета содержания La:  $Ce/Ce^* = Ce_{sh}/(Pr_{sh}^2/Nd_{sh})$  [Lawrence et al., 2006; формула 7]. Если  $Ce/Ce^* > 1,05$ , аномалия считалась положительной; при  $0 < Ce/Ce^* < 0,95$  – отрицательной; при  $0,95 \leq Ce/Ce^* \leq 1,05$  констатировалось отсутствие Ce аномалии.

## ОБОСНОВАНИЕ ЗАЩИЩАЕМЫХ ПОЛОЖЕНИЙ

**1. Укская свита впервые подразделена на толщи. В ее стратотипическом разрезе (р. Юрюзань, г. Усть-Катав) нижняя подсвита имеет терригенно-карбонатный состав и включает три толщи: терригенную ямаштинскую, карбонатную акксессорскую и терригенно-карбонатную авдырдакскую, прослеживающиеся в пределах всего западного крыла Башкирского мегантиклинория. Верхняя карбонатная подсвита в стратотипе сложена последовательностью из четырех толщ (юрюзанской, медвежьей I, манайсинской и медвежьей II), при этом манайсинская толща представлена слоистыми зернистыми карбонатными отложениями, а остальные – преимущественно массивными строматолитовыми известняками. Верхняя подсвита характеризуется заметной изменчивостью по латерали.**

Стратотип укской свиты находится на южном склоне горы Медведь (Рисунок 4) на восточной окраине г. Усть-Катав (правый берег р. Юрюзань) и приурочен к западному крылу Сулеймановской антиклинали. Глубина эрозионного вреза с перекрывающими отложениями увеличивается в северо-восточном направлении [Беккер, 1961], и на восточном крыле антиклинали свита отсутствует: по наблюдениям автора, она выпадает из разреза и в районе ж/д ст. Вязовая, где за ее верхнюю подсвиту ранее принимались известняки шубинской толщи миньярской свиты.

В стратотипе нижняя терригенно-карбонатная подсвита обладает мощностью ~70 м, верхняя карбонатная – до 145 м. В разрезах Алатауского антиклинория нижняя подсвита имеет карбонатно-терригенный состав (в ней выше доля песчаников) и мощность ~95 м, а мощность верхней подсвиты достигает 175 м. Оригинальные описания разрезов приведены в работах: «Медведь» – [Беккер, 1961; Козлов, 1982; Хабаров, 1985], «Кулмас» – [Стратотип..., 1983; Сергеева и др., 2023], «Аккостяк» – [Стратотип..., 1983], «Куртаза-Савинтук» – [Козлов, 1982; Маслов и др., 2001]. Ниже дано краткое авторское описание каждой из толщ укской свиты в стратотипе в сопоставлении с другими разрезами.

**Нижняя подсвита. Ямаштинская толща** представлена песчаниками и алевролитами, в значительно меньшей степени аргиллитами. В стратотипе песчаники аркозо-

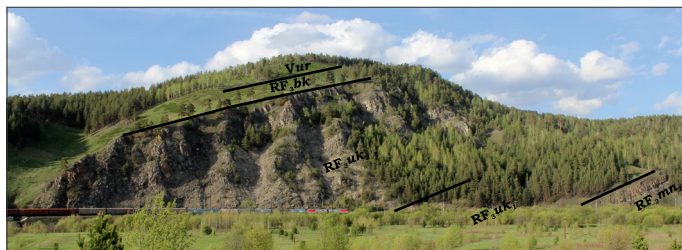


Рисунок 4 – Стратотип укской свиты (гора Медведь, р. Юрюзань). Линиями показаны границы стратиграфических подразделений: RF<sub>3</sub> – верхний рифей; mn – миньярская свита, uk<sub>1</sub> – нижнеукская подсвита, uk<sub>2</sub> – верхнеукская подсвита, bk – бакеевская свита; Vur – урюкская свита венда.

вые [Дуб и др., 2025] с глауконитом, преимущественно тонкозернистые (с переходами в алевролиты), с глинистым, регенерационным кварцевым и карбонатным цементом, с выраженной слоистостью бугров и впадин (типа hummocky и swaley); мощность 20 м. В *Алтауском антиклинории* песчаники от грубозернистых до тонкозернистых (наиболее распространены средне- и мелкозернистые разности), с отчётливой косоволнистой и косой слоистостью; встречаются прослои глауконитов; мощность порядка 45 м. Эталонный разрез толщи находится на р. Бол. Инзер ниже устья р. Ямашта 1-ая. В основании толщи фиксируется перерыв в осадконакоплении [Дуб и др., 2024].

**Аккостякская толща** сложена известняками с терригенной примесью. Для нее характерны строматолиты, которые в *стратотипе* образуют протяженную постройку (биостром), состоящую из многочисленных сочлененных биогермов. Строматолиты ветвящиеся разноориентированные как тонко-, так и толстостолбчатые (Рисунок 5а). В некоторых слоях строматолитовых баундстоунов аккостякской толщи обнаруживаются своеобразные крючковидные или шиповидные образования, ориентированные вдоль направления роста столбика (Рисунок 5б). Над биогермами залегают небольшие линзы карбонатных конгломератов толщиной до нескольких десятков сантиметров (Рисунок 5в) – в основном строматокластовые флаут- и пакстоуны (Рисунок 5г). В разрезе «Кулмас» толща почти полностью состоит из достаточно однородных интракластовых известняков с обильной примесью силикокластики, в верхней части с небольшими биогермами строматолитов *Patomella*. На р. Зилим известняки оолитовые и интракластовые с примесью силикокластики и глауконитом, а также с биогермами строматолитов *Patomella* (пространство между столбиками заполнено обломочным материалом – смесью зерен карбонатного состава и силикокластики). Мощность толщи 5–7 м.

Для **авдырдакской толщи** характерны терригенные и карбонатные породы. В *стратотипе* имеет место смешанный тип разреза (общей мощностью 45 м): отмечается чередование пачек терригенных и карбонатных пород. Терригенные пачки представлены в основном алевролитами с карбонатным цементом и глауконитом, карбонатные – известняками яснозернистыми интракластовыми и оолитовыми, а также микрозернистыми, часто с МТ-текстурами. Интервалы известняков циклически построенные (Рисунок 5д), при этом циклиты состоят из двух или трех элементов: в нижних частях с размывом залегают обломочные известняки – интракластовые рудстоуны и флаутстоуны (с матриксом из интракластовых пакстоунов); выше они сменяются яснозернистыми (в основном пеллоидно-интракластовыми пакстоунами до грейнстоунов) разностями (Рисунок 5е); верхние элементы циклитов сложены микро- и тонкозернистыми известняками с многочисленными МТ-текстурами в виде субвертикально ориентированных прожилков (Рисунок 5ж). В некоторых циклитах тот или иной слой может отсутствовать. Верхние элементы чаще всего уступают по мощности нижним и средним. В верхней части толщи распространены пласты оолитовых известняков, нередко они окремнены (Рисунок 5з). В *Алтауском антиклинории* толща подразделяется на две подтолщи: нижняя – песчаники, реже алевролиты и аргиллиты, часто с обильным глауконитом; выше по разрезу появляются редкие пласты интракластовых и

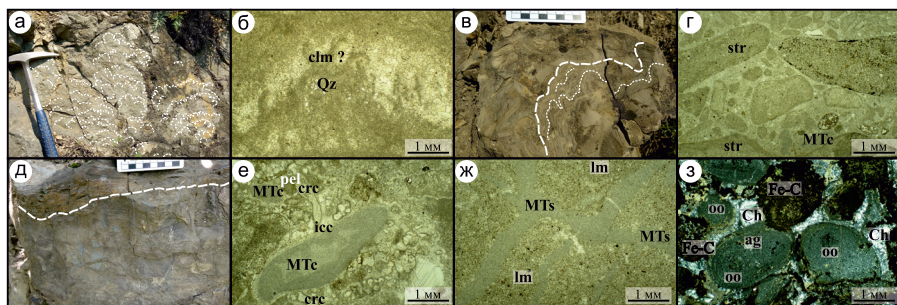


Рисунок 5 – Некоторые литологические особенности карбонатных отложений нижнеукской подсвиты в стратотипе: а-г – **аккотская толща**: а – постройка из нескольких биогермов, представленных тонкостолбчатыми ветвящимися строматолитами (подчеркнуты пунктиром; длина молотка здесь и далее 40 см), б – крючковидные кальцимикробные (?) структуры в строматолитовых слойках с примесью силикокластики, в – верхняя часть биогерма с неотчетливыми столбиками и граница (показана жирной штриховой линией) с обломочными известняками, г – структура обломочных известняков (строматокластовый флаутстоун); д-з – **авдырдакская толща**: д – эрозионная граница между двумя циклитами (показана жирной штриховой линией), е – интракластовый пакстоун с разными типами зерен (средний элемент циклита), ж – микрозернистый глинистый известняк (слабо перекристаллизованный мадстоун) с многочисленными разноориентированными МТ-прожилками (верхний элемент циклита), з – окременный известняк с крупными оолитами (кремневая конкреция по оолитовому грейнстоуну). На микрофотографиях б, г, е, ж николи параллельны, на з – скрещены. Условные обозначения: минеральные компоненты: Qz – кварц, Dol – доломит, Fe-C – железистый карбонат, Ch – халцедон, Py – пирит; структурные компоненты: lm – карбонатный ил, calc – кальцит цемент (спарит), icc – изопахический кальцитовый цемент, ag – агрегатные зерна, oo – оолиты, pel – пеллоиды, str – строматокласты, crc – «кристаллокласты», int – прочие интракласты, clm – кальцимикробы, MTs – МТ-текстуры in situ, MTc – обломки МТ-прожилков.

оолитовых известняков, иногда окременных; для верхней подтолщи характерны тонко- и мелкозернистые песчаники и крупнозернистые алевролиты с широко развитым карбонатным цементом и с косоволнистой/бугорчатой слоистостью, типичны прослои оолитовых известняков; мощность толщи также около 45 м.

**Верхняя подсвита. Юрюзанская толща** является переходной от терригенно-карбонатной нижнеукской подсвиты к существенно карбонатной верхнеукской. Нижняя граница толщи устанавливается по появлению в *стратотипическом разрезе* массивных серых и желтовато-серых известняков, которые состоят в основном из столбчатых строматолитов *Patomella* (Рисунки 6а, 6б). Для них характерно чередование тонких темно-серых криптозернистых слойков со слойками, сложенными светлым тонко-микроструктурным карбонатом с примесью терригенного материала (Рисунок 6в). Пространство между столбиками заполнено массой, состоящей из карбонатного ила и спарита, и обломочным материалом (строматокласты и силикокластика) (Рисунок 6г). Породы неравномерно доломитизированы. Толща обнажается фрагментарно и известна только в данном разрезе, ее мощность до 25 м.

В *стратотипическом разрезе* наиболее мощной и хорошо обнаженной является **медвежья I толща** известняков. Она сложена массивными строматолитовыми постройками, отделенными друг от друга пакетами слоистых отложений или редкими прослоями глинисто-карбонатных пород (последние прослеживаются по латерали на десятках метров и более). **Органогенные постройки** состоят из сочлененных субцилиндрических (Рисунок 6д) или асимметричных биогермов, образованных столбчатыми ветвящимися (Рисунок 6е) строматолитами *Linella*. Размер биогермов (диаметр и высота) изменяется от десятков сантиметров до нескольких метров. Для столбиков характерно чередование темно-серого криптокристаллического и светло-серого до серого микрокристаллического кальцита. Микрокристаллические участки занимают наиболь-

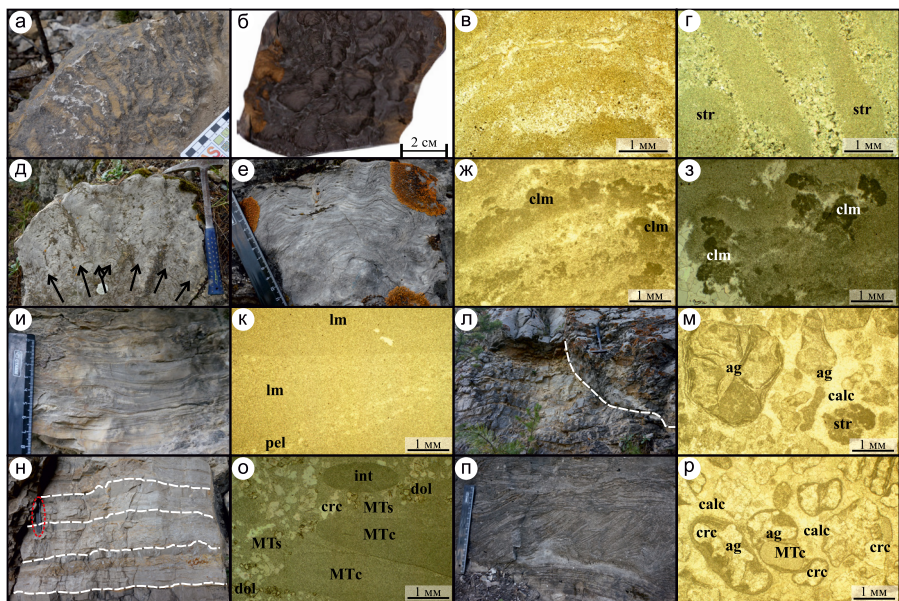


Рисунок 6 – Некоторые литологические особенности карбонатных отложений верхнеуекской подвыты в стратотипе: а-г – **юрюзанская толща**: а – продольное сечение части стратоматолитового биогерма с *Patomella*, б – поперечное сечение того же биогерма (полированная поверхность), в – продольное сечение стратоматолитового столбика (пелитоморфно-микрористаллический байндстоун), г – стратоматокласты и терригенно-карбонатная основная масса в межстолбиковом пространстве; д-м – **медвежья I толща**: д-з – строение стратоматолитовых биогермов с *Linella*: д – поперечное сечение типичного биогерма с веерообразно-ориентированными осями столбиков (отмечены стрелками), плотно прилегающими друг к другу, е – ветвящийся толстый столбик, ж, з – пелитоморфно-микрористаллические байндстоуны и кальцимикробные баундстоуны стратоматолитовых столбиков; и-к – микрозернистые межбиогермные отложения: и – тонкослоистые пологоволнистые текстуры, к – слоистые мадстоуны и интракластово-пеллоидные вакстоуны (отчетливо выражен угол между верхними и нижними поверхностями наслоения); л, м – известняки слоистых пакетов: л – пакет слоистых известняков и характер его контакта (штриховая линия) с массивной органогенной постройкой (справа), м – интракластовые пакстоуны и рудстоуны (интракласты в основном представлены агрегатными зернами); н-р – **манайсинская толща**: н – циклично-построенная последовательность известняков (границы элементарных циклитов выделены штриховыми линиями), о – интракластовый рудстоун нижнего элемента циклита (роль цемента играет МТ-карбонат), п-р – косослоистые янозернистые известняки на одном из уровней внутри толщи, п – текстура, р – структура наиболее грубозернистых разностей (интракластовый грейнстоун). На всех микрофотографиях николи параллельны. Условные обозначения – см. Рисунок 5.

ший объем в столбиках, тогда как пелитоморфный кальцит слагает отдельные слойки и линзы (в пелитоморфно-микрористаллических байндстоунах), или же образует сгустковидные структуры (в кальцимикробных баундстоунах). Последние наиболее типичны для наклоненных стратоматолитовых столбиков и контрастно выделяются на фоне светлого микрористаллического карбоната вышележащих слойков (Рисунки 6ж, 6з). По причине отдаленного сходства с остатками *Renalcis* данные проблематичные образования интерпретируются как кальцимикробы. Внутри построек между биогермами залегают **линзы микрозернистых известняков** с горизонтально-слоистыми и пологоволнистыми текстурами (Рисунок 6и) – однородных мадстоунов с редкими слойками вакстоунов (Рисунок 6к). В данных отложениях иногда присутствует примесь глини-

стого вещества и вытянутые по наслоению фенестры. **Слоистые пакеты зернистых известняков** (Рисунок бл) включают породы различных типов: от микрозернистых известняков до карбонатных гравелитов (кальцирудитов), при этом в них нередко наблюдается неотчетливо выраженная цикличность и градационная слоистость; преобладают пакстоуны и рудстоуны (Рисунок бм). Форменные элементы представлены разнообразными интракластами, к которым отнесены и агрегатные зерна, являющиеся результатом неоднократного переотложения карбонатного материала; широко распространены МТ-класты, отмечаются строматокласты и пелоиды. В самых верхах толщи встречаются обломки строматолитов. Отмечается слабая и неравномерная доломитизация. Мощность толщи до 75 м. Медвежья I толща *не прослеживается в разрезе Алатауского антиклинория*. Только в разрезе «Куртаза–Савинтук» на этом уровне обнаружен один небольшой биогерм с *Linella*.

**Манайсинская толща** имеет слоистый облик и характеризуется значительным разнообразием литотипов и микрофаций: она представлена серыми, темно-серыми, редко светло-серыми слоистыми яснозернистыми и микрозернистыми известняками (в том числе чередующимися друг с другом) с многочисленными МТ-текстурами. На отдельных интервалах толща характеризуется ярко выраженным циклическим строением (Рисунок бн). Мощности циклитов в среднем около 15–20 см, отдельные их элементы иногда могут варьировать по толщине. Полный элементарный циклит обычно состоит из трех элементов: нижнего, с обломками известняков различной размерности; среднего, сложенного более мелким, хорошо сортированным материалом и вмещающего разноориентированные МТ-прожилки сложной геометрии; и верхнего – наиболее тонкозернистого (микрозернистого) с МТ-прожилками, преимущественно ориентированными перпендикулярно слоистости. Иногда в основании циклитов наблюдаются слепки промонн. МТ-класты обильны в нижних элементах циклитов (Рисунок бо), в таких грубозернистых породах МТ-карбонат может играть и роль основной массы. Средние элементы циклитов часто характеризуются слоистостью типа «хаммоки», осложненной деформациями слоев. В пределах толщи присутствуют маломощные (менее 1 м) пачки косослоистых яснозернистых известняков (Рисунок бп). Среди них распространены мелко- и тонкозернистые интракластово-пелоидные пакстоуны. Более грубозернистые разновидности этих калькаренитов являются интракластовыми грейтстоунами (до рудстоунов) с тонкокристаллическим мозаичным цементом; форменные элементы в них представлены «кристаллокластами» (обломками спаритового цемента) и агрегатными зернами (Рисунок бр). *В стратотипе* в нижней части толщи присутствуют линзы известняков с обломками биогермов. Верхняя часть толщи (около 11 м) полностью доломитизирована (различима реликтовая яснозернистая интракластовая структура). Мощность толщи в стратотипе 22–28 м. По литологическим характеристикам она сходна с авдырдаской толщей нижеуекской подсветы, но не содержит чачек алевролитов и оолитовых известняков. По всей видимости, манайсинскую толщу стратотипа следует сопоставлять с *манайсинской I толщей западных разрезов*, где мощность отложений существенно выше (до 70 м).

**Куртазинская толща**, известная только в западных разрезах (Алатауский антиклинорий), залегает в нижней части верхней подсветы и характеризуется широким распространением терригенно-карбонатных отложений со специфическими текстурами; она содержит многочисленные каравасообразные конкрециевидные карбонатные образования (нередко с МТ-прожилками), находящиеся в окружении тонкослоистых глинисто-карбонатно/карбонатно-глинистых пород с пластическими деформированными слоями. Мощность ~55 м, переход к перекрывающим отложениям постепенный. **Толща медвежья II** по текстурным характеристикам близка толще медвежьей I, в ней также присутствуют строматолитовые биогермы, значительно реже встречаются слоистые зернистые известняки, которые не образуют отчетливо выраженных пакетов и пластов. Толща залегает на относительно ровной кровле манайсинской толщи, слагающие ее породы на отдельных участках перекристаллизованы, доломитизированы и слабо окремнены. В стратотипе толща сокращается по мощности в северо-восточном направлении: от 20 м, наблюдаемых у ж/д полотна, до полного исчезновения в скальном уступе привершинной части горы, за счёт увеличения глубины предкавказского

эрозионного вреза. С этой толщей скоррелирована единственная толща строматолитов (медвежья) в верхнеукской подсвете Алатауского антиклинория. **Толща манайсинская II** сохранилась от размыва только в западных разрезах и в целом сходна с манайсинской толщей стратотипа (кроме присутствия продуктов разрушения органогенных построек) и с нижежающей манайсинской I толщей этих же разрезов.

**Преобразования отложений.** В богатом комплексе эпигенетических преобразований пород укской свиты в стратотипе могут быть выделены градационные и наложенные изменения. Первые обусловлены сменой термобарических условий при погружении осадочных толщ и включают в себя механическое уплотнение, трансформацию неустойчивых глинистых минералов (в том числе иллитизацию), преобразования биотита с формированием Ti-содержащих фаз (а также отчасти (?) регенерацию кварца и КШШ) терригенных пород и уплотнение, перекристаллизацию и послонное растворение под давлением карбонатных пород. Ко вторым отнесены аутигенез карбонатных минералов и развитие коррозионного цемента в терригенных породах, а также образование разноориентированных стилолитов, окремнение, доломитизация и сидеритизация известняков [Дуб и др., 2025]. Минеральные свидетели указывают на фоновые изменения пород укской свиты в стратотипе на уровне начала позднего катагенеза, что в целом не противоречит полученным Т.М. Парфеновой и Д.С. Мельником [2020a] данным по геохимии органического вещества о соответствии степени преобразований глинисто-карбонатных отложений начальным грациям мезокатагенеза.

Наложено-эпигенетические процессы преобразования карбонатных пород в стратотипе отличались разнообразием, что стало следствием богатой тектонической истории осадочно-породного бассейна (находившегося с определенного момента не в условиях платформы, а в пределах Уральского складчато-надвигового пояса). Однако их продукты проявлены локально, так как проводниками флюидов служили отдельные пачки и плавы известняков (Рисунок 7).

**Корреляция разрезов.** Выделение новых литостратиграфических единиц и их прослеживание позволили установить, какие именно отложения в разрезах закрыты, а какие доступны для изучения, и как последние изменяются по латерали. Разрезы Алатауского антиклинория легко сопоставляются друг с другом – все толщи нижней и верхней подсвет имеют одинаковое стратиграфическое положение и сходные мощности, различия заключаются главным образом в характере их обнаженности (см. Рисунок 7).

Практически во всех разрезах низы свиты (нижняя часть ямаштинской толщи) не обнажены. Аккостякская толща доступна во всех рассмотренных объектах. Она выступает в качестве корреляционного репера (см. Рисунок 7) с регионально изохронной нижней границей. Авдырдакская толща состоит из терригенных и карбонатных пород, чередующимися в стратотипе, или постепенно сменяющимися друг друга в Алатауском антиклинории. В разрезе «Куртаза–Савинтук» в верхней подсвете выявлена всего одна строматолитовая толща (медвежья), а не две, как предполагалось ранее [Стратотип..., 1983]. Мощность укской свиты здесь не более 270 м (ранее она оценивалась в 350 м), что сопоставимо с другими разрезами Алатауского антиклинория.

Подошва верхней подсветы в стратотипе проводится по нижней границе массивных строматолитовых построек. Однако в западных разрезах отсутствуют юрюзанская и медвежья I толщи. В этой связи в качестве границы подсвет предлагается рассматривать кровлю авдырдакской толщи, т.е. ограничивать нижнюю подсвету последними пластами песчаников, алевролитов и оолитовых известняков. Таким образом, в Алатауском антиклинории граница подсвет проходит в основании куртазинской толщи (см. Рисунок 7).

В стратотипе в верхней подсвете выделено две толщи с массивными строматолитами *Linella* (медвежья I мощностью до 75 м, медвежья II – до 20 м), разделенные манайсинской толщей слоистых известняков. В то же время в Алатауском антиклинории медвежья толща всего одна (мощностью от 20 до 45 м в зависимости от разреза) и она разделяет две сходные толщи – манайсинскую I и манайсинскую II. Исходя из литологии и мощностей, наиболее вероятно, что медвежья толща западных разрезов соответствует медвежьей II толще стратотипа. Следовательно, эта толща – единственное подразделение внутри верхней подсветы, которые прослеживаются во всех изученных

- 1
- 2
- 3
- 4
- 5
- 6
- 7
- 8
- 9
- 10
- 11

«АККОСТИК»

«Кургаза-Савингук»

«Кулмас»

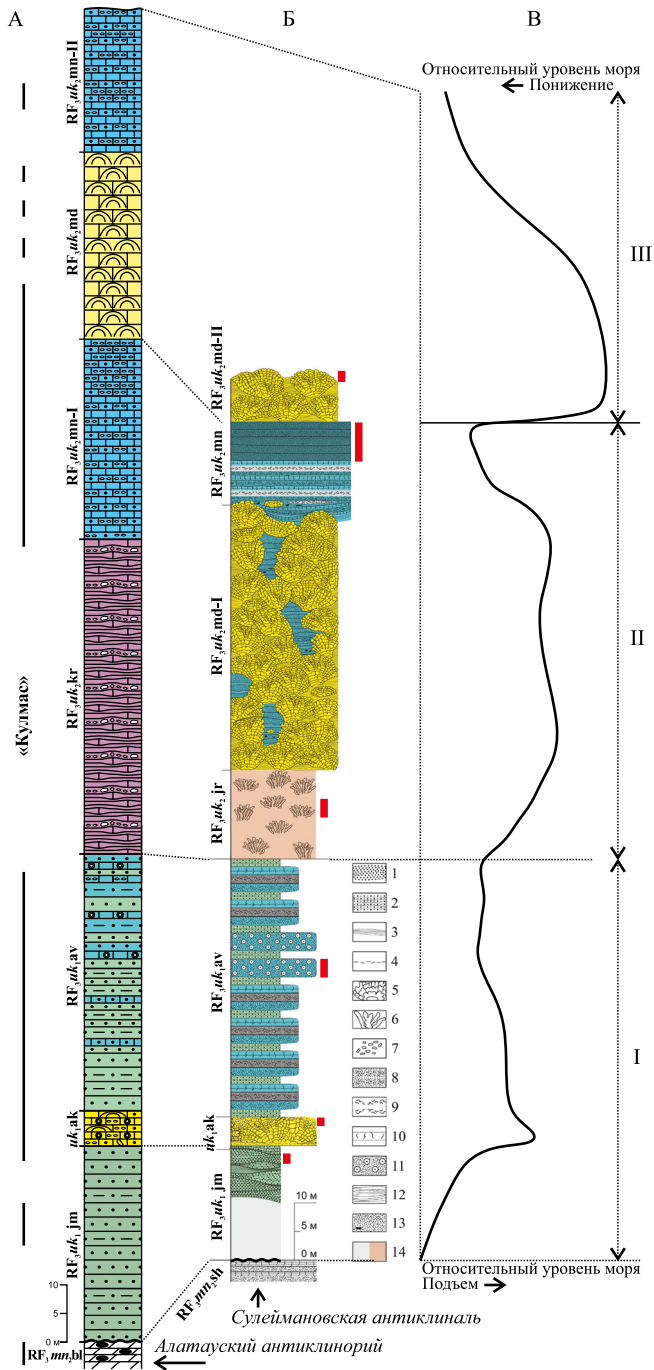


Рисунок 7 – Особенности строения разрезов, их корреляция и некоторые реконструкции. **А – Сводная колонка по разрезам Алатауского антиклинория**, слева черными линиями показаны обнаженные интервалы в гипостратотипах. Обозначения: 1 – доломиты; 2–6 – известняки: 2 – микрозернистые, 3 – строматолитовые, 4 – оолитовые, 5 – интракластовые, 6 – с примесью силикокластики; 7 – глинистые и алевроито-глинистые породы, 8 – глинисто-карбонатные породы (с карбонатными «караваемыми»), 9 – крупнозернистые алевролиты, 10 – песчаники; 11 – кремневые конкреции. **Б – колонка стратотипа укской свиты**, справа красными линиями показаны интервалы наиболее интенсивных наложенных преобразований. Обозначения: 1 – песчаники, 2 – алевролиты, 3 – аргиллиты и глинистые алевролиты; 4–13 – известняки: 4 – с плоскими карбонатными литокластами; 5 – со строматолитами *Linella*, 6 – со строматолитами *Patomella*, 7 – с обломками галечной размерности, 8 – интракластовые с МТ-кластами, 9 – интракластовые с разноориентированными МТ-прожилками, 10 – микрозернистые с субвертикальными МТ-прожилками, 11 – интракластово-оолитовые, 12 – микрозернистые межбиогермные; 13 – интракластовые в слоистых пакетах, в том числе с крупными обломками; 14 – задернованные или плохо обнаженные интервалы. Литологические особенности толщ в обеих колонках показаны вне масштаба. **Условные обозначения:** *mn* – миньярская свита (верхняя часть), толщи: *bl* – балаевская, *sh* – шубинская; *uk* – укская свита, толщи: *jm* – ямаштинская, *ak* – аккостякская, *av* – авдырдакская, *яг* – юрюзанская, *md* – медвежья (I и II), *mn* – манайсинская (I и II). **В – реконструируемые колебания относительного уровня моря** (I, II, III – трансгрессивно-регрессивные циклы).

разрезах. Несколько более высокая суммарная мощность свиты в Алатауском антиклинории обусловлена наличием в этой зоне в верхах последовательности еще одного стратона слоистых зернистых известняков (манайсинской II толщи), который в стратотипической местности, по-видимому, «срезан» перекрывающими отложениями.

**2. Отложения нижнеукской подсвиты, вскрытые в северной части мегантиклинория (в стратотипе), накапливались в мелководных, но более удаленных от берега обстановках по сравнению с отложениями западных и юго-западных районов. Укская карбонатная платформа не имела рифового обрамления и представляла собой рампу, подверженной влиянию штормов. Постройки строматолитов *Linella* верхней подсвиты формировались ниже границы внутреннего и среднего рампы (ниже базиса действия обычных волн, но в пределах фотической зоны) и относятся к фациальному поясу «строматолитовых лугов».**

Фациальный анализ отложений позволил реконструировать обстановки седиментации, получить представление об их эволюции во времени и колебания относительного уровня моря, а также сопоставить данные по разным разрезам между собой.

Песчаники и алевролиты **ямаштинской толщи** стратотипического разреза формировались в прибрежно-морских гидродинамически-активных обстановках, о чем свидетельствуют перерыв в основании свиты, гранулометрический состав отложений, следы размывов, слепки промоин в подошвах слоев. Переход к карбонатной **аккостякской толще** ознаменовался резким подъемом уровня моря и, возможно, изменением климата (аридизацией?). На территории Сулеймановской антиклинали (в современных координатах) предполагается кратковременное наступление обстановок средней части карбонатного рампы, благоприятных для образования строматолитовых биогермов. Перекрывающие их маломощные линзы карбонатных конгломератов образовались вследствие разрушения построек при последующем понижении уровня моря. Отложения данного уровня в других районах БМА формировались в несколько более мелководных (проксимальных) условиях: для аккостякской толщи у хут. Кулмас характерны интракласты, а в бассейне р. Зилим в пространстве между строматолитовыми столбиками широко распространен терригенный материал и оолиты, что может указывать на некоторое обмеление бассейна к югу. В составе **авдырдакской толщи** стратотипа известняки в основном интракластовые и оолитовые, с многочисленными МТ-текстурами, а терригенные отложения играют не очень большую роль (в отличие от других разрезов подсвиты), что указывает на мелководно-морские, но удаленные от берега (дистальные) обстановки. Пачки карбонатных отложений с выраженными генетическими признаками событийных процессов свидетельствуют о штормовой седиментации. Циклиты с многочисленными слепками промоин в подошвах и не очень мощными

верхними элементами (мадстоунами) принадлежат проксимальным темпеститам. Их парагенез с отложениями небольших глубин (пластами оолитовых известняков и пачками алевролитов) указывает на обстановки внутреннего рампа и, возможно, верхней части среднего рампа. Во всех изученных толщах нижней подсвиты фиксируются признаки влияния штормов [Дуб и др., 2024].

В отношении строматолитовых построек с *Patomella* **юрюзанской толщи**, содержащих заметное, но не очень высокое количество силикокластики и обильные строматокласты, предполагаются глубины, соответствующие верхам сублиторали. Вероятно, влияния оказывали течения, переносившие обломочный материал.

На основе изучения **строматолитовых построек в толще медвежьей I** можно заключить, что они не принадлежали приливно-отливной зоне, так как в отложениях не обнаружено трещин усыхания, следов присутствия эвапоритов, оолитов, типичных структур и других характерных для литоральных обстановок признаков [Eriksson, Simpson, 2011; Semenjuk, 2019; и др.]. Присутствие крупных столчатых строматолитов в общем случае считается индикатором большого объема свободного пространства [Andres, Reid, 2006]. Морфология построек и высокая мощность медвежьей I толщи свидетельствуют, что строматолиты *Linella* формировались на достаточной для их свободного роста глубине, в стабильных условиях, не встречая существенных препятствий в виде волно-прибойной деятельности или понижения отметок уреза воды. На это же указывает и значительное снижение количества силикокластики в биогермах (по сравнению с постройками *Patomella*). Тонкослоистые мадстоуны и интракластово-пелоидные вакуолы **межбиогермного заполнения** предполагают малую подвижность среды седиментации и в то же время несут признаки штормового воздействия – они могли аккумулироваться на глубинах ниже базиса действия нормальных волн. Важнейшую информацию дает литолого-фациальный анализ **пакетов слоистых известняков**: большая часть интракластов состоит из агрегатов зерен различного генезиса (они неоднократно переотлагались). В то же время обломки строматолитов в составе яснозернистых известняков не несут признаков перемыва. В этой связи их, скорее всего, следует рассматривать как «местный» компонент, захваченный потоком, выносящим материал из более мелководных зон на глубину. Судя по природе зерен, основным их поставщиком служили осадки внутреннего рампа. Скорее всего, пакеты слоистых известняков являются осадочным выполнением каналов, по которым периодически перемещались компенсационные потоки – водные массы, нагнанные штормами на мелководье, эродирующие дно и разгружающиеся при возвращении в открытый бассейн. По совокупности этих признаков можно предполагать, что «строматолитовые луга» Укской карбонатной платформы существовали преимущественно в обстановках ниже базиса действия обычных волн (в основном в пределах среднего рампа и, возможно, также верхней части внешнего рампа), в пределах фотической зоны и при медленном подъеме относительного уровня моря. Рассматриваемый фациальный пояс был осложнен каналами, заполняющимися осадками во время штормов. Отсутствие таких каналов в толще медвежьей II и более широкое площадное распространение последней (вся площадь современного западного крыла БМА) указывает, по-видимому, на еще большие глубины ее формирования (вплоть до внешнего рампа, на периферии фотической зоны).

В пределах **манайсинской толщи** распространены не только темпеститы, но и отложения зоны влияния обычных волн (калькарениты) – косослоистые интракластовые и «кристаллокластово»-пелоидные разности (включая доломиты верхней пачки). Соответственно, осадконакопление в это время протекало вблизи базиса действия нормальных волн – в пределах нижней части внутреннего рампа и, вероятно, верхней части среднего рампа (не исключено, что какой-то объем осадков накапливался в пределах литорали, но ее признаки камуфлированы). Мозаичность фаций, наблюдаемая в манайсинской толще, хорошо с этим согласуется – на примере современных бассейнов с карбонатной седиментацией показано, что для глубин менее 40 м характерен очень богатый спектр литотипов и фаций [Purkis et al., 2015]. Распространение штормовых отложений на мелководье (что справедливо и для раннеукского времени) указывает на отсутствие рифового обрамления у Укской карбонатной платформы (Рисунок 8).

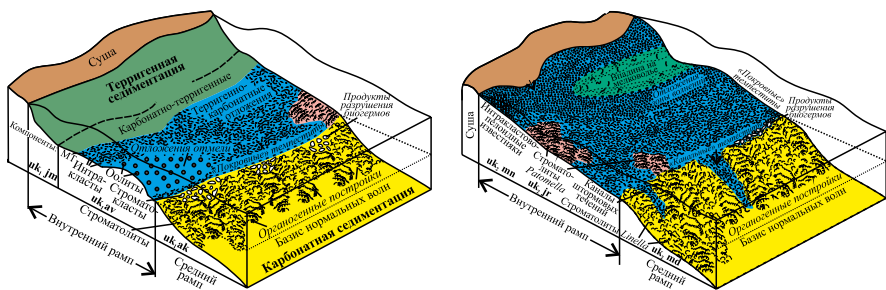


Рисунок 8 – Фациальные блок-диаграммы на раннеукское (слева) и позднеукское (справа) время.

Теоретически, в случае рифовой природы толщи медвежьей I, мощность субсинхронных ей отложений в западных разрезах должна быть заметно меньше, но в реальности такого не наблюдается. Кроме того, широкое площадное распространение имеет толща медвежья II с такими же строматолитами *Linella*, которая уверенно интерпретируется как крупный биостром. В укской свите не встречены отложения, которые указывали бы на присутствие рельефного барьера (в частности, массивных карбонатных брекчий склона) – в ней нет фаций, которые можно было бы считать предрифовыми. Данные по геохимии редких элементов [Маслов, Дуб, 2024] в целом подтверждают выводы фациального анализа.

Таким образом, в осадочной последовательности укской свиты достаточно отчетливо выделяется три трансгрессивно-регрессивных цикла (см. Рисунок 7). Карбонатная аккостякская толща отражает непродолжительный эпизод высокого стояния уровня моря в раннеукское время. Смена мелководно-морских отложений нижеукской под-свиты умеренно мелководными (юрюзанская толща), а затем несколько более глубоководными (медвежья I толща) образованиями отвечает устойчивому трансгрессивному тренду в развитии бассейна в начале позднеукского времени. Последующее замедление темпов подъема уровня моря или его некоторое падение привели к резкой смене фаций и формированию мелководной манайсинской толщи. В ее составе доминируют отложения внутреннего – верхней части среднего рампса с признаками штормового воздействия, в отдельных интервалах – переработки обычными высокими. Смена интраклатовых разностей верхней части манайсинской толщи строматолитовыми постройками медвежьей II толщи отражает новый трансгрессивный тренд [Дуб, Гражданкин, 2021]. Предполагаемая корреляция медвежьей II толщи стратотипа с медвежьей толщей западных разрезов может указывать на более резкий и более значимый подъем уровня моря, по сравнению с трансгрессией в начале позднеукского времени. Возможно, на прекращение или возобновление роста строматолитовых построек влияли не только изменения глубины бассейна, но и другие факторы (освещенность, характер рельефа морского дна, температура и химизм вод и т.д.). Тем не менее, строматолитовые толщи, по всей видимости, отражают эпизоды подъема относительного уровня моря, что согласуется с данными по разрезам рифея других регионов мира [Bertrand-Sarfati, Moussine-Pouchkine, 1988; James et al., 1998; Хабаров, 1999, 2011; Batten et al., 2004; Петров, Семихатов, 2009; Kah, Bartley, 2022].

Отложения укской свиты накапливались в платформенных условиях при пассивном тектоническом режиме, на окраине Балтики. Исходя из того, что в стратотипе песчаники ямаштинской толщи наиболее тонкозернистые (по сравнению с песчаниками этого уровня в других районах БМА), а терригенные отложения составляют не очень большой объем авдырдаской толщи, можно предполагать, что в северной части мегантиклинория осадки раннеукского времени формировались на удалении от берега. В позднеукское время формирование основного объема отложений Сулеймановской антиклинали протекало ниже базиса действия нормальных волн. Соответственно, терригенно-карбонатные отложения укской свиты в стратотипе в целом накапливались в

дистальных обстановках шельфа, по сравнению с субсинхронными им отложениями в западных и юго-западных районах БМА. В западных районах БМА в нижней части верхней подсвиты выделены отложения куртазинской толщи, которые могли формироваться в обстановках впадины в пределах мелководного рампа.

**3. В известняках верхнеукской подсвиты цериевая аномалия слабая отрицательная или практически отсутствует, что предполагает низкое содержание кислорода в бассейне седиментации. Редокс-статус среды осадконакопления главным образом определялся составом вод Мирового океана, с которым бассейн восточной пассивной окраины Балтики в это время сообщался и в котором были широко распространены аноксические обстановки.**

Карбонатные породы являются основным объектом хемотратиграфических исследований, позволяя оценивать параметры среды седиментации в геологическом прошлом. Одним из наиболее надежных индикаторов редокс-обстановок палеобассейнов считается аномалия Се в (био)хемогенных карбонатах [Ling et al., 2013; Tostevin et al., 2016; Wallace et al., 2017; и др.]. Поскольку в богатой кислородом среде происходит интенсивное удаление Се из морской воды [Elderfield, 1988; Дубинин, 2004], а образующиеся в равновесии с ней карбонатные осадки наследуют распределение растворенных РЗЭ [Webb, Kamber, 2000; Li et al., 2019], то по величине аномалии в известняках (или в их компонентах) можно судить о степени оксигенизации вод бассейна: чем меньше значение Се/Се\*, тем выше было содержание кислорода в воде. Аномалия Се отражает усредненную редокс-историю определенной водной массы, т.е. характеризует бассейн осадконакопления в целом [German, Elderfield, 1990; Wallace et al., 2017]. При интерпретации данных важно также учитывать, что поведение Се в природных водах во многом зависит и от pH среды [Frimmel, 2009; Zhang, Shields, 2022; и др.].

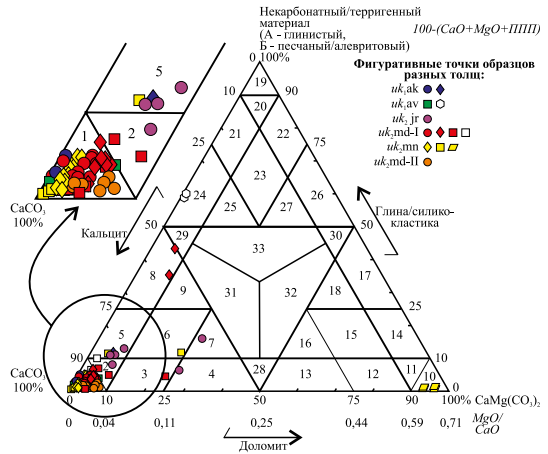
Предполагается, что глубинные слои океанических вод оставались преимущественно бескислородными практически до среднего девона [Wallace et al., 2017; Zhang, Shields, 2022; Stacey et al., 2024]. Пост содержания кислорода в атмосфере и гидросфере происходил нелинейно. В геологической истории известно «Неопротерозойское кислородное событие» (Neoproterozoic Oxygenation Event, ~810–540 млн лет) [Och, Shields-Zhou, 2012; Alcott et al., 2019; Zhang, Shields, 2022], которое корректнее рассматривать как весьма продолжительную фазу, состоящую из череды самостоятельных событий оксигенизации (начиная от С-изотопного события Bitter Springs [Lu et al., 2017; Halverson et al., 2022]), поскольку она характеризовалась существенными вариациями уровня O<sub>2</sub> [Canfield et al., 2008; Och, Shields-Zhou, 2012; Prince et al., 2019].

Образцы/пробы, пригодные для редокс-реконструкций (с гидрогенными спектрами РЗЭ+Y), должны соответствовать одновременно следующим геохимическим критериям:  $(Nd/Yb)_{sh} = 0,15-0,60$ ,  $Y/Ho > 36$ ,  $\Sigma PZЭ < 10$  г/т,  $Eu/Eu^* > 0,90$  ([Taylor, McLennan, 1985; DeBaar, 1988; Webb, Kamber, 2000; Ling et al., 2013; Tostevin et al., 2016; Li et al., 2019; Zhang, Shields, 2022; и др.], см. также [Дуб, Мизенс, 2023]).

Подавляющее большинство изученных известняков обеих подсвит (около 85% от общего числа образцов) представлено относительно чистыми разновидями, тем не менее породы разных толщ (а также фациально разные отложения медвежьей I толщи) обладают некоторыми особенностями, которые отражены в расположении фигуративных точек на треугольной диаграмме состава терригенно-карбонатных и карбонатно-терригенных пород (Рисунок 9). При этом доля «ультрачистых» известняков не очень велика – 7 образцов из 75 (если учитывать MgO, то таких образцов всего два).

По результатам изучения вещественного состава пород выявлено, что (1) преобладающая доля MgO сосредоточена в метасоматическом доломите, а не в слоистых силикатах; (2) строматолиты *Patomella* в большей степени обогащены силикокластикой, нежели *Linella* (что свидетельствует о влиянии агентов транспортировки терригенного материала на осадконакопление в самом начале позднеукского времени); (3) строматолиты толщи медвежьей II содержат меньше некарбонатной примеси, чем нижележащие аналоги (т.е. в конце укского времени на осадконакопление влияли уже исключительно внутривпадинные факторы), но при этом подверглись более интенсивным

Рисунок 9 – Фигуративные точки известняков и доломитов укской свиты на треугольной диаграмме состава терригенно-карбонатных и карбонатно-терригенных пород (модифицирована из работ [Вишняков, 1933, Фролов, 1993; Кузнецов, Патрунов, 1998; Кузнецов, 2007; Юдович, Кетрис, 2016]). Выколотые точки – образцы вне классификации: кремнистые известняки и кремни (некарбонатная составляющая представлена аутигенным кремнеземом). Используются данные РСА и РФА. Обозначения полей и отдельных литотипов в каждой из толщ – см. текст диссертации.

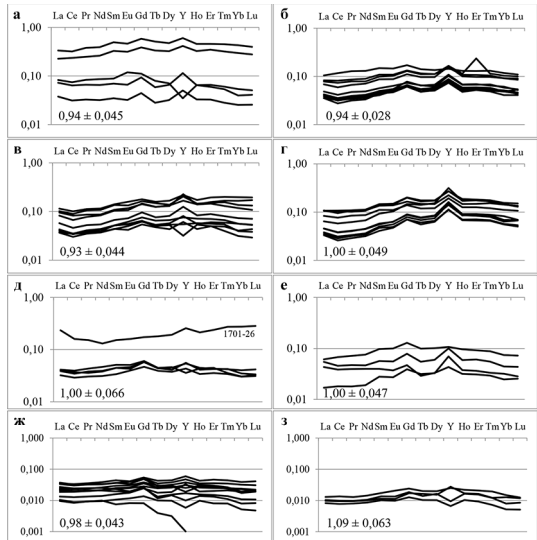


эпигенетическим преобразованием; (4) межбиогермные отложения внутри органогенных построек толщи медвежьей I содержат разное количество терригенного материала (от практически чистых до сильноглинистых известняков); (5) слоистые известняки манайсинской толщи в целом чуть более чистые по сравнению с отложениями других толщ, в то же время верхняя пачка этой толщи сложена относительно чистыми (но метасоматическими) доломитами.

Распределение РЗЭ+У в известняках верхней подсвиты в значительной мере контролируется терригенной/глинистой примесью [Маслов, 2021]. Кроме того, некоторая доля лантаноидов может быть связана со вторичными карбонатными фазами – в первую очередь, с метасоматическим доломитом, который в том или ином (как правило, достаточно небольшом) количестве присутствует практически во всех изученных пробах [Дуб и др., 2019а, 2019б].

Распределение спектров РЗЭ+У рассматриваемых отложений по литотипам (Рисунок 10) позволило зафиксировать некоторые различия как между толщами, так и между разными типами пород в составе последних. Они подтверждают установленное закономерное снижение доли терригенного материала от

Рисунок 10 – Нормированные по РААС спектры распределения РЗЭ+У в карбонатных породах верхней подсвиты (валовые пробы): а – юрюзанская толща: известняки с *Patomella*; б–г – медвежья I толща: б – известняки с *Linella*, в – микрозернистые известняки межбиогермного заполнения, г – известняки слоистых пакетов; д–з – манайсинская толща: д – микрозернистые глинистые известняки и карбонатно-терригенная порода, е – яснозернистые известняки нижних элементов циклитов, ж – микрозернистые известняки верхних элементов циклитов, з – яснозернистые косо-слоистые известняки. Для каждого набора спектров приведено среднее арифметическое значение величины цериевой аномалии и ( $\pm$ ) стандартное отклонение.



юрюзанской толщи к медвежьей I и, затем, к манайсинской. Отмечаются также некоторые различия в величине цериевой аномалии.

Формально, из всей коллекции, представленной валовыми пробами известняков (60 обр.) и различными кислотными вытяжками из них (47 проб), для оценки редокс-параметров среды подходят 7 проб, удовлетворяющих геохимическим критериям определения гидрогенных спектров P3Э+Y при нормировании по PAAS (среди них как ультрачистые известняки – 5 шт., так кислотные вытяжки – 2 шт.) – величины Ce/Ce\* в них составляют 0,95–1,07 (т.е. аномалия практически отсутствует или слабая положительная), что свидетельствует об аноксидной среде седиментации. В строматолитовых известняках и в межбегердных разностях величина Ce/Ce\* в среднем составляет 0,93–0,94, указывая на несколько более высокое содержание кислорода в воде бассейна: несмотря на то, что в целом спектры P3Э+Y не признаны гидрогенными, отрицательная аномалия Ce в них, скорее всего, свойственна именно (био)хемогенным компонентам и происходит от морской воды (присутствие каких-либо иных фаз-носителей этой аномалии маловероятно). Соответственно, вклад масштабного (исходя из обилия строматолитов) оксигенного фотосинтеза в общую картину редокс-состояния бассейна был не очень велик на фоне преобладания аноксии в воде позднерифейского (тонийского) океана, включая и мелководные шельфовые моря (при всей известной «мозаичности» редокс-обстановок в то время [Sperling et al., 2014, 2015; Маслов, Подковыров, 2018]). Значения Ce/Ce\* в укской свите вписываются в канву средних/медианных значений этой величины, отражающих отсутствие или слабые проявления рассматриваемой аномалии, в разрезах верхнего тония мира [Stacey et al., 2023].

Таким образом, редокс-режим на Укской карбонатной платформе главным образом обеспечивался влиянием общеокеанической гидрохимии. В нижней подсвите широко распространены глауконититы, встречается тонкорассеянный пирит. Состав биомаркеров в породах верхней подсвиты [Парфенова, Мельник 2020a] указывает на отсутствие стратификации водной толщи и также на субвосстановительные условия в осадке. Пример укской свиты подтверждает представления о глобальной природе мелководной аноксии, характерной для неопротерозоя, за исключением отдельных кислородных событий (таких как Bitter Springs) Неопротерозойской фазы оксигенизации.

**4. Укская свита сформировалась до оледенения Стерт, охватывающего интервал ~717–660 млн лет. В пользу этого, помимо регионально-геологических и хемотратиграфических данных, свидетельствуют литологические особенности пород: для слоистых известняков обеих подсвит характерны текстуры molar-tooth, почти полностью отсутствующие в отложениях моложе 717 млн лет.**

MT-текстуры не известны в современных отложениях и имеют строгую стратиграфическую принадлежность (2600–717 млн лет), так как почти полностью исчезают из геологической летописи на рубеже тония и криогения [Shields, 2002; Pollock et al., 2006; Hodgskiss et al., 2018]. Как исключение, находки этих текстур известны лишь в двух разрезах эдиакария (формации Майберг (Maieberg) в Намибии (~635 млн лет, кэп-карбонаты) и формации Вонока (Wonoka) в Австралии (~580 млн лет)), в каждом из которых они приурочены только к одному пласту. Достоверных свидетельств присутствия MT-текстур в породах криогения (точнее, в интервале от начала оледенения Стерт до конца гляциопериода Марино) различных регионов мира к настоящему моменту нет [James et al., 1998; Bishop, Sumner, 2006; Kuang, 2014; Hodgskiss et al., 2018; и др.]. Находки сходных образований в фанерозое (например, [Rossetti, Gyes, 2000; Miller et al., 2018]) не обладают всеми признаками MT-текстур, в частности в них отсутствует однородный равномерно-микроспаритовый карбонат [Kriscautzky et al., 2022].

Возможное объяснение феномена исчезновения MT-текстур тесно связано с проблемой их происхождения, которой посвящен гигантский массив публикаций (например, обзоры [Kuang, 2014; Smith, 2016]). Г.А. Шилдс [Shields, 2002] связал его со снижением уровня насыщения морской воды по карбонату кальция. Такая точка зрения поддерживается и другими исследователями [Pollock et al., 2006; Hodgskiss et al., 2018; Cantine et al., 2020], хотя реальная картина, по-видимому, была несколько более сложной и многофакторной [Grotzinger, 1990; Strauss, Tosca, 2020; Kriscautzky et al., 2022].

Мезопротерозой и ранний неопротерозой – это время, когда насыщенность вод по карбонату кальция находилась на уровне, способствовавшем, с одной стороны, умеренной консолидации осадков с формированием субстратов поначалу нелитифицированных, но обладающих «когезионными» свойствами (*cohesive yet unlithified*), а с другой – быстрому заполнению пустот хемогенным микроспаритом [Lyons et al., 2023].

В сокращении распространённости этих загадочных образований в геологической истории мог играть роль и рост концентрации кислорода в Мировом океане [Higgins et al., 2009; Shen et al., 2016; Hodgskiss et al., 2018]. Недавно также установлена связь между массовым распространением МТ-текстур в мезопротерозое–раннем неопротерозое и низкой концентрацией сульфат-ионов в морской воде того времени [Liu et al., 2023; Lyons et al., 2023].

В составе укской свиты присутствуют пачки с многочисленными МТ-текстурами [Дуб и др., 2018, 2024; Дуб, Гражданкин, 2021]. Данные образования наиболее широко распространены в авдырдакской толще нижней подсвиты и в манайсинской толще (как I, так и II) верхней подсвиты (см. Рисунки 5е–5ж, 6н–6о), тогда как в медвежьей I толще они имеют подчиненное значение, встречаясь только на отдельных уровнях внутри пакетов зернистых известняков. В массивных строматолитовых известняках МТ-прожилков нет, не обнаружены они и в межбиогермных линзах микрозернистых известняков. Однако для слоистых толщ обильные и разнообразные МТ-текстуры являются основным характеристическим признаком. Среди них распространены не только автохтонные, но и аллохтонные образования, перетолжение которых обеспечивалось в первую очередь штормовой деятельностью, – МТ-текстуры в укской свите в основном ассоциируют с циклически построенными пачками темпеститов.

Комплекс данных подтверждает, что бассейн седиментации в укское время сообщался с Мировым океаном. Среди них – многочисленные свидетельства доминирования штормовой активности, отсутствие признаков ограниченной циркуляции вод и интенсивной эвапорации (смена в разрезе существенно доломитовой миньярской свиты на терригенно-известняковую укскую позволяет предполагать свободный водообмен с открыто-морским бассейном). Такая связь подтверждается также данными хемотратиграфических исследований [Подковыров и др., 1998; Кузнецов и др., 2003, 2006; Kuznetsov et al., 2017] и палеогеографических реконструкций [Маслов и др., 2002; Li et al., 2013, 2023]. Соответственно, массовость МТ-текстур в известняках укской свиты обусловлена их глобальным распространением в то время.

Датировка самого молодого обломочного циркона (~1129 млн лет) из терригенно-карбонатных пород нижнеукской подсвиты [Зайцева и др., 2022а] не позволяет решить проблему возраста свиты в целом, а имеющиеся датировки по глаукониту не отражают время седиментогенеза отложений. Все остальные перечисленные выше геологические данные (позиция в разрезе и несогласие в кровле свиты, хемотратиграфия, обилие МТ-текстур) свидетельствуют о том, что это геологическое тело как минимум древнее ~717 млн лет [Дуб, 2021а].

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В результате проведенных исследований установлено, что мощность укской свиты на западном крыле БМА составляет не более 270 м (что заметно меньше предыдущих оценок). Подтверждена точка зрения о наличии перерыва в основании свиты.

Выполнено литостратиграфическое расчленение отложений укской свиты. В нижней подсвите выделены три толщи (ямаштинская, аккостаякская и авдырдакская), которые прослеживаются на всем западном крыле БМА. В стратотипе (Сулеймановская антиклиналь, р. Юрюзань у г. Усть-Катав) в верхней подсвите выделено четыре толщи (юрюзанская, медвежья I, манайсинская, медвежья II). Две из них сходны по литологии, что отражает цикличность седиментации. В связи с фациальной изменчивостью, в разрезах Алатауского антиклинория литология и последовательность подразделений верхней подсвиты несколько иная (куртазинская, манайсинская I, медвежья, манайсинская II толщи), тем не менее литостратиграфические корреляции между стратотипом и гипостратотипами возможны.

Показано, что Укская карбонатная платформа не имела рифового обрамления (представляла собой карбонатный рамп) и была подвержена влиянию штормов. Сделан вывод, что отложения, вскрытые в стратотипическом разрезе укской свиты (на севере БМА), накапливались в дистальных обстановках, по сравнению с отложениями в западных и юго-западных районах названной структуры. Постройки с толстостолбчатыми строматолитами *Linella* в основном формировались в обстановках среднего рампа (и, возможно, глубже), в его фотической зоне. Для тонкостолбчатых строматолитов *Patomella* предполагается более мелководная обстановка с большей гидродинамической активностью среды. В разрезе укской свиты выделено три трансгрессивно-регрессивных циклита. Помимо колебаний относительного уровня моря, на осадконакопление могли оказывать влияние климатические изменения.

Обнаружено, что в известняках верхней подсвиты цериевая аномалия практически отсутствует (в спектрах РЗЭ+У, определенных по геохимическим критериям как гидрогенные) или слабая отрицательная, что указывает на низкое содержание кислорода в бассейне седиментации и обусловлено влиянием преимущественно аноксического океана конца каратауского времени позднего рифея (тония).

Получен новый (литологический) аргумент в пользу представлений о более древнем возрасте укской свиты, по сравнению с имеющимися датировками по глаукониту: для слоистых известняков обеих ее подсвит типичны массовые МТ-прожилки (представленные как в автохтонном, так и в аллохтонном виде), которые в таком количестве не характерны для отложений моложе 717 млн лет.

Укская свита залегает ниже всех известных гляциогенных горизонтов в стратиграфической последовательности верхнего докембрия Южного Урала, коррелируемых с неопротерозойскими ледниковыми отложениями мира, в связи с чем во многих районах БМА она эродирована.

## СПИСОК ОСНОВНЫХ РАБОТ АВТОРА ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

Статьи в журналах, рекомендованных ВАК:

1. Маслов А.В., Гражданкин Д.В., Дуб С.А., Мельник Д.С., Парфенова Т.М., Колесников А.В., Чердниченко Н.В., Киселева Д.В. Укская свита верхнего рифея Южного Урала: седиментология и геохимия (первые результаты исследований) // Литосфера. 2019. Т. 19, № 5. С. 659–686.
2. Дуб С.А., Чердниченко Н.В., Киселева Д.В., Горбунова Н.П., Гуляева Т.Я., Дерюгина Л.К. Поведение микроэлементов в кислотных вытяжках (уксусной, азотной и соляной) из терригенно-карбонатных пород укской свиты верхнего рифея Южного Урала // Литосфера. 2019. Т. 19, № 6. С. 919–944.
3. Дуб С.А. Верхнерифейско-вендские отложения Башкирского мегантиклинория Южного Урала: состояние изученности и стратиграфическое расчленение // Геология и геофизика. 2021. Т. 62, № 11. С. 1511–1530.
4. Дуб С.А., Гражданкин Д.В. Литология и обстановки осадконакопления карбонатных отложений укской свиты верхнего рифея (неопротерозой) Южного Урала // Литология и полезные ископаемые. 2021. № 6. С. 513–537.
5. Дуб С.А., Мизенс Г.А. Геохимия редкоземельных элементов и цериевая аномалия в морских осадочных карбонатах: современные представления // Вестник геонаук. 2023. Т. 347, № 11. С. 3–17.
6. Дуб С.А., Мельничук О.Ю., Крупенин М.Т. Карбонатно-терригенные отложения нижнеукской подсвиты верхнего рифея в стратотипическом разрезе и их корреляция в пределах Башкирского мегантиклинория Южного Урала // Литосфера. 2024. Т. 24, № 3. С. 451–478.
7. Маслов А.В., Дуб С.А. Литогеохимические характеристики и обстановки осадконакопления известняков укской свиты верхнего рифея Южного Урала // Литология и полезные ископаемые. 2024. Т. 59, № 3. С. 317–339.
8. Дуб С.А., Бадида Л.В., Мельничук О.Ю., Леонова Л.В. Комплекс преобразований терригенных и карбонатных отложений укской свиты верхнего рифея Южного Урала в стратотипическом разрезе (р. Юрюзань, г. Усть-Катав) // Литосфера. 2025. Т. 25, № 4. С. 748–771.