

УДК 550.+

DOI: 10.24930/2500-302X-2024-24-3-451-478

Карбонатно-терригенные отложения нижнеукской подсвиты верхнего рифея в стратотипическом разрезе и их корреляция в пределах Башкирского мегантиклинория Южного Урала

С. А. Дуб, О. Ю. Мельничук, М. Т. Крупенин

Институт геологии и геохимии им. академика А.Н. Заварицкого УрО РАН, 620110, г. Екатеринбург, ул. Академика Вонсовского, 15, e-mails: sapurins@gmail.com; o.u.melnichuk@gmail.com; krupenin@igg.uran.ru

Поступила в редакцию 25.04.2023 г., принята к печати 31.08.2023 г.

Объект исследования. Детально изучены карбонатно-терригенные отложения нижней подсвиты укской свиты в разрезе на р. Юрюзань (к востоку от г. Усть-Катав Челябинской области) и сопоставлены с отложениями подсвиты в разрезах по рекам Басу, Зилим и Большой Инзер. **Материал и методы.** Дано развернутое описание стратотипического разреза; проведено исследование песчаников, алевролитов и известняков в шлифах; удаленные разрезы скоррелированы друг с другом. **Результаты.** Рассмотрены взаимоотношения нижнеукской подсвиты с подстилающими отложениями. Представлена детальная петрографическая характеристика пород. Толщи нижнеукской подсвиты прослежены между разрезами различных структурно-тектонических зон Башкирского мегантиклинория. **Выводы.** Комплекс признаков свидетельствует в пользу представлений о наличии перерыва в основании укской свиты даже в наиболее полных последовательностях (в которых представлена локально развитая шубинская толща миньярской свиты). В стратотипе и других представительных разрезах нижнеукская подсвита имеет выраженное трехчленное строение: она подразделена на нижнюю (существенно терригенную) ямаштинскую, среднюю (существенно карбонатную) аккостякскую и верхнюю (терригенно-карбонатную) авдырдаскую толщи. Данные литолого-фациального анализа позволяют предполагать смену обстановок от прибрежно-морских терригенных к мелководно-морским терригенно-карбонатным (средний и внутренний рамп) за счет колебаний относительного уровня моря и, вероятно, изменений климата. Установлено, что территория Сулеймановской антиклинали в укское время позднего рифея соответствовала дистальным обстановкам седиментации по сравнению с южными и западными (Алатауским антиклинорием) районами мегантиклинория.

Ключевые слова: осадочные системы смешанного типа, литостратиграфия, обстановки седиментации, molar tooth текстуры, штурмовые отложения

Источник финансирования

Исследования проведены в соответствии с темой государственного задания ИГГ УрО РАН (№ госрегистрации 123011800013-6)

Carbonate-siliciclastic deposits of the Lower Uk Subformation (Neoproterozoic) in the stratotype section and its correlation within Bashkirian Mega-Anticlinorium of the Southern Urals

Semyon A. Dub, Oleg Yu. Melnichuk, Michael T. Krupenin

A.N. Zavaritsky Institute of Geology and Geochemistry, UB RAS, 15 Academician Vonsovsky st., Ekaterinburg 620110, Russia, e-mails: sapurins@gmail.com; o.u.melnichuk@gmail.com; krupenin@igg.uran.ru

Received 25.04.2023, accepted 31.08.2023

Research subject. Carbonate-siliciclastic deposits of the Lower Uk Subformation were thoroughly studied in the section along the Yuryuzan river (near Ust-Katav town, Chelyabinsk region) and correlated with subformation sections along the Basu, Zilim and Bolshoy Inzer rivers. **Material and methods.** A detailed description of the stratotype section was carried out; sandstones, siltstones and limestones were studied in thin sections. The sections were correlated with each

Для цитирования: Дуб С.А., Мельничук О.Ю., Крупенин М.Т. (2024) Карбонатно-терригенные отложения нижнеукской подсвиты верхнего рифея в стратотипическом разрезе и их корреляция в пределах Башкирского мегантиклинория Южного Урала. *Литосфера*, 24(3), 451–478. <https://doi.org/10.24930/2500-302X-2024-24-3-451-478>

For citation: Dub S.A., Melnichuk O.Yu., Krupenin M.T. (2024) Carbonate-siliciclastic deposits of the Lower Uk Subformation (Neoproterozoic) in the stratotype section and its correlation within Bashkirian Mega-Anticlinorium of the Southern Urals. *Lithosphere (Russia)*, 24(3), 451–478. (In Russ.) <https://doi.org/10.24930/2500-302X-2024-24-3-451-478>

© С.А. Дуб, О.Ю. Мельничук, М.Т. Крупенин, 2024

other. *Results.* Relationships between the Lower Uk Subformation and the underlying deposits are studied. The petrographic characteristics of rocks are presented. The Lower Uk Subformation sequences are traced between sections of various structural-tectonic zones of the Bashkirian Mega-anticlinorium (BMA). *Conclusions.* The set of features supports the idea about the presence of a sedimentary hiatus at the base of the formation, even in the most complete sequences (which contain the locally developed Shubino Member of the Minyar Formation). In the stratotype and in other reference sections, the Lower Uk Subformation has a pronounced three-membered structure; it is subdivided into the lower (siliciclastic) Yamashta, middle (substantially carbonate) Akkostyak, and upper (siliciclastic-carbonate) Avdyrdak members. The lithofacies analysis results suggest a change in environments from coastal-marine siliciclastic to shallow-marine siliciclastic-carbonate (middle and inner ramps) due to fluctuations in the relative sea level and, probably, climate change. It was established that the area of the Suleimanovo anticline at latest Riphean corresponded to the distal sedimentary environments in comparison with the southern and western zones (Alatau anticlinorium) of the BMA.

Keywords: *mixed sedimentary systems, lithostratigraphy, sedimentary environments, molar tooth structures, storm deposits*

Funding information

The studies were carried out in accordance with the theme of the state assignment of the IGG UB RAS (state registration No. 123011800013-6)

Acknowledgements

The authors are deeply grateful to V.M. Gorozhanin and the anonymous reviewer for a thorough analysis of the manuscript and critical comments, which made it possible to significantly improve the article and increase the quality of figures.

ВВЕДЕНИЕ

Укская свита в последние годы привлекает все большее внимание исследователей. Она формировалась в интервале времени, предшествующем наступлению оледенений глобального характера (~717 млн лет) и началу рифтогенеза на южноуральской окраине Родинии (Пучков и др., 2017; Маслов и др., 2019; Дуб, 2021). В связи с этим углубленное изучение отложений может пролить свет на возможные причины климатических изменений и особенности эволюции бассейна седиментации в то время.

Укская свита была выделена как самостоятельное подразделение С.М. Домрачевым (1952), который рассматривал ее в качестве карбонатной фации ашинской свиты (развитой в пределах хребта Каратау) и относил к девону. Детальное изучение свиты в других районах Башкирского мегантиклинория (БМА) было проведено Ю.Р. Беккером, установившим протерозойский возраст отложений и их залегание под ашинской свитой (ныне – серией) (1961). При этом длительное время многими авторами они продолжали рассматриваться как часть миньярской свиты (Крылов, 1963; Романов, 1973). В 1960–1970-х гг. укской свите рядом исследователей приписывался вендский возраст (Келлер, 1966; Сюндюков, Ревенко, 1972). Затем некоторое время она относилась к “кудашу” (подразделению, выделяемому в составе “вендомия” или “терминального рифея”) (Келлер, 1974; Стратотип..., 1983). Но данная стратиграфическая схема не имела под собой надежной базы, поскольку корреляционное

значение тогда приписывалось так называемым “микрофитолитам”, которые, как впоследствии было установлено (Головенко, 1984; Соколов, 1997; и др.), тесно связаны с фациями.

Строматолиты в верхней подсвите детально изучались И.Н. Крыловым (1967, 1975), М.Е. Раабен, В.Е. Забродиным и Вл.А. Комаром (Раабен, Забродин, 1972; Раабен, Комар, 1982). Минеральный и химический состав терригенных пород исследовался А.В. Масловым с соавторами (1999), а карбонатных – Э.З. Гареевым (1982). К настоящему времени получены данные о микрофоссилиях укской свиты (Янкаускас, 1980; Вейс и др., 2003), составе органического вещества (Маслов и др., 2019), абсолютном возрасте глауконита (Горожанин, Кутявин, 1986; Зайцева и др., 2008), распределении дестритовых цирконов (Зайцева и др., 2022), а также об изотопном составе стронция и углерода в карбонатах (Кузнецов и др., 2003, 2006).

Послойные описания разрезов в основном выполнены В.И. Козловым с соавторами (Козлов, 1982; Козлов и др., 1995), часть из них изучена Б.М. Келлером (Стратотип..., 1983), а также А.В. Масловым с коллегами (2001). В наше время разрезы нуждаются в детальном и актуализированном описании в сочетании с седиментологической интерпретацией структурно-текстурных характеристик пород. Почти не проработан вопрос корреляции отдельных толщ укской свиты, отсутствует ее сиквенс-стратиграфическая модель. Кроме того, принципиальное значение имеет вопрос взаимоотношений с подстилающими отложениями

ми, поскольку характер границы важен для оценки полноты “стратотипа рифея” в целом, а также для хемотратиграфических построений и разного рода реконструкций.

Литолого-стратиграфическому изучению свиты посвящен ряд публикаций последних лет (Маслов и др., 2019; Дуб, Гражданкин, 2021; Сергеева и др., 2023). Задача настоящей работы – охарактеризовать детали строения нижней карбонатно-терригенной подсвиты, дать детальную петрографическую характеристику пород в стратотипе и обрисовать возможный вариант корреляции отложений в пределах БМА.

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА УКСКОЙ СВИТЫ

Укская свита мощностью до 450 м (Козлов, 1982) обнажается в пределах Каратауского структурного комплекса, Сулеймановской антиклинали, Алатауского антиклинория, Инзерского синклинория западного крыла БМА, а также в Тирлянской и Аралбаевской синклиналях на восточном крыле мегантиклинория. Представительные (опорные) разрезы находятся в северной и западной частях БМА, в остальных тектонических структурах свита, как правило, обнажена фрагментарно. В ряде районов (например, в Толпаровской и Криволукской синклиналях) укская свита частично размыта (вследствие образования глубоких эрозионных врезов, заполненных в том числе позднепротерозойскими гляциальными отложениями). В Инзерском синклинории ее самые нижние уровни присутствуют только в ядрах некоторых синклинальных структур.

Свита венчает разрез каратауской серии стратотипа рифея (Беккер, 1961; Маслов и др., 2001; Пучков и др., 2017). Она подразделяется на две подсвиты – нижнюю культамакскую, карбонатно-терригенную (до терригенно-карбонатной), и верхнюю акташскую, существенно карбонатную (Беккер, 1961; Стратотип..., 1983; Маслов и др., 2019). Нижняя подсвита сложена глауконит-кварцевыми песчаниками, алевролитами и аргиллитами, а также известняками (в том числе с терригенной примесью), преобладающими в средней части и на верхних уровнях подсвиты. Верхняя подсвита укской свиты представлена как массивными строматолитовыми известняками, так и слоистыми зернистыми разностями. Породы в разной степени доломитизированы.

По данным Ю.Р. Беккера (1961), в основании свиты имеет место выраженный перерыв. Данные геологической съемки также свидетельствуют о несогласном залегании укской свиты на миньярской, по крайней мере в некоторых районах. Кроме того, изменения литогеохимических характеристик аргиллитов при переходе от миньярской к укской свите косвенно указывают на наличие перерыва на этом уровне (Маслов, 2020). Тем не менее

рядом авторов (Козлов, 1982; Стратотип..., 1983; и др.) в некоторых разрезах предполагался и предполагается постепенный переход между свитами.

В структурном плане с подстилающими отложениями свита имеет гораздо больше общих черт (распространенность и элементы залегания), нежели с перекрывающими. В Тирлянской синклинали на укской свите залегает аршинская серия (Козлов и др., 2011; Пучков и др., 2017), вулканические породы в составе которой имеют возраст ≈ 690 , ≈ 707 и ≈ 732 млн лет (по результатам U-Pb датирования цирконов (Краснобаев и др., 2012, 2019)). В других районах карбонатные отложения укской свиты перекрываются терригенными породами бакеевской, толпаровской или криволукской свит. Интенсивность вторичных преобразований верхней части укской свиты и несогласное залегание выше лежащих отложений во многих разрезах (Государственная геологическая карта..., 2013; Ларионов и др., 2015) указывают на значительный стратиграфический перерыв в кровле свиты.

В укской свите распространены строматолиты *Linella ukka* Krylov, *Linella simica* Krylov, *Tungussia bassa* Krylov и *Patomella kelleri* Raaben (Крылов, 1967; Раабен, Комар, 1982). Микробиота укской свиты характеризуется массовыми *Leiosphaeridia*, *Protosphaeridium* и *Siphonophycus typicum*, встречаются формы *Palaeolyngbya zilimica*, *Bavlinella faveolata*, *Symphosphaeridium* sp., чехлы *Polytrichoides* и *Tortunema* (Янкаускас, 1980; Вейс и др., 2003; Сергеев и др., 2010; Станевич и др., 2018).

Возраст свиты является предметом дискуссий. С одной стороны, для нижнеукской подсвиты по глаукониту Rb-Sr и K-Ar методами были получены датировки 663 ± 9 и 669 ± 16 млн лет (Зайцева и др., 2008). Известна также датировка 688 ± 10 млн лет (Горожанин, Кутявин, 1986). Однако все остальные данные (подробнее см.: Дуб, 2021) свидетельствуют о том, что это геологическое тело древнее ~ 717 млн лет. Возраст самого молодого детритового циркона из нижней подсвиты составляет 1129 ± 15 млн лет (Зайцева и др., 2022).

ОБЪЕКТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Наиболее полным разрезом укской свиты является разрез “Медведь”, или “Шубино” (по одноименному поселку), к востоку от г. Усть-Катав Челябинской области, на правом берегу р. Юрюзань. Он приурочен к западному крылу Сулеймановской антиклинали. В связи с неудовлетворительной обнаженностью свиты на хр. Каратау (в местности, где она была впервые описана) Ю.Р. Беккер (1961) и В.И. Козлов (1982) предложили рассматривать данный разрез в качестве стратотипа¹. Он легкодо-

¹ Точнее, согласно Стратиграфическому кодексу (2019), его следует считать неостратотипом.

ступен, характеризуется удовлетворительной обнаженностью большинства уровней, в нем хорошо представлены взаимоотношения свиты со смежными геологическими телами. Соответственно, разрезы Алатауского антиклинория (рис. 1), расположенные на реках Басу и Зилим (в устье руч. Малый Аккостяк и на участке между ручьями Куртаза и Савинтук), в той или иной степени дополняют устькатавский разрез и могут считаться гипостратотипами (Сергеева и др., 2023).

Разрез “Кулмас” расположен возле хут. Кулмас на правом берегу р. Басу, он протягивается от устья руч. Манайсу до устья руч. Улу-Елга и содержит несколько закрытых интервалов. Разрез “Аккостяк” описан по правому берегу р. Зилим непосредственно выше устья руч. Малый Аккостяк и ниже него. В скальных выходах по обоим берегам этой же реки на участке от 1.5 км (вдоль русла реки) ниже устья руч. Куртаза и до 3.5 км выше устья руч. Савинтук представлен составной разрез укской свиты (“Куртаза-Савинтук”), который наращается снизу вверх по течению. Верхняя толща миньярской свиты и нижняя часть укской хорошо обнажены (но содержат хорошо выраженные тектонические нарушения) в урочище Каямбук – в правом борту долины р. Бол. Инзер в 300 м ниже устья руч. Ямашта 1-я (разрез “Каямбук”).

Коренные выходы нижеукской подсвиты известны также на восточном крыле БМА, например на левом берегу р. Арша в Тирлянской синклинали (урочище Рудник, а также единичные выходы в районе точки с координатами 54°20'55" с. ш., 58°35'57" в. д.) и в бассейне р. Бугунды в Аралбаевской синклинали. Вопросы стратиграфии верхов каратауской серии восточного крыла БМА еще требуют проработки, в связи с чем данный район не рассматривается в настоящей работе.

Для решения обозначенных задач в подсвите были выделены толщи, дана детальная петрографическая характеристика пород стратотипического разреза, в общих чертах реконструирована фациальная принадлежность отложений, проведено их сопоставление между стратотипом и разрезами на реках Басу (“Кулмас”), Зилим (“Аккостяк”, “Куртаза-Савинтук”) и Бол. Инзер (“Каямбук”) (см. рис. 1).

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Характер границы укской и миньярской свит

На западном крыле Сулеймановской антиклинали и в центральной части Инзерского синклинали (ниже устья руч. Ямашта 1-я) песчаники укской свиты залегают на известняках самой верхней толщи миньярской свиты – шубинской. В Алатауском антиклинории (как на р. Басу, так и на р. Зилим) песчаники лежат на доломи-

тах балаевской/камаелгинской толщи миньярской свиты, содержащей многочисленные конкреции кремней (шубинская толща здесь полностью или частично выпадает из стратиграфической последовательности)².

Во многих разрезах основание укской свиты обнажено неудовлетворительно: коренные выходы миньярской свиты, как правило, сменяются элювиально-делювиальным развалом – многочисленными субкоренными обломками песчаников глыбовой и щебневой размерности. В частности, кровля миньярской свиты была вскрыта нами в разрезах “Медведь” (54°56'13.3" с. ш., 58°12'37.9" в. д.), “Каямбук” (54°9'10.7" с. ш., 57°30'43.2" в. д.) и “Кулмас” (54°19'4.4" с. ш., 57°10'17.2" в. д.). В некоторых разрезах в осыпи среди песчаников обнаруживаются гравелиты и конгломераты, сложенные литокластами известняков.

В шубинской толще разреза “Медведь” в большинстве образцов известняков почти нет песчано-алевритового материала. Доля терригенной примеси в целом низкая (не более нескольких процентов), ее увеличения вверх по разрезу не фиксируется. Карбонатная последовательность характеризуется относительно резкой верхней границей, выраженной в рельефе склона. Соответственно, в разрезе нет признаков постепенного перехода между свитами. В то же время по результатам изучения шлифов фиксируются многочисленные свидетельства эпигенетических преобразований отложений: ниже кровли миньярской свиты известняки перекристаллизованы, окремнены, гематитизированы (вследствие окисления пирита), содержат неравномерно распределенный железистый карбонат (сидерит и/или анкерит). Вероятнее всего, отмеченные преобразования обусловлены существованием проницаемой зоны на рассматриваемом контакте стратиграфических подразделений и миграцией по ней гидротермальных флюидов или метеорных вод на каком-либо из этапов эпигенетической истории осадочного бассейна. Здесь же встречаются ноздреватые массы гидроокислов железа. Данные признаки в совокупности могут свидетельствовать о субаэральной экспозиции отложений миньярской свиты.

Таким образом, перерыв на рассматриваемом уровне устанавливается отчетливо. Но уточнить его продолжительность не представляется возможным. Маловероятно, что он был длительным, поскольку между шубинской толщей миньярской свиты и карбонатными пачками укской свиты отмечается заметное сходство изотопного состава Sr, C и O (Подковыров и др., 1998; Кузнецов и др.,

² На границе миньярской и укской свит в разрезе по р. Зилим выше хут. Культамак отмечается пласт строматолитового известняка, который может быть сопоставлен с шубинской толщей (Стратотип..., 1983).

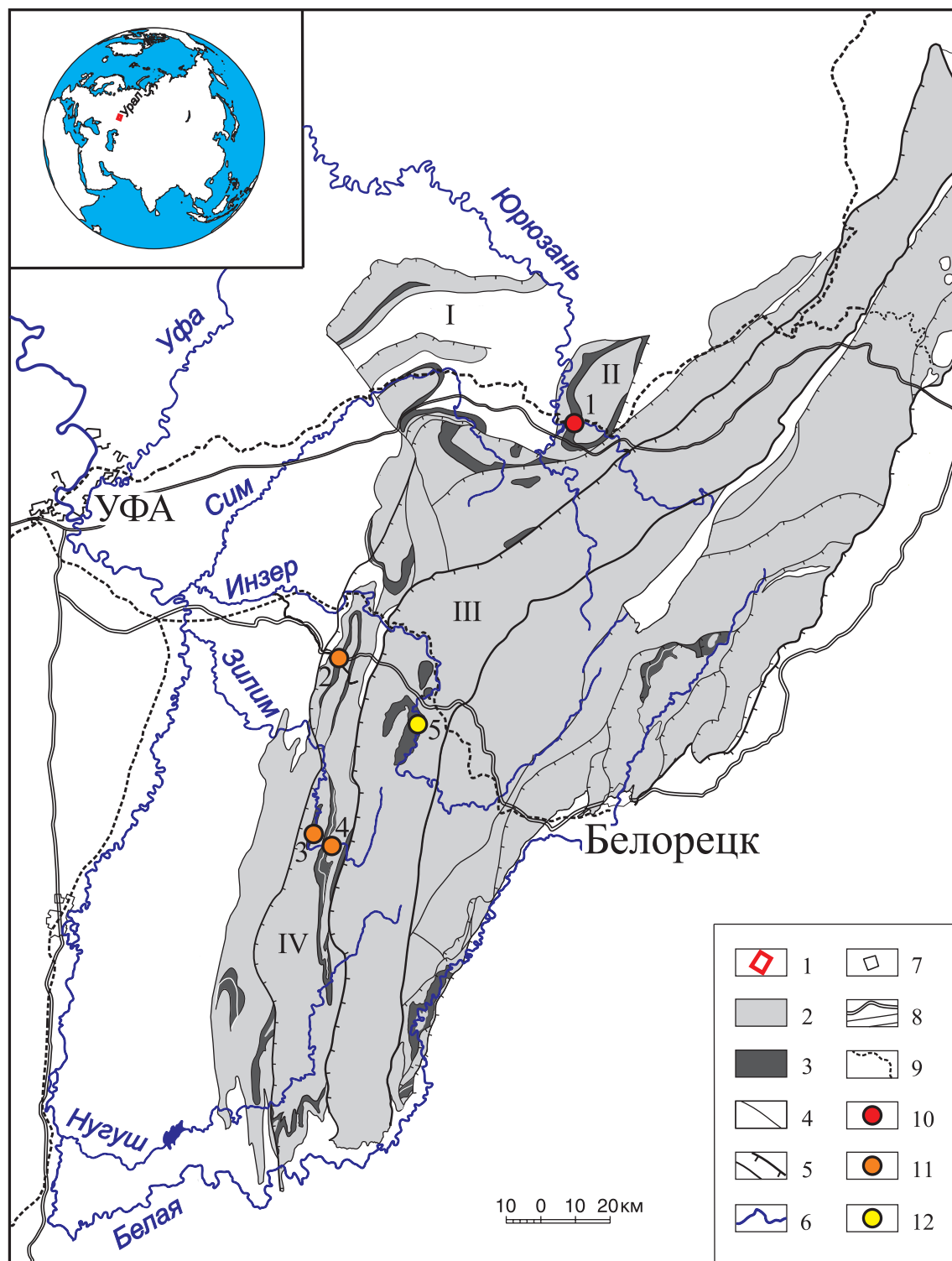


Рис. 1. Границы БМА по кровле докембрийских образований (Государственная геологическая карта..., 2013) и расположение изученных разрезов.

1 – расположение листа карты; 2 – площадь распространения докембрийских образований БМА 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 – автомагистрали; 9 – железные дороги; 10, 11 – изученные разрезы нижнеуфской подсвиты: 10 – стратотип, 11 – гипостратотипы; 12 – фрагментарный разрез. Разрезы: 1 – “Медведь”, 2 – “Кулмас”, 3 – “Аккостяк”, 4 – “Куртаза-Савинтук”, 5 – “Каямбук”. Структурно-тектонические единицы разного порядка: I – Каратауский структурный комплекс, II – Сулеймановская антиклиналь, III – Инзерский синклиниорий, IV – Алатауский антиклинорий.

Fig. 1. Bashkirian Mega-Anticlinorium area contoured by the top of Precambrian (Official Russian Federation..., 2013) and section locations.

1 – sector provided with the detailed geological map; 2 – area of Precambrian rocks (except the Min'yar and Uk formations) in BMA; 3 – area of Min'yar and Uk formations; 4 – stratigraphic boundaries; 5 – tectonic boundaries; 6 – rivers; 7 – settlements; 8 – highways; 9 – railways; 10 – stratotype section; 11 – hypostratotypes; 12 – partially exposed sequences. Sections: 1 – “Medved”, 2 – “Kulmas”, 3 – “Akkostyak”, 4 – “Kurtaza-Savintuk”, 5 – “Kayambuk”. Structural-tectonic units of different order: I – Karatau structural complex, II – Suleimanovo anticline, III – Inzer synclinorium, IV – Alatau anticlinorium.

2003, 2006) и литолого-фациальных характеристик (Раабен, Забродин, 1972; Журавлева, 1982; наши данные). В частности, для зернистых известняков укской свиты и шубинской толщи миньярской свиты характерны одни и те же форменные элементы (ФЭ – интракласты и онколиты), но они практически не встречаются в таком же количестве и соотношении в нижележащих отложениях. Так, если бы перерыв между свитами отсутствовал, корректнее было бы относить шубинскую толщу к укской свите, а не к миньярской. Более того, шубинская толща по обозначенным параметрам сильно отличается от остальной миньярской свиты, что заставляет предполагать скрытое несогласие и в ее подошве. На него косвенно указывает неравномерная доломитизация известняков и скачкообразное (более чем на 3‰) изменение изотопного состава углерода на границе толщ (Подковыров и др., 1998).

Стратиграфическое расчленение нижнеукской подсвиты и корреляция разрезов

Карбонатно-терригенные последовательности часто характеризуются сложным строением и изменчивостью по латерали. Тем не менее нижнеукская подсвита в пределах западного крыла БМА отчетливо подразделяется на три толщи: нижнюю (существенно терригенную), среднюю (существенно карбонатную) и верхнюю (терригенно-карбонатную в Сулеймановской антиклинали или переходную от терригенной к карбонатной в Алатауском антиклинории). Фациальный состав каждой из этих толщ от разреза к разрезу варьирует, но между собой они заметно различаются по преобладанию терригенной или карбонатной составляющей³.

³ В публикации намеренно отдано предпочтение термину “толща”, а не “пачка”. Согласно Геологическому словарю (2012) и Стратиграфическому кодексу (2019), толща – вспомогательное литостратиграфическое подразделение, которое может подразделяться на подтолщи, пачки и слои. Кодексом не рекомендуется присваивать пачкам географические названия. В то же время для толщ допускается наименование, состоящее из географического названия и слова “толща” или из географического названия и названия горной породы. Толща является картируемым подразделением наряду с серией и свитой; стратотип для нее не устанавливается, однако необходимо указать наиболее представительный разрез (разрезы). В целях установления единообразия и в связи с более свободным использовани-

Нижняя *ямаштинская* толща (лучше всего она обнажена на р. Бол. Инзер ниже устья р. Ямашта 1-я, в урочище Каямбук) представлена песчаниками, реже алевролитами и аргиллитами. Песчаники полевошпато-кварцевые, с глауконитом, от грубо- до тонкозернистых (с постепенными переходами в алевролиты), с глинистым, регенерационным кварцевым и карбонатным цементом. В составе толщи обнаруживаются редкие прослои гравелитов и конгломератов с обломками карбонатных пород. Мощность 20–45 м.

Средняя *аккостякская* толща (5–7 м) представлена известняками с терригенной примесью. Для нее характерны строматолиты – от протяженной постройки (биострома), состоящей из многочисленных биогермов, в разрезе на р. Юрюзань до редких биогермов в окружении интракластовых (в разрезе на р. Басу) или оолитовых (в разрезах по р. Зилим) известняков. В ней также присутствуют глинисто-карбонатные отложения с molar tooth (MT)-текстурами в виде крупных MT-прожилков и карбонатные конгломераты. В литолого-фациальном плане толща обладает сходством как с шубинской толщей миньярской свиты, так и с верхнеукской подсвитой.

Для верхней *авдырдакской* толщи (ее наиболее представительный разрез “Кулмас” находится на западном крыле Авдырдакской антиклинали) характерны терригенные и карбонатные породы. На западном крыле Сулеймановской антиклинали она представлена ритмичным чередованием пачек терригенных (преимущественно алевролитов с карбонатным цементом) и карбонатных пород (известняков яснозернистых интракластовых и оолитовых, а также микрозернистых разностей, часто с MT-текстурами) – здесь имеет место смешанный тип разреза. В Алатауском антиклинории толща подразделяется на две подтолщи, которые легко прослеживаются между разрезами. Нижняя подтолща представлена песчаниками, а также алевролитами и аргиллитами, часто с обильным глауконитом на поверхностях наложения. Для верхней подтолщи характерны тонкозернистые песчаники и крупнозернистые алевролиты с карбонатным цементом и косоволнистой слоистостью, нередко с прослоями оолитовых известняков. Суммарная мощность

ем термина “толща” пачки миньярской свиты с историческими названиями в настоящей работе также рассматриваются в качестве толщ.

толщи от 45 м (в Сулеймановской антиклинали) до ~60 м (в Алатауском антиклинории).

В стратотипическом разрезе граница нижней и верхней подсвит укской свиты хорошо выражена – она проводится по смене слоистых терригенно-карбонатных отложений (известняков и алевролитов авдырдакской толщи) массивными строматолитовыми известняками юрюзанской толщи, содержащими примесь терригенного материала. В разрезах Алатауского антиклинория эта граница менее отчетлива: условно ее можно провести в кровле пачки карбонатно-терригенных отложений с косоволнистой слоистостью, находящихся в парагенезе с оолитовыми известняками. Здесь нижняя *куртазинская* толща верхнеукской подсвиты (по р. Куртаза, ниже устья которого на р. Зилим эта толща хорошо представлена) характеризуется широким распространением терригенно-карбонатных отложений со специфическими линзовидно-слоистыми текстурами. Она содержит многочисленные каравеобразные конкрециевидные карбонатные образования, находящиеся в окружении тонкослоистых глинисто-карбонатных пород с пластически деформированными (вероятно, за счет неравномерного уплотнения) слоями. Вверх по разрезу конкрецииды постепенно сменяются пластами известняков. В разрезе “Кулмас” представлены обе подтолщи авдырдакской толщи (но при этом куртазинская толща полностью задернована), в разрезе “Куртаза-Савинтук” обнажена нижняя подтолща и куртазинская толща, а в разрезе “Аккостяк” – верхняя часть авдырдакской толщи и куртазинская толща.

Таким образом, разрезы нижней подсвиты внутри отдельных структурно-тектонических зон БМА (например, в пределах Алатауского антиклинория) хорошо сопоставляются друг с другом. Корреляция отложений между структурно-тектоническими зонами представляется более сложной задачей в силу особенностей геологического строения каждой из них, но как минимум границы выделенных толщ нижней подсвиты вполне прослеживаются между удаленными разрезами (рис. 2).

Литология пород нижнеукской подсвиты в стратотипе

Шубинская толща миньярской свиты, а также карбонатные породы укской свиты хорошо выражены в рельефе местности в виде крупных скальных выходов на склоне горы Медведь правого берега р. Юрюзань (рис. 3, 4), тогда как терригенным отложениям соответствуют полуздернованные склоны. Для повышения детальности в изучении разреза в пределах последних была создана серия расчисток.

Общая мощность нижнеукской подсвиты на западном крыле Сулеймановской антиклинали со-

ставляет 70 м, из них ямаштинская толща достигает порядка 20 м, аккостякская – 5, авдырдакская – около 45 м. Согласно нашим построениям, ямаштинская толща соответствует слою 7 в описании В.И. Козлова, Н.Д. Сергеевой и А.Н. Абрамовой (1995), аккостякская толща маркирована как слой 8, а авдырдакская толща включает в себя интервалы 9–11 из описания “Устькатавского” разреза (Козлов и др., 1995) (привязка к существующему краткому описанию этого разреза обеспечивается возможность использования полученных ранее данных).

Породы подсвиты неравномерно доломитизированы. В терригенных отложениях развит регенерационный кварцевый цемент, а также карбонатный цемент, который нередко корродирует обломочные зерна. Некоторые типы известняков (особенно оолитовые разновидности) окремнены. Кремнезем может играть роль цемента (межформенные радиально-лучистые агрегаты халцедона), а также непосредственно замещать кальцит внутри форменных элементов. В известняках встречаются стилолитовые швы и разноориентированные прожилки, иногда породы неравномерно перекристаллизованы. В наибольшей степени преобразованы тонко- и мелкозернистые песчаники, а также оолитовые и интракластово-оолитовые известняки, менее всего изменены слабо проницаемые глинистые алевролиты и микрозернистые известняки.

Ямаштинская толща. В левом борту небольшого лога, непосредственно стратиграфически выше известняков миньярской свиты, обнаруживаются глыбовые и щебневые обломки песчаников зеленовато-серых тонко- и мелкозернистых. Нижняя часть толщи (порядка 10 м по мощности) задернована. К западу от упомянутого лога обнаженность удовлетворительная: толща представлена песчаниками серыми с коричневатым оттенком и зеленовато-серыми от мелко- до тонкозернистых алевролитовых, алевролитами серыми и коричневатосерыми средне-крупнозернистыми и крупнозернистыми песчаниками, а также аргиллитами коричневатосерыми неравномерно алевролитистыми. Породы незакономерно чередуются друг с другом, при этом аргиллиты присутствуют в подчиненных количествах.

Для песчаников и алевролитов типична линзовидная (рис. 5а) или пологая косоволнистая бугорчатая слоистость, известная как текстуры типа “хаммоки” (hummocky and swaley cross-stratification), состоящая из бугров и впадин – с сочетающимися выпуклыми и вогнутыми пластовыми поверхностями соответственно (рис. 5б). Бугры чаще всего размером до нескольких десятков сантиметров, отдельные из них достигают 0.5 м, высотой не более 20 см. Иногда в подошвах песчаных слоев обнаруживаются мелкие (глубиной до нескольких сантиметров) слепки промоин (gutter casts) с вы-

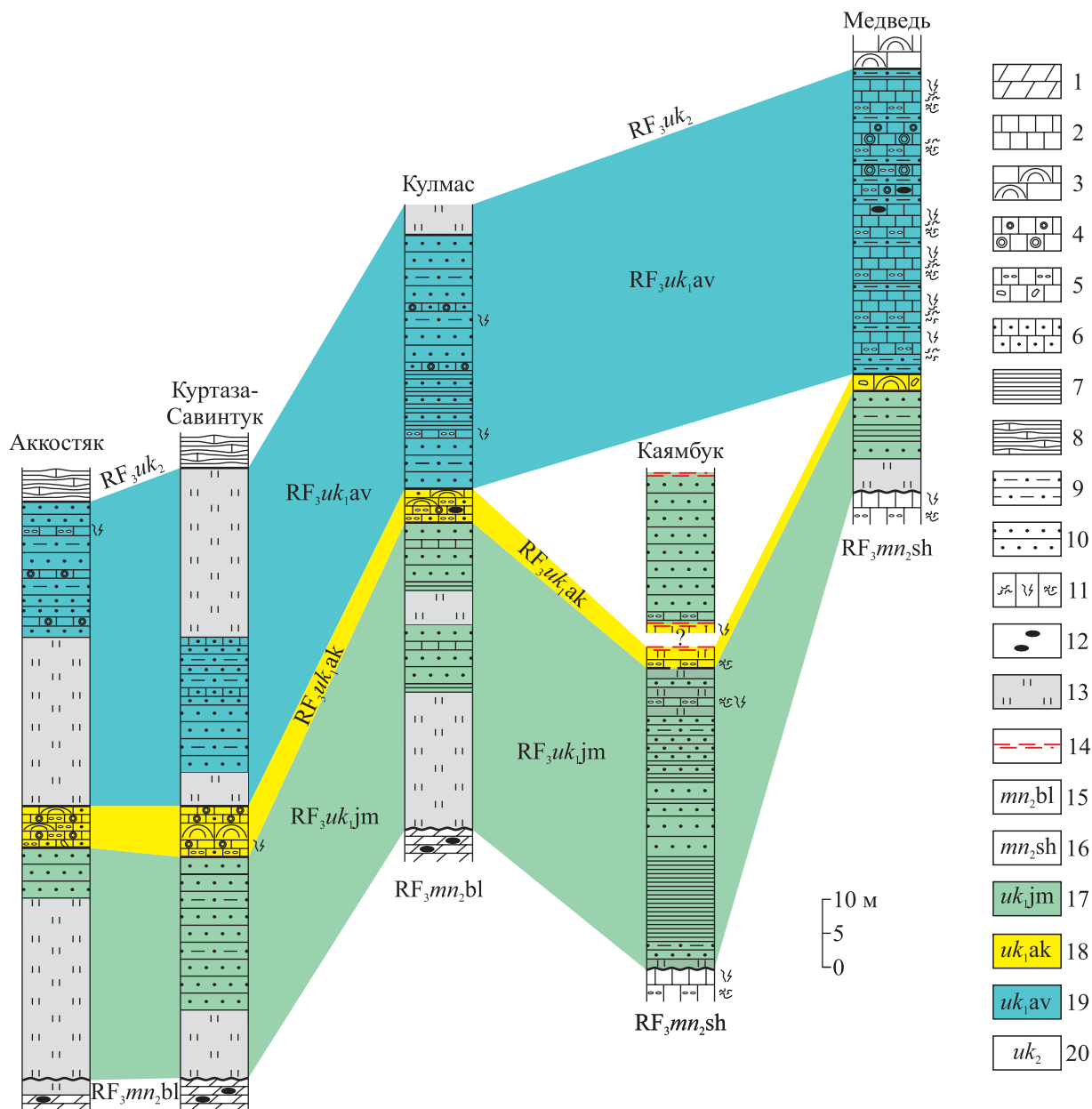


Рис. 2. Стратиграфическое расчленение нижнеукской подсвиты и корреляция разрезов.

1 – доломиты; 2–6 – известняки: 2 – микрозернистые, 3 – строматолитовые, 4 – оолитовые, 5 – интракластовые (мелкообломочные (вверху) и грубообломочные (внизу)), 6 – с терригенной примесью алевритовой и песчаной размерности; 7 – глинистые и алеврито-глинистые породы; 8 – карбонатно-глинистые породы куртазинской толщи верхнеукской подсвиты (с карбонатными “караваями”); 9 – крупнозернистые алевриты; 10 – песчаники; 11 – МТ-прожилки: по наслоению (слева), субвертикальные (в центре), переотложенные (справа); 12 – кремневые конкреции; 13 – задернованные интервалы; 14 – тектонические нарушения; 15–20 – толщи: верхнеминьярская подсвита: 15 – балаевская (камаелгинская), 16 – шубинская; нижнеукская подсвита: 17 – ямаштинская, 18 – аккостякская, 19 – авдырдакская; 20 – верхнеукская подсвита.

Fig. 2. Lower Uk Subformation lithostratigraphy and correlation of sections.

1 – dolomites; 2–6 – limestones: 2 – finegrained (micritic), 3 – stromatolitic, 4 – oolitic, 5 – intraclastic (with fine clasts (above) and coarse clasts (below)), 6 – with siliciclastic admixture of silt and sand; 7 – shales and silty-argillaceous rocks; 8 – argillaceous-carbonate rocks of the Kurtaza Member of the Upper Uk Subformation (with carbonate “loaves”); 9 – coarse-grained siltstones; 10 – sandstones; 11 – MT structures: cracks along the layering (left), subvertical cracks (center), redeposited – MT-clasts (right); 12 – cherts; 13 – closed intervals; 14 – tectonic faults; 15–20 – lithostratigraphic members: Upper Minyar Subformation: 15 – Balaevo (Kamaelga), 16 – Shubino; Lower Uk Subformation: 17 – Yamashta, 18 – Akkostyak, 19 – Avdyrdak; 20 – Upper Uk Subformation.

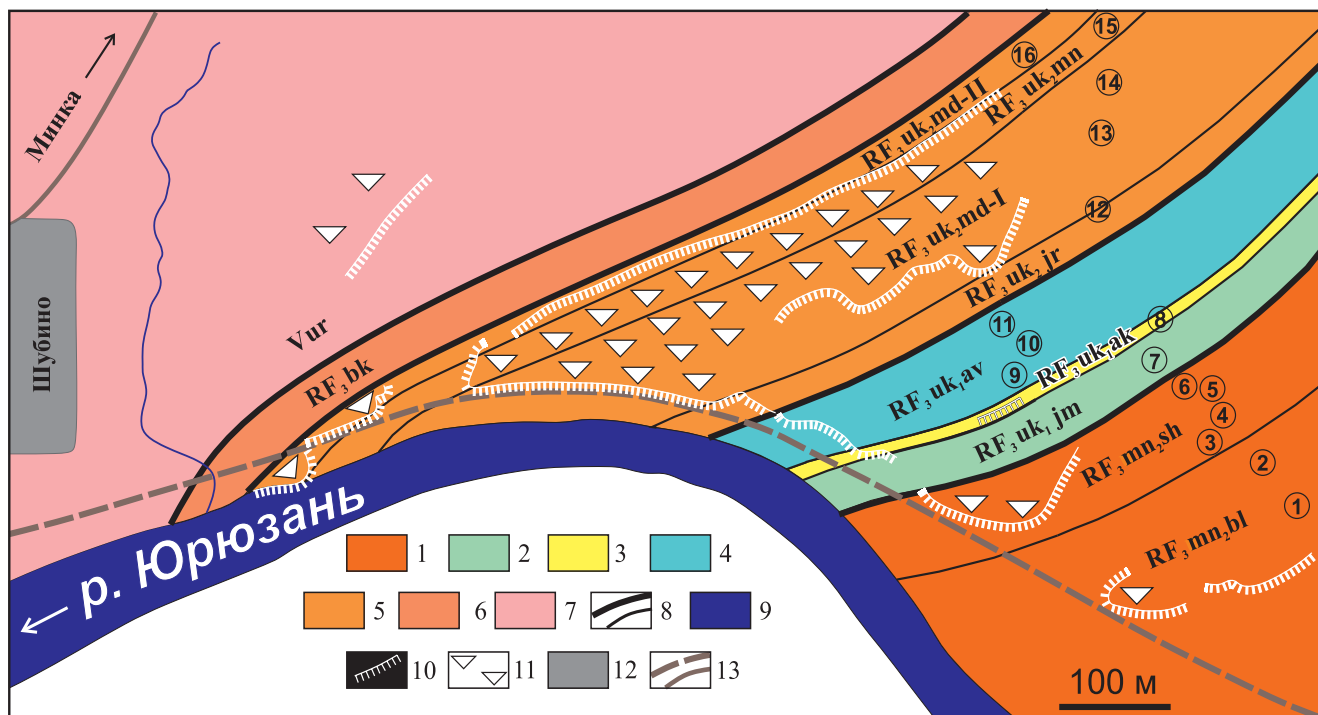


Рис. 3. План-схема стратотипического разреза “Медведь”.

1 – миньярская свита верхнего рифея, 2–4 – нижнеукская подсвита верхнего рифея: 2 – ямаштинская толща, 3 – аккостякская толща, 4 – авдырдакская толща; 5 – верхнеукская свита верхнего рифея; 6 – бакеевская свита верхнего рифея (Стратиграфический кодекс..., 2019); 7 – урюкская свита венда; 8 – стратиграфические границы: сверху – свит и подсвит, внизу – толщ; 9 – реки и ручьи; 10 – скальные выходы; 11 – крупные скальные массивы; 12 – населенные пункты; 13 – дороги: сверху – железные, внизу – автомобильные. RF₃ – верхний рифей, V – венд, mn₂ – верхнеминьярская подсвита, bl – балаевская толща, sh – шубинская толща, uk₁ – нижнеукская подсвита, uk₂ – верхнеукская подсвита, jm – ямаштинская толща, ak – аккостякская толща, av – авдырдакская толща, jr – юрюзанская толща, md – медвежья толща, mn – манайсинская толща, bk – бакеевская свита, ur – урюкская свита. Цифрами показаны номера слоев (Козлов и др., 1995).

Fig. 3. Scheme of the “Medved” stratotype section area of the Uk Formation.

1 – Mynyar Formation of the Upper Riphean; 2–4 – Lower Uk Subformation of the Upper Riphean: 2 – Yamashta Member, 3 – Akkostyak Member, 4 – Avdyrdak Member; 5 – Upper Uk Subformation of the Upper Riphean; 6 – Bakeevo Formation of the Upper Riphean (Russia stratigraphy codex, 2019); 7 – Uryuk Formation of the Vendian; 8 – stratigraphic boundaries: above – formations and subformations, below – members; 9 – rivers and streams; 10 – rock outcrops; 11 – cliff; 12 – town; 13 – roads: above – railways, below – asphalt roads. RF₃ – Upper Riphean, V – Vendian, mn₂ – Upper Mynyar Subformation, bl – Balaevo Member, sh – Shubino Member, uk₁ – Lower Uk Subformation, uk₂ – Upper Uk Subformation, jm – Yamashta Member, ak – Akkostyak Member, av – Avdyrdak Member, jr – Yuryuzan Member, md – Medved Member, mn – Manaisu Member, bk – Bakeevo Formation, ur – Uryuk Formation. Layer numbers (Kozlov et al., 1995) in circles.

раженной внутренней слоистостью, сложенные, как правило, более грубозернистым материалом (например, как в обр. 22.10-6-5 – рис. 5в, г). Слоистость подчеркивается распределением чешуек слюд, глауконита, цемента и прочих поздних минералов (в том числе железистых карбонатов), а также изменением размерности зерен. На некоторых уровнях в алевритах отмечаются (обр. 22.10-6-3 и 22.10-6-6) многочисленные обломки (литокласты) песчаных пород, преимущественно тонкозернистых алевритистых, с регенерационным кварцевым, пиритовым или глинистым цементом, с глауконитом и аксессуарными минералами, а также обрывки глинистых слоев (рис. 5д, е).

По петрографическому составу песчаники соответствуют полевошпато-кварцевым разностям⁴ (рис. 6): зерен кварца 77–88%, полевых шпатов

⁴ Строго говоря, подсчет состава обломочной компоненты в тонкозернистых песчаниках проводить не совсем корректно: для этой цели рекомендуется (Шванов, 1987) использовать песчаники с модальным диаметром зерен 0.20–0.35 мм. Тем не менее данная информация имеет значение для дальнейшего определения направлений перемещения обломочного материала и реконструкции палеогеографии бассейна в укское время, особенно в свете того что рядом исследователей эти песчаники считались полимиктовыми. При подсчетах количество зерен глауконита не учитывалось.

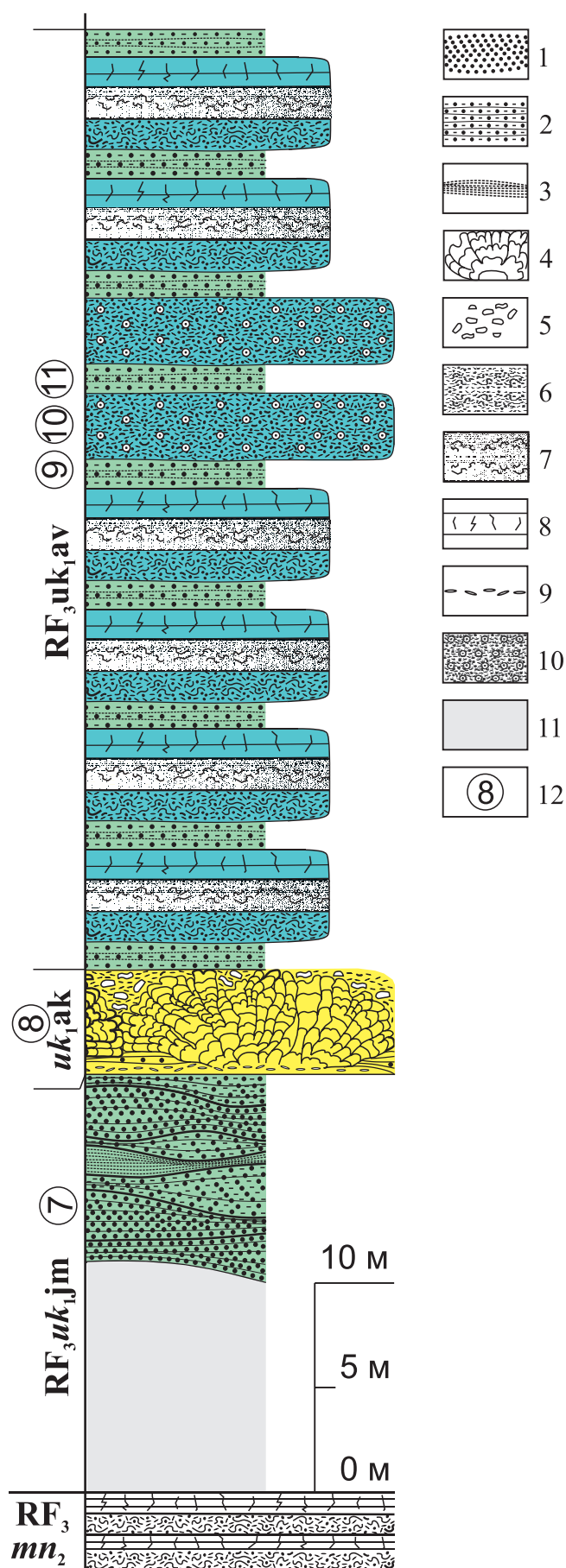


Рис. 4. Литолого-стратиграфическая колонка нижнеукской подсвиты в стратотипическом разрезе “Медведь”.

Циклиты, строматолиты и структурные компоненты показаны вне масштаба. Легенда к колонке: 1–3 – терригенные породы: 1 – песчаники, 2 – алевролиты (в том числе глинистые и карбонатные), 3 – аргиллиты; 4–10 – известняки: 4 – строматолитовые, 5 – с обломками галечной размерности, 6 – интракластовые с обломками микропаритового заполнения МТ-трещин (МТ-кластами), 7 – зернистые с МТ-прожилками по наслоению, 8 – микрозернистые с субвертикальными МТ-прожилками, 9 – уровень с плоскими литокластами известняков, 10 – интракластово-оолитовые; 11 – задернованный интервал; 12 – слои (Козлов и др., 1995). Индексы и цветовые обозначения – см. условные обозначения к рис. 2, 3.

Fig. 4. Lithological-stratigraphic column of the Lower Uk Subformation stratotypic section.

The structure of the Lower Uk Subformation in the “Medved” section (cyclites, stromatolites, and structural components are not to scale). Legend to column: 1–3 – siliciclastic rocks: 1 – sandstones, 2 – siltstones (including clay- and carbonate-rich), 3 – shales; 4–10 – limestones: 4 – stromatolitic, 5 – with pebble clasts, 6 – intraclastic with MT-clasts, 7 – granular with MT cracks along the layering, 8 – micritic with subvertical MT-cracks, 9 – level with limestone lithoclasts, 10 – intraclast-oolitic; 11 – closed interval; 12 – layers (Kozlov et al., 1995). Designations: see the legend to Fig. 2 and 3.

(ПШ) – 10–20%, обломков пород (ОП) – не более 4% от суммы главных аллотигенных компонентов (рис. 7а). В песчаниках и алевролитах зерна кварца светлые, изометричные или слабо вытянутые, с одновременным или волнистым погасанием, часто регенерированные. ПШ светлые и светло-серые, изометричные или вытянутые, представлены микроклинами и ортоклазами, реже плагиоклазами; иногда в слабой степени преобразованы вторичными процессами (пелитизированы), отдельные зерна регенерированы. ОП представлены кремнями и микрокварцитами. Чешуйки слюд ориентированы по наслоению, иногда деформированы, представлены преобразованным биотитом, реже мусковитом; биотит обычно хлоритизирован, мусковит изменен слабо (рис. 7б); составляют до 1% от площади шлифа (в алевролитах до 4% от площади). Из аксессуарных минералов присутствуют циркон и турмалин, их обломки обычно меньше, нежели окружающие зерна. Сортировка зерен в пределах отдельных слойков от средней до хорошей, зерна полуугловатые и полуокатанные. Встречаются единичные обломки, ориентированные по наслоению, отличающиеся от подавляющего большинства зерен гораздо более крупной размерностью (рис. 7в). Контакты зерен, как правило, от точечных до конформных и регенерационных (редко контакты отсутствуют, еще реже инкорпорационные) – в зави-

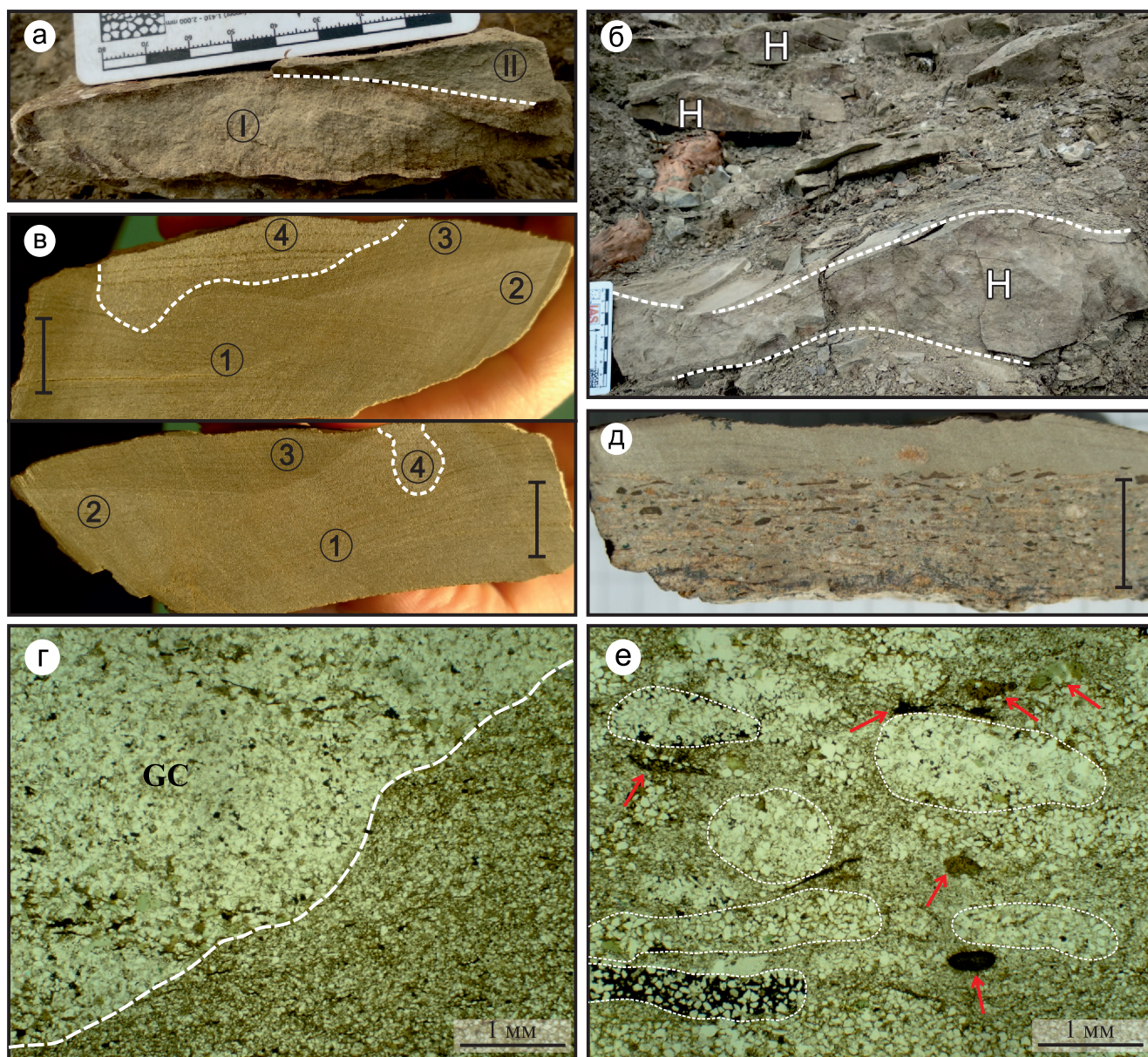


Рис. 5. Литологические характеристики ямаштинской толщи.

а – текстуры, напоминающие линзовидную слоистость (I – песчаник, II – алевролит, граница между ними выделена штриховой линией); б – косоволнистые бугорчатые текстуры; в – слепки промоин (контуры подчеркнуты штриховой линией), выполненные более грубозернистым осадком, нежели вмещающие отложения (на фото две стороны одного штуфа после изготовления шлифов, арабскими цифрами обозначена последовательность формирования слоев, длина линейки 1 см); г – характер границы эрозийного вреза, заполненного песчаным материалом (слой 4 рис. 5в), в глинистом алевролите (слой 3), николи параллельны; д – отложения, состоящие из многочисленных литокластов песчаных и глинистых пород гравийной размерности (длина линейки 1 см); е – литокласты песчаных (отмечены штриховой линией) и глинистых пород (показаны красными стрелками) в алевролите с рис. 5д, николи параллельны. в, г – обр. 22.10-6-5; д, е – обр. 22.10-6-6. H (hummocky) – бугры; GC (gutter casts) – слепки промоин.

Fig. 5. Lithology of the Yamashta Member.

а – lens-like bedding (I – sandstone, II – siltstone, the boundary between them is marked with a dashed line); б – hummocky and swaley cross-stratification; в – gutter casts (contours are underlined by a dashed line), filled by a coarser-grained sediment than the enclosing deposits (photo shows two sides of one sample after the preparation of thin-sections, the sequence of layers accumulation is indicated by Arabic numerals, the length of the ruler is 1 cm); г – boundary of an gutter cast filled by sand (layer 4 in Fig. 5в) in clay-rich siltstone (layer 3), parallel nicols; д – deposits consisting of numerous lithoclasts of sandstones and shales of gravel size (line length 1 cm); е – lithoclasts of sandstones (marked by a dashed line) and shales (shown by red arrows) in siltstone from Fig. 5д, parallel nicols. в, г – sample 22.10-6-5; д, е – sample 22.10-6-6. H – hummocky; GC – gutter casts.

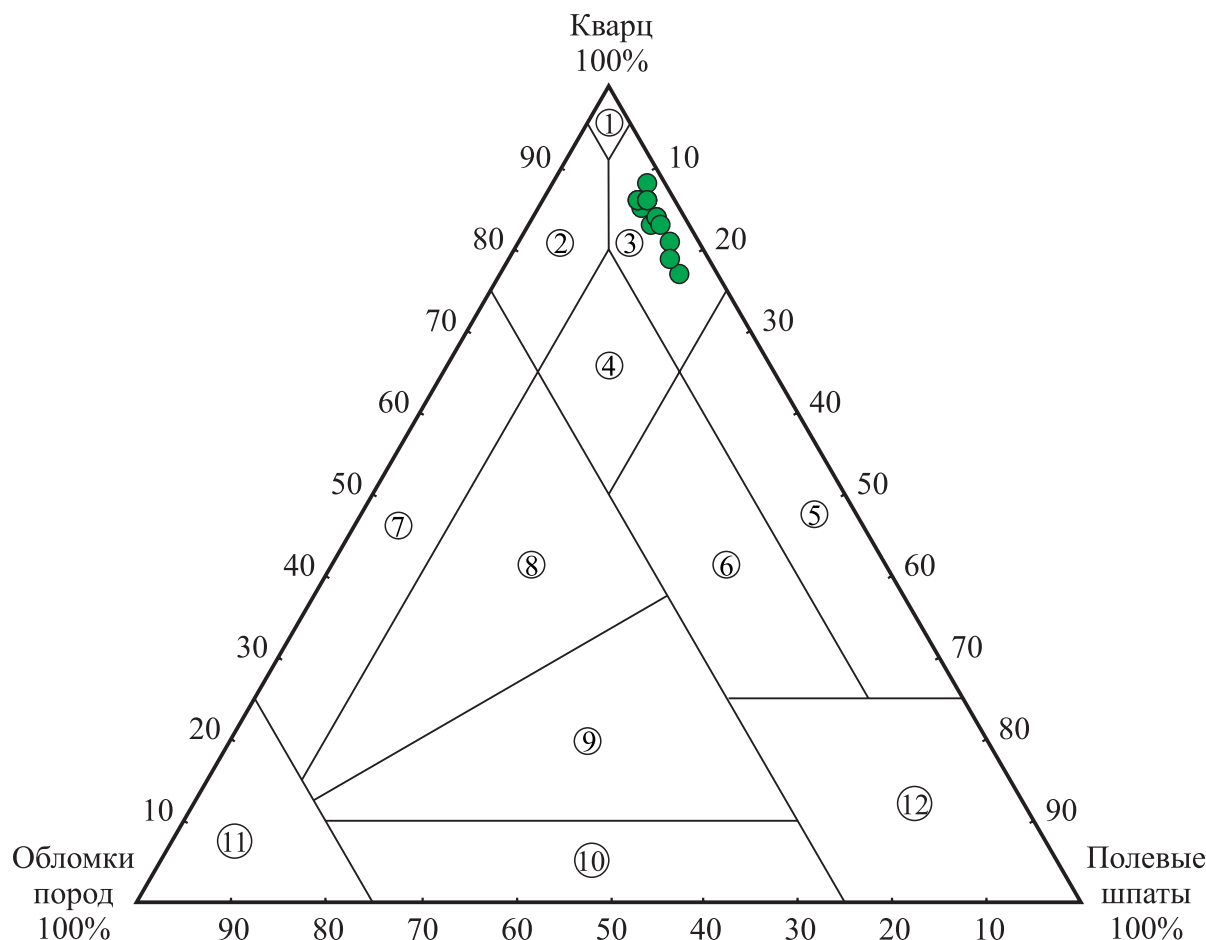


Рис. 6. Распределение фигуративных точек тонкозернистых песчаников (в том числе алевритистых и алевритовых) ямаштинской толщи в стратотипе укской свиты на диаграмме петрографического состава песчаников В.Д. Шутова (1967).

Поля: 1 – кварцевые песчаники; 2 – кремнекlastито-кварцевые песчаники; 3 – полевошпато-кварцевые песчаники; 4 – мезомиктовые кварцевые песчаники; 5 – собственно аркозы; 6 – граувакковые аркозы; 7–11 – граувакки: 7 – кварцевые, 8 – полевошпато-кварцевые, 9 – кварцево-полевошпатовые, 10 – полевошпатовые, 11 – собственно граувакки; 12 – полевошпатовые песчаники.

Fig. 6. Yamashta Member fine-grained sandstones (sometimes silty) of the Uk Formation stratotype on the V.D. Shutov (1967) diagram of the sandstones composition.

Fields: 1 – quartz sandstones; 2 – siliciclastic-quartz sandstones; 3 – feldspar-quartz sandstones; 4 – mesomictic quartz sandstones; 5 – true arkose; 6 – greywacke arkose; 7–11 – greywacke: 7 – quartz, 8 – feldspar-quartz, 9 – quartz-feldspar, 10 – feldspar, 11 – true greywacke; 12 – feldspar sandstones.

симости от распределения глинистого вещества и степени сгруженности обломков; преобладают конформные межзерновые контакты. Общая доля обломочной компоненты варьирует от ~60 до 85%.

Для пород характерны глобулы глауконита (как аутигенного, так и переотложенного), в основном до 3% от площади шлифа, реже до 5% (рис. 7г). Цемент представлен глинистыми минералами (они относятся к цементу лишь отчасти, поскольку также слагают матрикс, однако раздельная диагностика этих компонентов затруднена), регенерационным кварцем и карбонатами. В значительно мень-

ших количествах присутствует пирит (доли процента). Глинистый хлорит-иллитовый цемент как пленочный, так и поровый, редко до базального; суммарное содержание глинистого вещества (матрикса и цемента) варьирует от 5 до 30% от площади шлифа (чаще всего 10–15%). Нередко с ним ассоциируют гидроксиды железа. В породах встречаются также гидроксиды марганца. В мелко- и тонкозернистых разностях песчаников с низким количеством глинистого вещества широко распространен регенерационный кварцевый цемент. На некоторых уровнях его содержание достигает 15% от

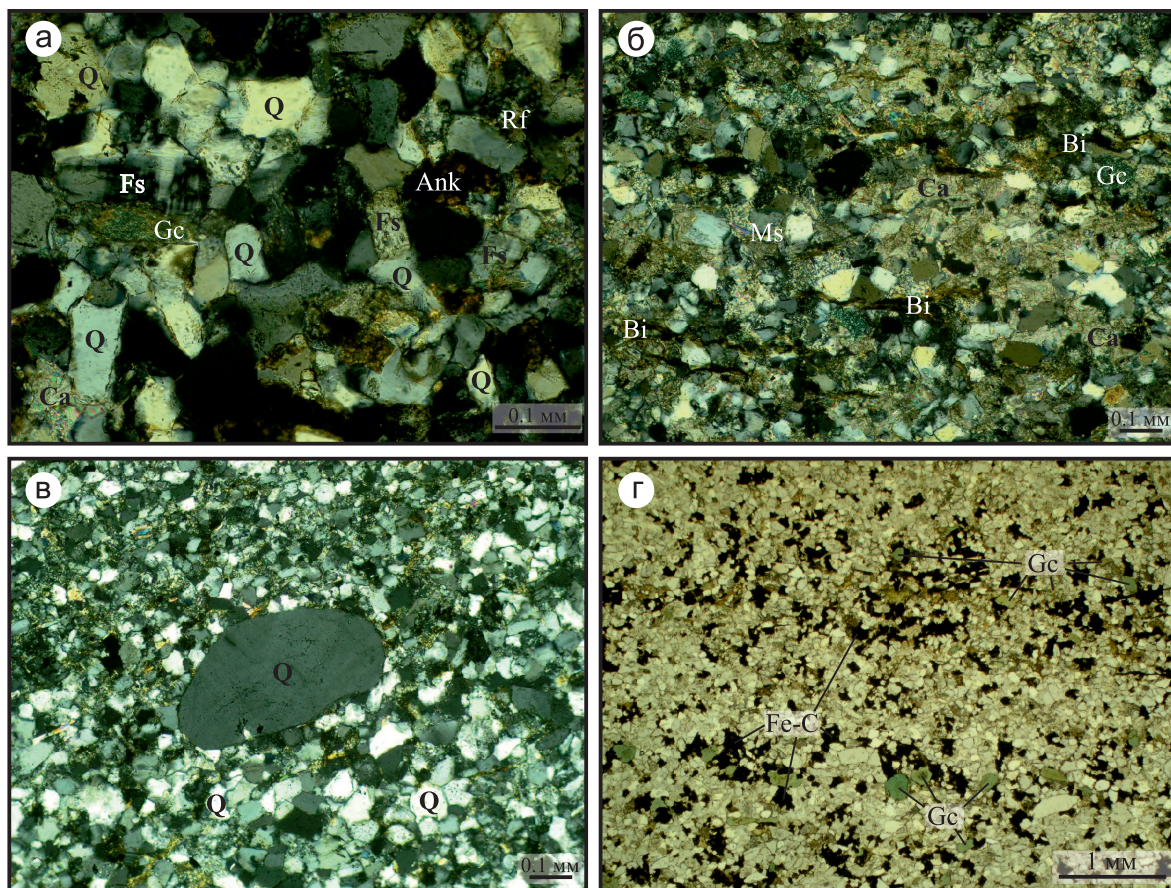


Рис. 7. Петрография пород ямаштинской толщи.

а–в – николи скрещены; г, д – николи параллельны. а – основные порообразующие компоненты в тонкозернистом песчанике (обр. 22.10-6-10); б – чешуйки слюд по наслоению в алевролите с карбонатным, глинистым и регенерационным кварцевым цементом (обр. 22.10-6-9); в – крупное зерно кварца в песчаном алевролите (обр. 22.10-6-3); г – глобулы глауконита и проявления анкерита, подчеркивающие текстуру песчаника (обр. 22.10-6-10). Здесь и на рис. 8–11 минеральные компоненты: Q – кварц, Fs – полевой шпат, Rf – обломки пород, Bi – биотит, Ms – мусковит, Gc – глауконит, Ca – кальцит, Fe-C – железистый карбонат, Ch – халцедон; структурные компоненты: ag – агрегатные зерна, oo – оолиты, clm – кальцимикробы, crc – “кристаллокласты”, iss – изопакхический кальцитовый цемент, m – микрит, МТс – обломки МТ-прожилков, МТs – МТ-текстуры in situ, pel – пелоиды, str – строматокласты.

Fig. 7. Yamashta Member petrography.

а–в – crossed nicols; г, д – parallel nicols. а – main rock-forming components in fine-grained sandstone (sample 22.10-6-10); б – mica flakes along the layering in siltstone with carbonate, clay and quartz overgrowths cement (sample 22.10-6-9); в – coarse quartz grain in sandy siltstone (sample 22.10-6-3); г – glauconite globules and ankerite mineralization emphasizing the sandstone texture (sample 22.10-6-10). Here and in Fig. 8–11 mineral components: Q – quartz, Fs – feldspar, Rf – rock fragments, Bi – biotite, Ms – muscovite, Gc – glauconite, Ca – calcite, Ank – ankerite, Ch – chalcedony; structure components: ag – aggregate grains, oo – ooids, clm – calcimicrobes, crc – sparry clasts, iss – isopachous calcite cement, m – micrite, МТс – МТ-clast, МТs – МТ-structures, pel – peloids, str – stromatoclasts.

площади шлифа, но чаще всего составляет от долей процента до 7% (оно обратно коррелирует с количеством глинистой компоненты); регенерационные каймы при этом часто хорошо выражены. Карбонатный (в основном кальцитовый) цемент поровый и коррозионный, иногда до базального, распределен в толще неравномерно: его доля варьирует от единичных кристаллов до 20% от площади шлифа (см. рис. 76). Снизу вверх по толще в песчаниках и алевролитах возрастает роль этого цемента.

Аккостякская толща. В стратотипе толща характеризуется преимущественно карбонатным составом, фациальной неоднородностью, неравномерным распределением терригенной примеси. В ее основании залегают плоскогалечные конгломераты (с гальками известняков длиной до 5 см) – в виде маломощного слоя изменчивой толщины (до 7 см), на отдельных участках расщепляющегося на несколько прослоев. Выше него толща представлена строматолитовыми известняками (рис. 8а),

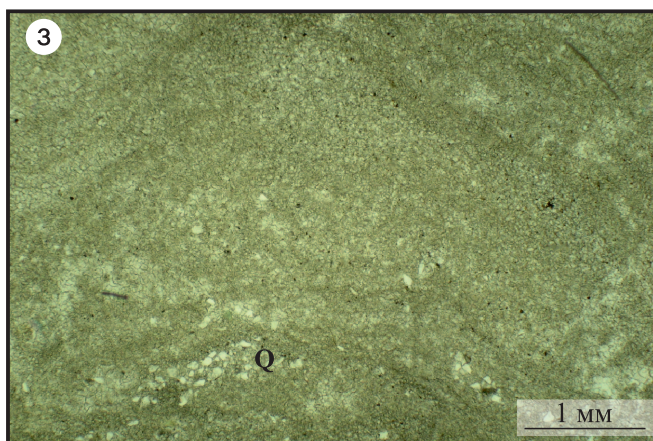
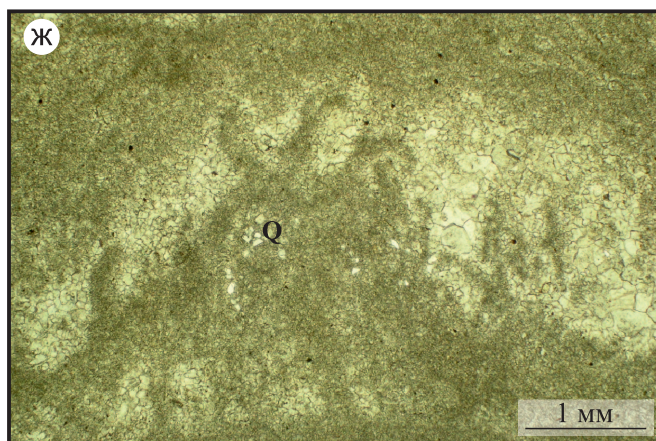
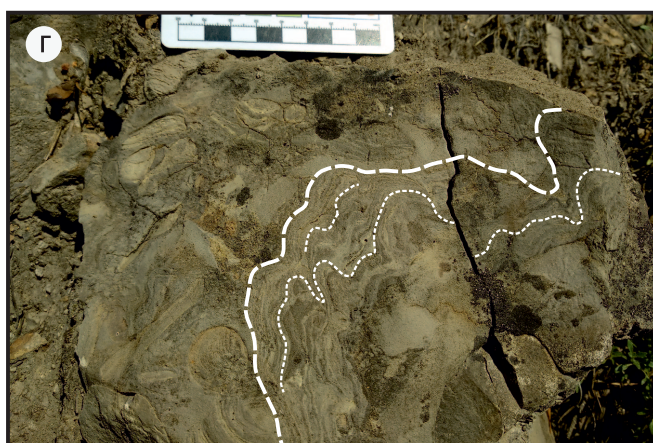
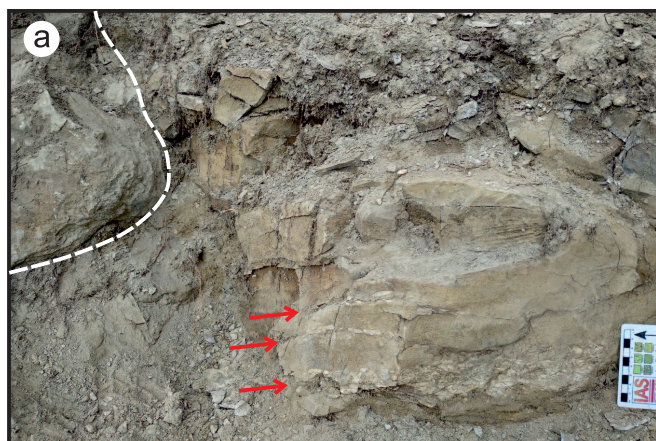


Рис. 8. Литологические характеристики строматолитов аккостяжской толщи.

а – микрозернистые известняки с косоволнистой слоистостью с расщепленным прослоем (показан красными стрелками) гравийно-галечного плоскообломочного конгломерата, сменяющиеся по латерали строматолитовой постройкой (ее граница показана штриховой линией); б – фрагмент строматолитовой постройки, состоящей из нескольких неотчетливо выраженных биогермов, представленных тонкостолбчатыми ветвящимися строматолитами (красными прямоугольниками отмечены участки, на которых несколько столбиков объединяются в один); в – разноориентированные ветвящиеся столбики, напоминающие строматолиты “рода” *Linella*; г – верхняя часть биогерма (граница которого подчеркнута жирной штриховой линией) с плохо оформленными столбиками; д – фрагмент биогерма, в котором нарастание микробных матов происходило в латеральном направлении; е – крупный конусовидный субвертикально ориентированный строматолитовый столбик; ж, з – микроструктуры строматолитов (николи параллельны): ж – вытянутые крючковидные микритовые (кальцимикробные?) структуры в строматолитовых слойках (обр. 22.10-7-1), з – неоднородные слойки с терригенной примесью внутри строматолитового столбика (обр. 22.10-6-19).

Fig. 8. Lithology of the Akkostyak Member stromatolites.

a – micritic limestones with hummocky cross stratification with a split interlayer (shown by red arrows) of a gravel & pebble flat clastic conglomerate laterally replaced by a stromatolite bioherm (its boundary is shown by a dashed line); б – fragment of a stromatolite build-up consisting of several distinct bioherms, represented by thin-columnar branching stromatolites (red rectangles mark areas where several columns are combined into one); в – *Linella*-like stromatolites with differently oriented branching columns; г – the upper part of the bioherm (its border is countered by a thick dashed line) with poorly formed columns; д – a bioherm fragment in which the microbial mats growth occurred in the lateral direction; е – large cone-shaped subvertically oriented stromatolite column; ж, з – stromatolite microstructures (parallel nicols): ж – elongated hook-shaped micritic (calcimicrobial?) structures in stromatolite lamina (sample 22.10-7-1), з – heterogeneous laminae with siliciclastic admixture inside the stromatolite column (sample 22.10-6-19).

а также грубообломочными массивными и микрозернистыми слоистыми разностями.

Строматолитовые постройки здесь обособленные, не очень крупные (до 2 м), разнообразные, но отличающиеся от строматолитовых биогермов верхней подсвиты. Они представлены как тонко- (рис. 8б), так и толстостолбчатыми (рис. 8в) ветвящимися строматолитами (тунгуссидами). Столбики разноориентированные, но не всегда хорошо оформлены, иногда деформированы (рис. 8г). Нередко в периферийных частях биогермов верхушки нескольких столбиков облекаются единой серией слойков (т. е. столбики объединяются), что, вероятно, является следствием процесса, обратного ветвлению (см. рис. 8б). Кроме того, встречаются биогермы без отчетливо выраженных столбиков, но со строматолитовыми слойками, ориентированными вкрест простирания толщи (очевидно, что накопление слойков микробных матов происходило в направлении, перпендикулярном действию силы тяжести в то время) (рис. 8д). Часто обнаруживаются строматолиты (например, рис. 8е), форма которых не соответствует описаниям строматолитов *Linella* и *Patomella*, типичных для укской свиты (Крылов, 1967, 1975; Раабен, Комар, 1982). Формальные морфологические “роды” строматолитов этого стратиграфического уровня ранее в данном разрезе определены не были. По нашим наблюдениям, лишь некоторые элементы в описанных биогермах имеют внешнее сходство с упомянутыми группами строматолитов. Отличаются они и по микроструктуре. Так, в некоторых слойках строматолитовых баундстоунов аккостяжской толщи обнаруживаются своеобразные тонкие крючковидные или шиповидные образования, ориентированные вдоль направления роста стол-

бика (рис. 8ж) и непохожие на структуры в строматолитах верхней подсвиты (Дуб, Гражданкин, 2021, рис. 5а, б). Слойки внутри столбиков часто неоднородные, иногда содержат примесь терригенного материала (рис. 8з).

На отдельных участках толщи строматолиты сменяются по латерали микрозернистыми известняками (слабо перекристаллизованными кальцимадстоунами) с косоволнистой слоистостью (рис. 9а). Бугорчатые косоволнистослоистые текстуры в них почти не отличаются от таковых у терригенных пород нижележащей толщи, не встречаются лишь слепки промоин. Кроме того, в этих известняках присутствует рассеянная терригенная песчано-алевритовая примесь содержанием от первых процентов до 30% (рис. 9б), при этом в отложениях вблизи основания толщи ее меньше, нежели на более высоких уровнях. Микрозернистые известняки иногда содержат МТ-прожилки.

Строматолитовые биогермы перекрываются грубообломочными известняками (рис. 9в, см. рис. 8г) – флаут- и пакстоунами (рис. 9г). Обломки в них преимущественно гравийно-галечной размерности (до 4 см), хорошо окатанные, разноориентированные, чаще всего представлены строматолитами, в которых иногда присутствуют сгустковидные образования, напоминающие остатки кальцимикробов (рис. 9д). Реже обнаруживаются фрагменты выполненных микроспаритом МТ-прожилков (МТ-класты). В межзерновом пространстве основную роль играет слабоперекристаллизованный матрикс, спаритовый цемент встречается sporadически. Кроме того, в ряде случаев роль порового или даже базального цемента играет микроспаритовый МТ-карбонат (рис. 9е). Карбонатные конгломераты нередко перекрываются микрозернистыми тонкос-

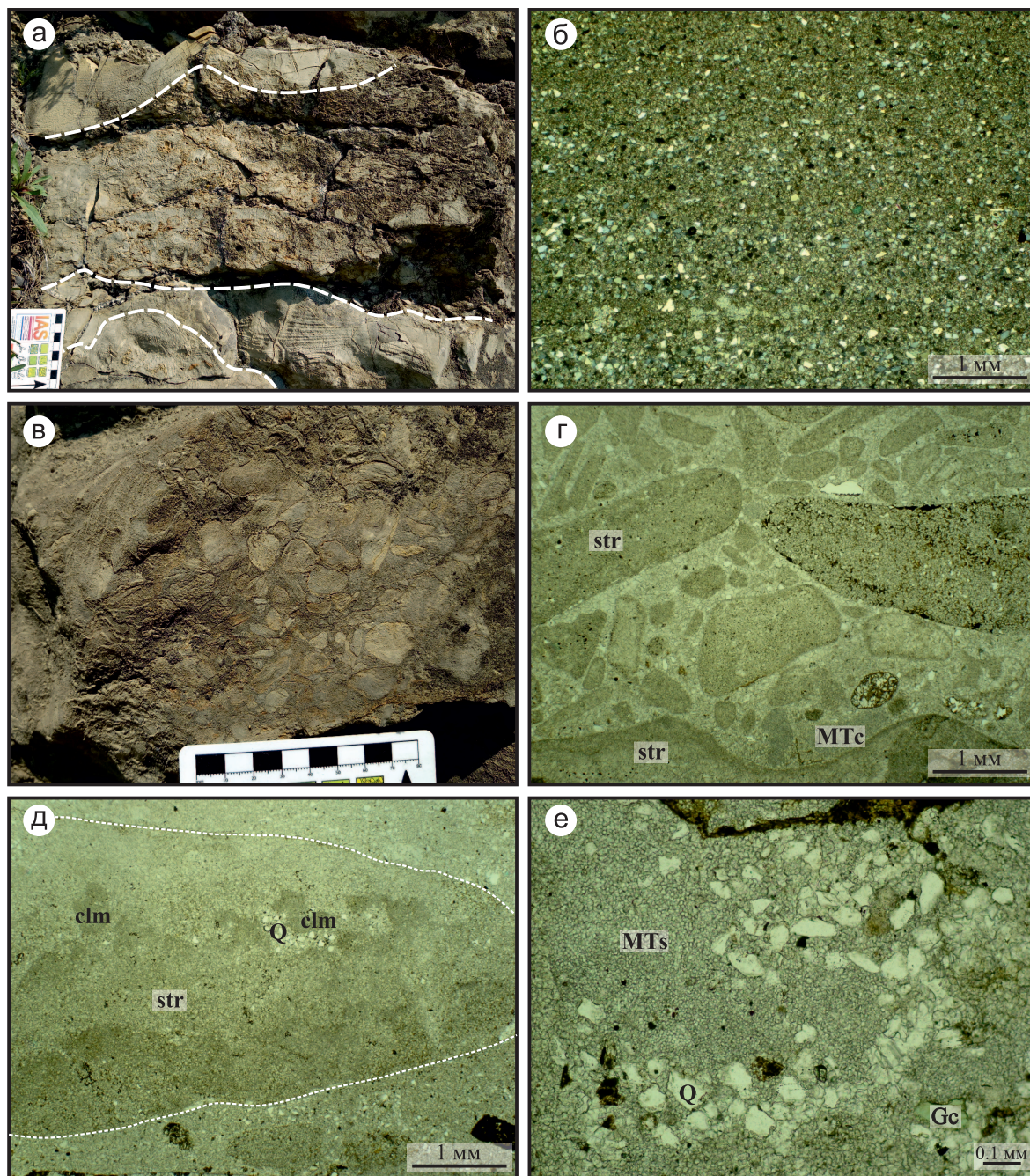


Рис. 9. Литологические характеристики микрозернистых и грубообломочных карбонатных отложений аккостякской толщи.

а – прослои микрозернистых известняков (иногда с терригенной примесью) с косоволнистыми текстурами (границы прослоев показаны жирными штриховыми линиями), между прослоями – грубообломочные отложения, внизу – край строматолитового биогерма; б – микрозернистый алевроитовый известняк с глинистой примесью (обр. 22.10-7-2, николи скрещены); в – известняковые гравийно-галечные конгломераты, сложенные в основном строматокластами, перекрывающие строматолитовые постройки; г – структура обломочных разностей известняков (обр. 22.10-7-3, николи параллельны); д – один из строматокластов со сгустками микрита, напоминающими остатки кальцимикробов (обр. 22.10-7-4, николи параллельны); е – известняк грубообломочный с терригенной примесью и микроспаритовым цементом (МТ-карбонатом) (обр. 22.10-7-5, николи параллельны).

Fig. 9. Lithology of the Akkostyak Member fine- and coarse-grained limestones.

а – micritic limestone layers (sometimes with siliciclastic admixture) with hummocky cross stratification (layer boundaries are shown by dashed lines), with the coarse clastic deposits (conglomerates) between the layers and the stromatolite bioherm frag-

ment at the lower edge of the foto; б – micritic silty limestone with clay admixture (sample 22.10-7-2, crossed nicols); в – carbonate gravel & pebble conglomerates, composed mainly of stromatoclasts, overlying stromatolite bioherm; г – clastic limestones structure (sample 22.10-7-3, parallel nicols); д – the stromatoclast with calcimicrobes-like clots of micrite (sample 22.10-7-4, parallel nicols); е – coarse-grained limestone with siliciclastic admixture and calcite microspar (MT-structure in situ) (sample 22.10-7-5, parallel nicols).

лоистыми известняками (см. рис. 9а), иногда содержащими субвертикальные МТ-прожилки.

Породы аккостякской толщи прослеживаются к северо-востоку – на соседнюю возвышенность, в пределах которой обнажается шубинская толща (при полностью задернованной ямаштинской); на вершине известняки со строматолитами и крупными строматокластами образуют гряду высотой 2–3 м (см. рис. 3).

Авдырдаская толща. Нижняя граница толщи проводится по подошве плитчатых алевролитов. Для нее характерно чередование пачек терригенных и карбонатных пород (рис. 10а) мощностью от нескольких десятков сантиметров до 2–3 м. В целом мощность глинисто-алевритовых пачек, как правило, меньше, чем у пачек известняков, при этом она сокращается снизу вверх по разрезу. Неполная обнаженность этой толщи в стратотипе не позволяет определить точное количество терригенных пачек, однако более или менее достоверно можно говорить о 5–6 интервалах.

Терригенные отложения представлены преимущественно серыми и светло-серыми с зеленоватым оттенком крупно- и среднезернистыми алевролитами (иногда песчанистыми до песчаных) с карбонатным цементом. Тонкозернистые песчаники встречаются значительно реже. В некоторых пачках в ассоциации с алевролитами находятся аргиллиты (рис. 10б). Породы в основном плитчатые, на поверхностях наслоения присутствует глауконит и чешуйки слюд. Для отложений типична косоволнистая слоистость (рис. 10в) с небольшими (высотой до 10 см) буграми, встречаются также линзовидные текстуры. На отдельных уровнях отмечаются эрозионные врезы (рис. 10г). В глинистых алевролитах с высокой долей карбонатной составляющей иногда можно обнаружить МТ-прожилки.

По составу алевролиты полевошпато-кварцевые и кварцевые, с карбонатным и глинистым цементом (рис. 10д). Обломки кварца светлые, изометричные или слабовытянутые, с одновременным или волнистым погасанием, иногда слабо регенерированные. ПШ светлые и светло-серые, изометричные или вытянутые, представлены микроклинами, ортоклазами и плагиоклазами, иногда слабо преобразованы. ОП очень редкие, представлены кремнями и микрокварцитами. Чешуйки слюд ориентированы по наслоению, представлены биотитом, реже мусковитом; биотит сильно гидратирован и хлоритизирован, мусковит изменен в меньшей степени; чешуйки распределены неравномерно, составляют в среднем до 3% от площади шлифа (рис. 10е). Сортиров-

ка зерен, как правило, ближе к хорошей, зерна полуугловатые и полуокатанные. Контакты зерен в основном точечные и конформные. Общая доля обломочной компоненты варьирует от 50 до 80%. Отмечаются глобулы глауконита по наслоению, составляющие первые проценты от площади шлифа⁵. Глинистый цемент пленочный и поровый, преимущественно иллитовый, занимает 5–15% от площади шлифа. Карбонатный (кальцитовый) цемент обычно базальный (редко до порового), его доля в большинстве шлифов более 10%. Как и в остальных породах нижней подсвиты, в алевролитах распространен рассеянный железистый карбонат (см. рис. 10д).

Известняки авдырдаской толщи отличаются фаціальным разнообразием. Часто они образуют циклически построенные интервалы, закономерно чередующиеся с терригенными пачками. Циклиты состоят из двух или трех элементов, представляющих собой слои с различными текстурно-структурными особенностями; в карбонатной пачке может быть несколько циклитов. Как правило, с ними ассоциируют обильные МТ-текстуры (рис. 11а). В нижних частях циклитов с размывом залегают относительно крупнообломочные известняки. Выше они сменяются яснозернистыми (в основном пелоидно-интракластовыми пакстоунами до грейнстоунов) разностями. ФЭ в них достаточно разнообразны и представлены пелоидами пузырьвидной формы, интракластами пелоидных известняков, “кристаллокластами” (обломками спаритового цемента), а также МТ-кластами (рис. 11б); встречается инкрустационный изопохический цемент. Верхние элементы циклитов сложены микрозернистыми известняками с многочисленными МТ-текстурами, в виде субвертикально ориентированных трещин (рис. 11в) или пятен замысловатой формы. По структуре известняки верхних слоев являются перекристаллизованными кальцимадстоунами (рис. 11г). Последние перекрываются следующим циклитом или переходят в алевролиты с карбонатным цементом. В некоторых циклитах тот или иной слой может отсутствовать. Верхние элементы чаще всего уступают по мощности нижним и средним (порядка 5–20 см у верхних против нескольких десятков сантиметров и более суммарно у нижних и средних).

В верхней части толщи распространены оолитовые и интракластово-оолитовые известняки (рис. 11д). Подошва таких пластов обычно неров-

⁵ Доля этого минерала здесь заметно ниже, чем в этой же толще в разрезе на р. Басу.

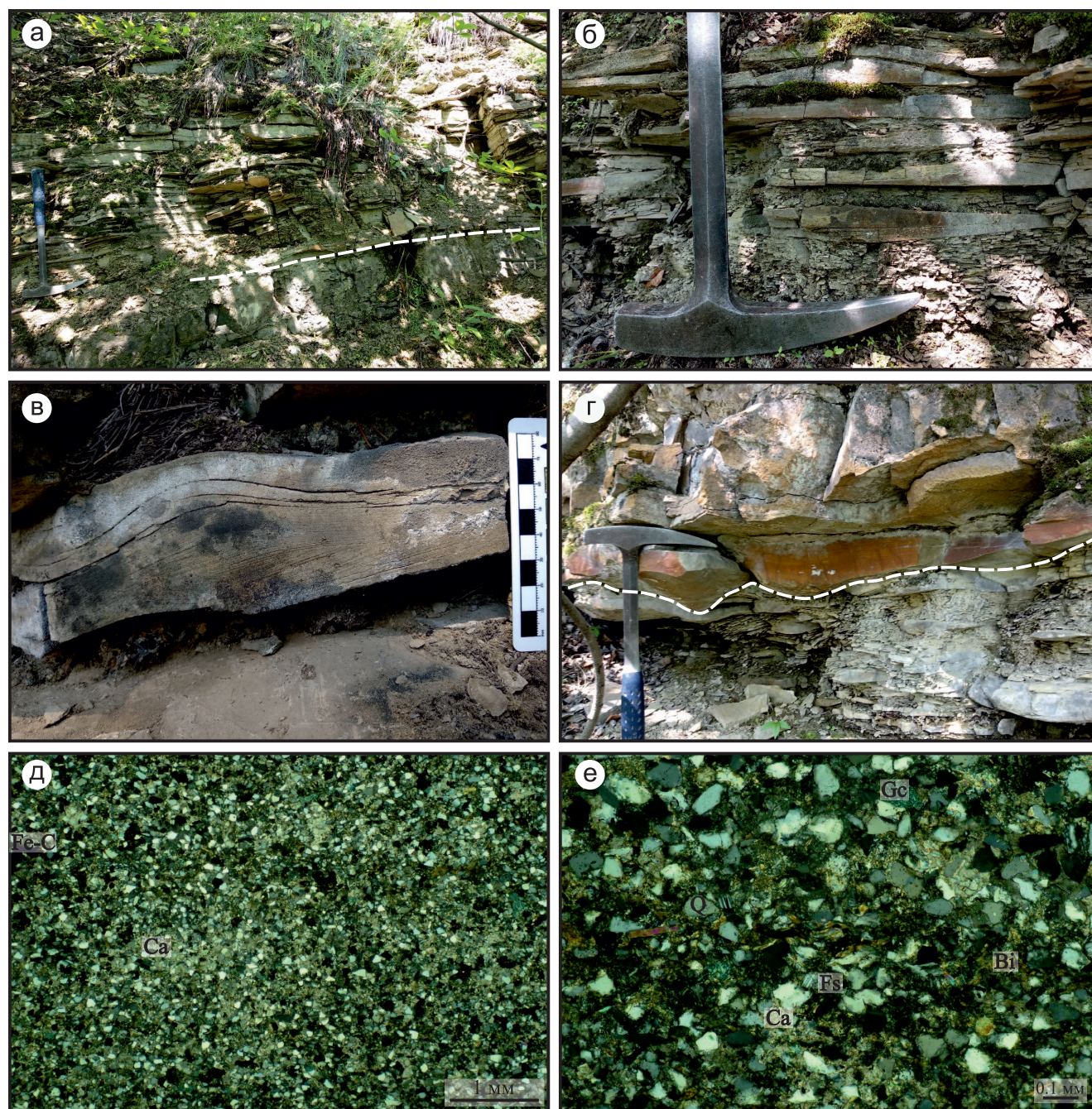


Рис. 10. Литологические характеристики терригенных пород авдырдакской толщи.

а – взаимоотношения карбонатной (внизу) и терригенной (вверху) пачек, граница между ними показана штриховой линией; б – существенно глинистые отложения с “линзами” алевролитов; в – один из бугров в крупнозернистых алевролитах с косоволнистой бугорчатой слоистостью; г – эрозионные врезы крупноалевритовых или тонкопесчаных тел в алевроито-глинистой пачке, в верхней части фото – известняки; д, е – микрофотографии алевролитов (никколи скрещены): д – крупно-среднезернистый алевролит с карбонатным цементом (обр. 22.10-8-5), е – крупнозернистый песчаный алевролит с карбонатным цементом и многочисленными чешуйками слюд и глауконитом по наслению (обр. 22.10-8-8).

Fig. 10. Lithology of the Avdyrdak Member siliciclastic deposits.

а – relationships between carbonate (lower part) and siliciclastic (upper part) units, the boundary between them is shown by a dashed line; б – substantially argillaceous deposits with siltstone lenses; в – one of the hummocks, represented by coarse-grained siltstone; г – erosion incisions of coarse silt or fine sand bodies in silty-shale unit, with limestones in the upper part of the photo; д, е – siltstone microfotos (crossed nicols): д – coarse-medium-grained siltstone with carbonate cement (sample 22.10-8-5), е – coarse-grained sandy siltstone with carbonate cement and numerous mica flakes and glauconite along the layering (sample 22.10-8-8).

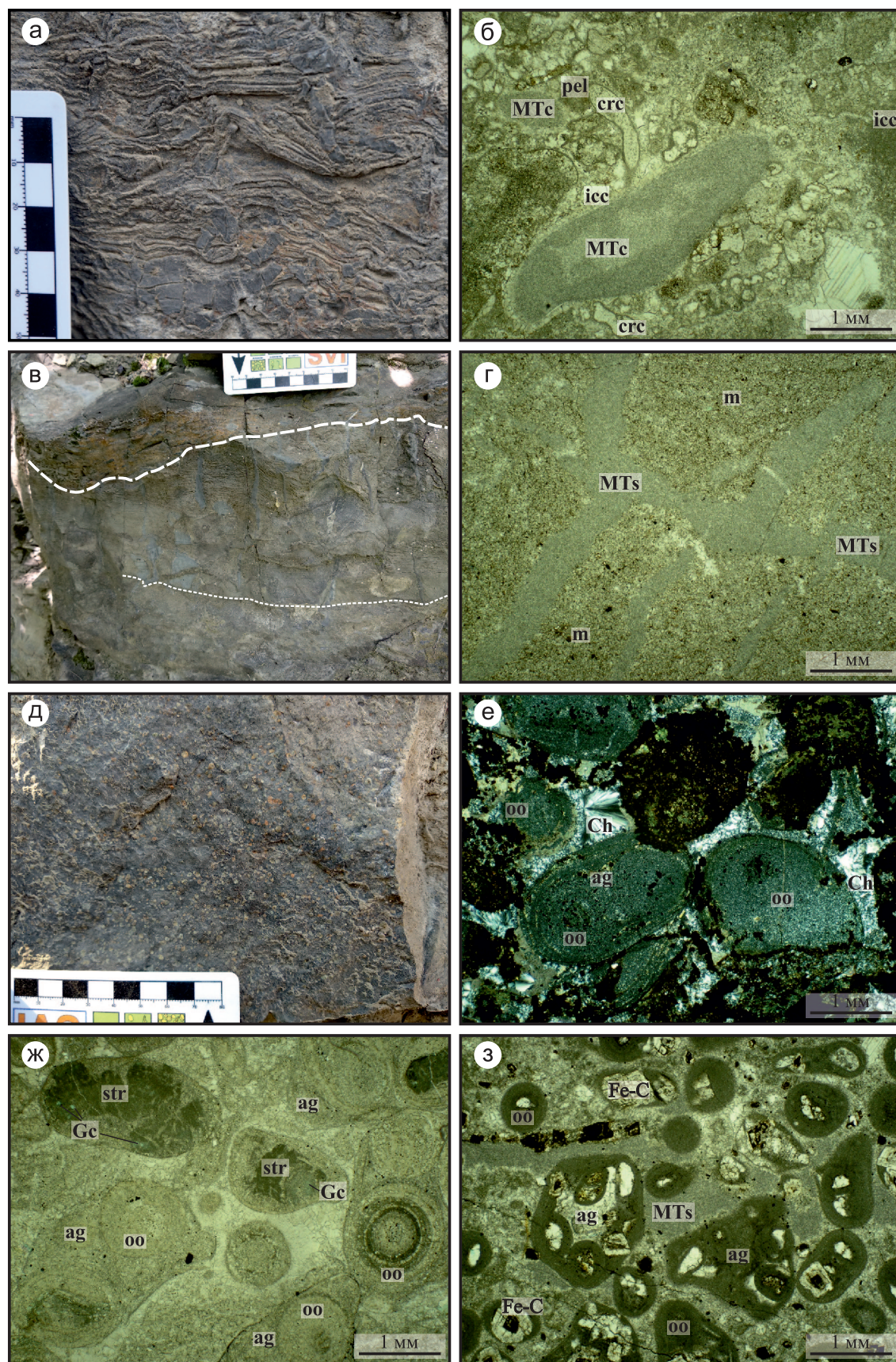


Рис. 11. Литологические характеристики карбонатных пород авдырдакской толщи.

а – известняк с обильными МТ-текстурами (темно-серые участки); б – интракластовый пакстоун с разными типами зерен (обращает на себя внимание неоднородность микроспаритовой массы внутри МТ-класта) (обр. 22.10-8-2, николи параллельны); в – строение циклитов: в нижней части фото – средний элемент одного из циклитов, в средней – верхний, в верхней – нижний элемент следующего циклита (его подошва подчеркнута жирной штриховой линией); г – микрозернистый глинистый известняк с многочисленными разноориентированными МТ-прожилками (обр. 22.10-8-13, николи параллельны); д – фрагмент пласта оолитового известняка; е – практически полностью окремненный известняк с крупными оолитами (кремневая конкреция) (обр. 22.10-8-10, николи скрещены); ж – интракластово-оолитовый пакстоун с агрегатными зернами (оолитами, включающими более мелкие оолиты), небольшие пустоты в ФЭ выполнены аутигенным глауконитом (обр. 22.10-8-11, николи параллельны); з – доломитизированный оолитовый пакстоун с агрегатными зернами и МТ-карбонатом в качестве цемента (обр. 22.10-8-11, николи параллельны).

Fig. 11. Lithology of the Avdyrdak Member carbonate deposits.

а – limestone with abundant MT structures (dark gray areas); б – intraclastic packstone with different types of grains (note the heterogeneity of the microsparite mass inside the MT clast) (sample 22.10-8-2, parallel nicols); в – the cyclites structure: in the lower part of the photo – the middle element, in the central part – the upper element, in the upper part – the lower element of the next cyclite (its bottom is underlined by a thick dashed line); г – micritic clay-rich limestone with numerous differently oriented MT cracks (sample 22.10-8-13, parallel nicols); д – fragment of oolitic limestone bed; е – almost completely silicified limestone with large ooids (diagenetic chert) (sample 22.10-8-10, crossed nicols); ж – intraclast-oolitic packstone with aggregate grains (ooids consisting of smaller ooids), small voids in allochems are filled with authigenic glauconite (sample 22.10-8-11, parallel nicols); з – dolomitised oolitic packstone with aggregate grains and MT-carbonate (microspar) as a cement (sample 22.10-8-11, parallel nicols).

ная, эрозионная. Наиболее грубозернистые калькаренины (рис. 11е), как правило, интенсивно преобразованы – окремнены (в том числе содержат халцедоновый цемент) и анкеритизированы. Менее измененные вторичными процессами отложения представлены пакстоунами и грейнстоунами, в редких случаях до рудстоунов, подавляющее большинство ФЭ которых имеет размеры не более 3 мм. В состав оолитов нередко входят другие оолиты, в таких случаях их можно рассматривать как агрегатные зерна (рис. 11ж). К числу интракластов относятся строматокласты, а также обломки оолитовых известняков. На отдельных участках внутри ФЭ обнаруживаются пустоты, заполненные аутигенным глауконитом. Выше по разрезу оолиты и агрегатные зерна становятся более мелкими (рис. 11з). Роль цемента в таких отложениях может играть микроспарит (МТ-карбонат).

Авдырдакская толща на одном из участков обнажения завершается полузадернованной пачкой плитчатых алевролитов и аргиллитов с глауконитом, на другом – интракластово-оолитовыми известняками, сменяющимися биогермными фациями по латерали. Соответственно, подошва верхнеульской подсвиты в стратотипе проводится по нижней границе массивных строматолитовых построек. Теоретически для определения границы подсвит в других разрезах также необходимо руководствоваться появлением строматолитов как главным критерием. Однако в большинстве остальных разрезов отсутствует юрюзанская толща, а подошва медвежьей толщи, подчиняясь закону Головкинского, оказывается на значительно более высоком стратиграфическом уровне. В связи с этим уместно в качестве границы подсвит рассматривать именно кровлю авдырдакской толщи, т. е. ограничивать нижнюю подсвиту последними пластами песчаников, алевролитов и оолитовых известняков. Без сомнения, эта граница не является изохронной.

ОБСУЖДЕНИЕ

Палеогеография бассейна в раннеульское время.

Для определения направления перемещения обломочного материала и расположения источников сноса в раннеульское время еще слишком мало надежных данных. В частности, недостаточно информации о составе породообразующих компонентов, минералов тяжелой фракции, распределении детритовых цирконов, фациальном составе отложений, ориентировке серий косых слойков в различных разрезах. На текущий момент слабо изучены отложения подсвиты на хребте Каратау, а данные по южным разрезам БМА слишком неполные.

Тем не менее для этого уровня имеется несколько палеогеографических реконструкций. Так, Ю.Р. Беккер (1961), опираясь на информацию об увеличении доли минералов – спутников основных и ультраосновных пород в шлихах в восточном направлении (от обнажений в бассейне р. Сим до устькатавского разреза), предполагал наличие островных поднятий на востоке. В.А. Романов (1973) также пришел к выводу о восточном источнике сноса. Согласно построениям А.В. Маслова и В.М. Горожанина (1998), область максимального развития терригенных пород этого уровня приходится на южные и центральные районы БМА, а увеличение количества Al и Fe³⁺ в глауконитах происходит в направлении с севера на юг, что можно трактовать как приближение к береговой линии. Недавно установлено, что более трети обломочных зерен циркона в подсвите имеют мезопротерозойский возраст (в интервале 1435–1561 млн лет) (Зайцева и др., 2022). Удаленность комплексов Фенноскандии и Свеконорвегии от Южного Урала, а также сходство спектра распределения детритовых цирконов с таковым в бирьянской подсвите зильмердакской свиты и ашинской серии (Kuznetsov et al., 2014; Маслов и др., 2018) заставля-

ют рассматривать в качестве поставщика кластики в то время неизвестный террейн, причленившийся к Балтике в ходе гренвильской орогении. С высокой степенью вероятности он находился (в современных координатах) к востоку или югу от укского бассейна седиментации. В то же время отсутствие шубинской толщи в разрезах Алатауского антиклинория и смена фаций с востока на запад позволяют говорить и о существовании поднятий (суши) на западе.

Пролить свет на вопросы палеогеографии могло бы детальное изучение разрезов восточного крыла БМА. В Тирлянской синклинали на р. Арше среди кварцитопесчаников и сланцев нижней подсвиты нами не было встречено прослоев карбонатных пород. Однако плохая обнаженность в этой местности не позволяет утверждать, что их там нет совсем. Необходимо изучение соседних разрезов и керны скважин. Как показано в некоторых работах, данные по нижеуекской подсвите этого района еще очень противоречивы (Козлов, 1982; Маслов, Горожанин, 1998).

Нижеуекским отложениям исследователями (Беккер, 1961; Маслов, Горожанин, 1998; наши данные) приписывается относительно мелководная (шельфовая) природа. По всей видимости, шельф характеризовался небольшим наклоном в сторону открытого глубоководного бассейна (соответственно, может быть классифицирован как рампа) и был подвержен значительному штормовому влиянию. С учетом этого для определения направления перемещения обломочного материала внимание в первую очередь необходимо обращать на структурные (грубая/тонкая размерность зерен) и текстурные особенности (волновая или штормовая слоистость / рябь течений / признаки приливно-отливных процессов) пород, петрографический состав песчаников (доля полевых шпатов и обломков пород), а также на изменение их мощности (как абсолютной мощности известняков, так и относительной). Нижеуекские терригенные отложения Сулеймановской антиклинали характеризуются тонкозернистыми структурами, несут признаки определяющего влияния бассейновых факторов на седиментацию и составляют минимальную долю от общего объема пород подсвиты (роль карбонатных пород здесь заметно выше, а мощность подсвиты в целом ниже, чем в других разрезах).

Обстановки седиментации ямаштинской толщи. Согласно современным представлениям (Jelby et al., 2020; и др.) косоволнистая бугорчатая слоистость является надежным индикатором штормового воздействия на отложения. Такие текстуры в ямаштинской толще стратотипического разреза широко распространены, что приводит к мысли о ее формировании в условиях доминирования штормовой активности над другими факторами (речными течениями, волнениями в спокой-

ную погоду, приливно-отливной деятельностью), поскольку считается, что чем активнее воздействует на обстановки шельфа тот или иной (бассейновый или внебассейновый) процесс, тем больше “следов” – индикаторных признаков – в осадочной летописи он оставляет (Vakarelov, Ainsworth, 2013; Rossi, Steel, 2017). Наиболее пригодной для сохранения темпеститов считается зона ниже базиса нормальных волн (Dumas, Arnott, 2006). При этом песчаники с бугорчатой слоистостью могут быть характерны и для берегового склона⁶, на который шторма оказывают сильнейшее влияние (Niedoroda et al., 1984; Clifton, 2019). Известно, что в позднем докембрии мелководные эпиплатформенные бассейны были подвержены значительному штормовому воздействию, что особенно справедливо для раннего неопротерозоя – в первую очередь по причине отсутствия у подавляющего большинства шельфов того времени рифового обрамления (Grotzinger, James, 2000; Thorie et al., 2020).

Относительно широкое распространение эрозийных поверхностей – в виде хорошо выраженных впадин (swaley) и слепков промоин (см. рис. 5б–г), скорее всего, указывает на прибрежные обстановки (Clifton, 2019; Grundvåg et al., 2021). В то же время в рассматриваемой толще песчаники с бугорчатой слоистостью находятся в ассоциации с аргиллитами. При этом песчаники преобладают над алевролитами и аргиллитами, что говорит о накоплении осадка выше границы “песок – ил” (sand-mud transition (George, Hill, 2008)). Вероятно, оно происходило в нижней части берегового склона (lower shoreface). Для этой зоны типична ассоциация тонкозернистого достаточно хорошо сортированного песка и рассеянных зерен гравийной размерности – вследствие смешанного характера гидродинамической активности (сочетания нормальных и штормовых волн) (Clifton, 2006). Так, для ямаштинской толщи весьма характерно присутствие слойков с обломками гораздо более крупной размерности по сравнению с основной массой зерен (см. рис. 7в, г). Глинистые слои, по-видимому, накапливались в периоды между штормами при осаждении взвеси.

Нельзя полностью исключать и обстановки среднего рампа, поскольку косой слоистости ряби, характерной для нормальных волнений, здесь встречено не было (но, как отмечено ранее, влияние обычных волн могло быть затушено штормами). С некоторой осторожностью в контексте ямаштинской толщи можно говорить о близости дельтовой системы и еще об одном генетическом

⁶ Под береговым склоном (shoreface) обычно понимается крутая поверхность дна от уровня отлива до границы с относительно пологой поверхностью внутреннего шельфа/рампа (Clifton, 2006, 2019) либо до базиса действия нормальных волн (Anthony, Aagaard, 2020).

типе отложений – гиперпикнитах. К таковым можно отнести слоистые песчаники и крупнозернистые алевролиты с переотложенными песчаными обломками гравийной размерности и обрывками глинистых слоев (см. рис. 5д, е), переходящие вверх по разрезу в бугорчато-слоистые разности.

Так или иначе, обстановки седиментации ямаштинской толщи нельзя считать крайне мелководными. Более мелководные отложения, вероятнее всего, соответствуют задернованному интервалу (около 10 м) в нижней части толщи, непосредственно выше предукского перерыва. Условно для стратотипа предполагаются прибрежно-морские обстановки ближе к границе внутреннего и среднего рампа.

Обстановки седиментации аккостяжской толщи. Несмотря на то что уже в верхней части ямаштинской толщи широко распространен карбонатный цемент (который может иметь и позднее происхождение), фациальный переход к аккостяжской толще в стратотипическом разрезе достаточно отчетливый. По всей видимости, появление строматолитовых построек на этом уровне (а в других разрезах укской свиты – разнообразных карбонатных отложений, в том числе также со строматолитами) стоит связывать с резким и относительно кратковременным подъемом уровня моря⁷. Возможно, смене терригенных фаций на карбонатные способствовали и другие факторы, среди которых наиболее вероятны климатические изменения и ослабление тектонической активности в области источников сноса (Chiarella et al., 2017).

Образование грубообломочных отложений, перекрывающих строматолиты, вероятнее всего, связано с регрессией, которая могла быть обусловлена как реальным эвстатическим снижением уровня моря, так и интенсивным ростом строматолитовых построек с опережением темпов возникновения аккомодационного пространства. Хорошая окатанность обломков позволяет предполагать достижение построек базиса действия нормальных волн. На понижение уровня моря указывает последующее возобновление терригенной седиментации. Кроме того, в вышележащей терригенно-карбонатной толще отсутствуют строматолиты. При этом соотношение цемента и матрикса в этих интракластовых флаутстоунах низкое, что, скорее всего, свидетельствует об умеренном характере

гидродинамической активности или транспортировке обломков в менее подвижную среду.

В соответствии с ранее реконструированным фациальным профилем для верхнеукской подсвиты (Дуб, Гражданкин, 2021) можно говорить о кратковременной манифестации обстановок средней части карбонатного рампа в аккостяжское время на данной территории. При этом в других районах БМА глубины, по-видимому, ограничивались более мелководной зоной. Так, отложения аккостяжской толщи в бассейне р. Зилим содержат постройки, состоящие из тонкостолбчатых строматолитов, в пространстве между столбиками которых преобладает терригенный материал.

Обстановки седиментации авдырдаской толщи. Толща представляет собой сложно построенную терригенно-карбонатную систему. Глинисто-алевритовый состав отложений в терригенных пачках и неизменно высокая доля карбонатной компоненты в алевролитах указывают на удаленные от берега обстановки седиментации. Скорее всего, накопление отложений происходило в небольших впадинах в пределах мелководной зоны (внутреннего рампа). Наибольшую роль играют бассейновые факторы: штормовое влияние сочетается с нормальными волнениями. Возможно, влиянием последних объясняется не очень крупный размер некоторых бугров с косоволнистой слоистостью.

Присутствие терригенных пород в существенно карбонатном разрезе указывает на то, что поступление алюмосиликокластики в область седиментации было периодическим, при этом каких-либо закономерностей в чередовании пачек не выявлено. Скорее всего, накопление отложений осуществлялось посредством разгрузки гиперпикнальных потоков в морском бассейне на удалении от берега. Пачки терригенных пород могут быть сопоставлены с “песчаными телами” (shelfal sandstone lobes), характерными для гиперпикнальных субаквальных дельт (Zavala et al., 2021).

Важной чертой, присущей карбонатным породам в составе авдырдаской толщи стратотипа, является аутигенный глауконит, который выполняет пустоты в некоторых известняках (а из разрезов Алатауского антиклинория известны целые прослои глауконитов в песчаниках (Зайцева и др., 2008; Сергеева и др., 2023)). Глауконит может служить индикатором обстановок с низким содержанием кислорода: как минимум среда диагенеза (а как максимум – и седиментации) во время формирования авдырдаской толщи была слабостановительной. Об этом же свидетельствует пирит, тонкорассеянный в изученных осадках.

Один из типичных признаков нижней подсвиты – оолитовые известняки. От пласта к пласту размерность, распределение и количество генераций оолитов меняются (от одного ядра в оолите до нескольких оолитов внутри агрегатных зерен),

⁷ Отчетливо выраженную подошву данная толща имеет и в разрезе “Кулмас”. Вероятно, граница между ямаштинской и аккостяжской толщами – единственный уровень внутри всей укской свиты, который можно условно рассматривать в качестве изохронного (регионально событийного). По ряду признаков аккостяжская толща является аналогом хорошо известных маломощных трансгрессивных пахомовской и барабинской пачек юрского разреза Западной Сибири, подошва которых близка к изохронной (Решение..., 2004).

что может указывать на немалый спектр обстановок, в которых они могли быть сформированы: от небольших отмелей в пределах волновой зоны до приливно-отливных каналов (но какие-либо другие признаки приливно-отливной деятельности здесь не зафиксированы); в любом случае глубина образования оолитовых известняков вряд ли была ниже базиса действия нормальных волн. Структура изученных оолитов с тангенциальной ориентировкой микрокристаллов в их оболочках позволяет предполагать первично арагонитовый состав отложений (Van Smeerdijk Hood, Wallace, 2018). Считается, что крупные оолиты являются визитной карточкой неопротерозойских карбонатных последовательностей (Grotzinger, James, 2000; Trower, 2020), что связывается со специфической гидродинамикой океана, особой архитектурой карбонатных платформ и крупными климатическими изменениями, характерными для того времени.

Интервалы карбонатных отложений с выраженными генетическими признаками событийных процессов свидетельствуют о штормовой седиментации. Для циклитов характерны эрозионные подошвы и не очень мощные верхние (микрозернистые известняки) элементы, что свидетельствует об их формировании в проксимальных обстановках. Чаще всего на малых глубинах темпеститы разрушаются нормальными волнами, однако примеры сохранения таких отложений в мелководной зоне также известны. Кроме того, на небольшие глубины седиментации указывает и парагенез циклитов с фациями внутреннего рампа (оолитовыми разностями).

Обращает на себя внимание широкая распространенность в пачках известняков, а также в некоторых карбонатно-глинистых разностях разнообразных МТ-текстур. Среди них выделяются автохтонный (образовавшийся *in situ*) и аллохтонный (переотложенный) типы. В свою очередь, автохтонные МТ-текстуры подразделяются как на собственно минерализованные трещины, так и на основную массу, выполняющую межформенное пространство в некоторых известняках (последний феномен замечен только в шлифах). Большое значение также имеют МТ-класты – продукты разрушения и переотложения первоначальных микроспаритовых компонентов. Данные наблюдения хорошо согласуются с новыми результатами изучения МТ-текстур, которые дают возможность рассматривать МТ-микроспарит не только как синседиментационный заполнитель трещин, но и как особый тип цемента (Петров, 2011; Kriscautzky et al., 2022) в докриогениевых карбонатных отложениях. Считается, что использование простой оптической микроскопии не позволяет фиксировать различия между разновременными генерациями карбоната в пределах МТ-текстур. Однако в осадках укской свиты встречаются компоненты, в которых неод-

нородность, свидетельствующая о дискретности в формировании микроспаритовых масс, очень хорошо проявлена (см. рис. 11б). В некоторых образцах это явление носит массовый характер.

В составе зернистых известняков толщи нередко присутствуют агрегатные зерна – компоненты, состоящие из скрепленных вместе и переотложенных ФЭ. Их наличие приводит к выводу о мелководной среде седиментации с изменчивой гидродинамикой и в целом не очень высокой скорости осадконакопления.

Циклически построенные пачки известняков по текстурно-структурным особенностям и обилию разнообразных МТ-текстур близки к проксимальным карбонатным темпеститам манайсинской толщи верхнеукской подсвиты. Такое сходство позволяет говорить о возможности выделения циклитов крупного порядка в составе свиты. Результаты фациального анализа показывают, что некоторые терригенные и карбонатные отложения в составе свиты сходны между собой по глубине формирования. В связи с этим следует предполагать, что смена характера осадконакопления определялась не только вариациями уровня моря, но и изменениями климата.

ВЫВОДЫ

Обобщены данные, свидетельствующие в пользу наличия перерыва в основании укской свиты на всей площади ее распространения. В частности, во-первых, в осевой части БМА (в Инзерском синклинии и на западном крыле Сулеймановской антиклинали) укская свита залегает на известняках шубинской толщи миньярской свиты, а в Ала-тауском антиклинории – на нижележащей доломитовой балаевской/камаелгинской толще миньярской свиты, содержащей многочисленные кремни; во-вторых, от известняков миньярской свиты к песчаникам укской нет постепенного перехода, во всех изученных разрезах после удовлетворительно обнаженных карбонатных пород верхней части миньярской свиты резко начинается задержанный интервал, соответствующий нижнеукским песчаникам; в-третьих, в стратотипе верхние уровни шубинской толщи интенсивно преобразованы, вероятно, вследствие приуроченности к контакту свит проницаемой для различных флюидов зоны (что, по-видимому, обусловлено несогласием в подошве укской свиты). В то же время, судя по сходству укских карбонатных отложений и пород самой верхней части миньярской свиты, данный перерыв (по крайней мере в области распространения шубинской толщи) не был продолжительным.

В стратотипе и других представительных разрезах нижнеукская подсвита имеет выраженное трехчленное строение: она подразделяется на нижнюю (существенно терригенную) ямаштин-

скую, среднюю (существенно карбонатную) аккостякскую и верхнюю (терригенно-карбонатную или карбонатно-терригенную) авдырдаскую толщи. Выделенные толщи хорошо прослеживаются в пределах БМА, но в разных структурно-тектонических зонах несколько различаются по литолого-фациальному составу.

Полевошпато-кварцевые песчаники и алевролиты ямаштинской толщи стратотипического разреза формировались в прибрежно-морских обстановках. Переход к карбонатной аккостякской толще, содержащей строматолиты, ознаменовался кратковременным подъемом уровня моря и, возможно, изменением климата. Вышележащие грубообломочные отложения образовались из-за разрушения биогермов при понижении относительного уровня моря. В составе авдырдаской толщи стратотипа терригенные отложения играют не очень большую роль (в отличие от других разрезов подсвиты), что указывает на мелководно-морские обстановки на удалении от берега. Известняки в основном интракластовые и оолитовые, с многочисленными МТ-текстурами. Микроспаритовый МТ-карбонат заполняет трещины или слагает МТ-класты, а также иногда выполняет межзерновое пространство, играя роль цемента. Во всех изученных толщах фиксируются признаки штормовой седиментации.

Отложения формировались в платформенных условиях при пассивном тектоническом режиме. Исходя из того, что в стратотипе, во-первых, песчаники ямаштинской толщи преимущественно тонкозернистые (в сравнении с таковыми в других районах БМА) и обладают крупной полого- и косо-волнистой слоистостью; во-вторых, терригенные отложения составляют не очень большой объем авдырдаской толщи, можно предполагать, что в северной части современного БМА осадки раннеукского времени формировались на большом удалении от берега. Ранее было установлено (Дуб, Гражданкин, 2021), что в позднеукское время формирование основного объема отложений на западном крыле Сулеймановской антиклинали протекало в относительно спокойных обстановках, ниже базиса действия нормальных волн. Соответственно, терригенно-карбонатные отложения укской свиты в стратотипе в целом накапливались в дистальных обстановках шельфа по сравнению с отложениями в западных и юго-западных структурно-тектонических зонах БМА.

Укская свита как геологическое тело перспективна для дальнейших региональных исследований (детальный литолого-фациальный анализ и тестирование гипотез о южном или восточном источнике алюмосиликокластики в южноуральском бассейне в конце позднего рифея) и изучения в качестве представительного и модельного объекта для понимания функционирования карбонатно-терригенных систем смешанного типа в докембрии.

Благодарности

Авторы глубоко признательны В.М. Горожанину и анонимному рецензенту за детальный анализ рукописи и комплекс критических замечаний, позволивших заметно улучшить работу, усовершенствовать формулировки и повысить информативность рисунков.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Беккер Ю.Р. (1961) Возраст и последовательность напластования отложений верхней части каратауской серии Южного Урала. *Изв. АН СССР. Сер. геол.*, (9), 49–60.
- Вейс А.Ф., Козлов В.И., Сергеева Н.Д., Воробьева Н.Г. (2003) Микрофоссилии типового разреза верхнего рифея (каратавская серия Южного Урала). *Стратиграфия. Геол. корреляция*, 11(6), 19–44.
- Гареев Э.З. (1982) Геохимические особенности карбонатных пород опорных разрезов катавской и укской свит рифея Южного Урала. *Верхний докембрий и палеозой Южного Урала (стратиграфия и литология)*. (Отв. ред. М.А. Гаррис). Уфа: БФАН СССР, 38–46.
- Геологический словарь. (2012) Т. 3. Р–Я. 3-е изд. (Отв. ред. О.В. Петров). СПб.: ВСЕГЕИ, 440 с.
- Головенко В.К. (1984) Строматолиты и микрофитолиты в стратиграфии докембрия: надежды и реальность. *Сов. геология*, (4), 43–54.
- Горожанин В.М., Кутявин Э.П. (1986) Рубидий-стронциевое датирование глауконита укской свиты. *Докембрий и палеозой Южного Урала*. (Отв. ред. В.И. Козлов). Уфа: БФАН СССР, 60–63.
- Государственная геологическая карта РФ м-ба 1 : 1 000 000 (3-е поколение). (2013) Л. N-40 – Уфа. Объяснительная записка. СПб.: ВСЕГЕИ.
- Домрачев С.М. (1952) Девон хр. Каратау и прилегающих районов Южного Урала. *Девон Западного Приуралья*. Л.; М.: Гостоптехиздат, 5–121.
- Дуб С.А. (2021) Верхнерифейско-вендские отложения Башкирского мегантиклинория Южного Урала: состояние изученности и стратиграфическое расчленение. *Геология и геофизика*, 62(11), 1511–1530.
- Дуб С.А., Гражданкин Д.В. (2021) Литология и обстановки осадконакопления карбонатных отложений укской свиты верхнего рифея (неопротерозой) Южного Урала. *Литология и полез. ископаемые*, (6), 513–537.
- Журавлева З.А. (1982) Строматолиты рифея Южного Урала. *Стратотип рифея. Палеонтология и палеомагнетизм*. (Отв. ред. Б.М. Келлер). М.: Наука, 61–83.
- Зайцева Т.С., Горохов И.М., Ивановская Т.А., Семихатов М.А., Кузнецов А.Б., Мельников Н.Н., Аракелянц М.М., Яковлева О.В. (2008) Мессбауэровские характеристики, минералогия и изотопный возраст (Rb-Sr, K-Ar) верхнерифейских глауконитов укской свиты Южного Урала. *Стратиграфия. Геол. корреляция*, 16(3), 3–25.
- Зайцева Т.С., Кузнецов А.Б., Сергеева Н.Д., Адамская Е.В., Плоткина Ю.В. (2022) U-Th-Pb-возраст детритового циркона из оолитовых известняков укской свиты: следы гренвилльских источников сноса в позднем рифее Южного Урала. *Докл. АН. Науки о Земле*, 503(2), 90–96.
- Келлер Б.М. (1966) Вендский комплекс Урала. *Сов. геология*, (5), 58–69.
- Келлер Б.М. (1974) Стратотип вендомия на Южном

- Урале. *Этюды по стратиграфии*. (Отв. ред. А.Л. Яншин). М.: Наука, 97-101.
- Козлов В.И. (1982) Верхний рифей и венд Южного Урала. М.: Наука, 128 с.
- Козлов В.И., Пучков В.Н., Краснобаев А.А., Нехорошева А.Г., Бушарина С.В. (2011) Аршиний – новый стратон рифея в стратотипических разрезах Южного Урала. *Геологический сборник ИГ УНЦ РАН*, (9), 52-56.
- Козлов В.И., Сергеева Н.Д., Абрамова А.Н. (1995) Разрез “Устькатавский”. *Путеводитель геологической экскурсии по разрезам палеозоя и верхнего докембрия западного склона Южного Урала и Приуралья*. (Сост. В.И. Козлов). Уфа: ИГ, 141-162.
- Краснобаев А.А., Козлов В.И., Пучков В.Н., Сергеева Н.Д., Бушарина С.В. (2012) Новые данные по цирконовой геохронологии аршинских вулканитов (Южный Урал). *Литосфера*, (4), 127-140.
- Краснобаев А.А., Пучков В.Н., Сергеева Н.Д., Бушарина С.В. (2019) Природа цирконового кластита в песчаниках рифея и венда Южного Урала. *Георесурсы*, 21(1), 15-25. <https://doi.org/10.18599/grs.2019.1.15-25>
- Крылов И.Н. (1963) Столбчатые ветвящиеся строматолиты рифейских отложений Южного Урала и их значение для стратиграфии верхнего докембрия. М.: Наука, 243 с.
- Крылов И.Н. (1967) Рифейские и нижнекембрийские строматолиты Тянь-Шаня и Каратау. М.: Наука, 78 с.
- Крылов И.Н. (1975) Строматолиты рифея и фанерозоя СССР. М.: Наука, 243 с.
- Кузнецов А.Б., Семихатов М.А., Горохов И.М., Мельников Н.Н., Константинова Г.В., Кутявин Э.П. (2003) Изотопный состав Sr в карбонатных породах каратавской серии Южного Урала и стандартная кривая вариаций отношения $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ в позднерифейском океане. *Стратиграфия. Геол. корреляция*, 11(5), 3-39.
- Кузнецов А.Б., Семихатов М.А., Маслов А.В., Горохов И.М., Прасолов Э.М., Крупенин М.Т., Кислова И.В. (2006) Sr- и C-изотопная хемотратиграфия типового разреза верхнего рифея (Южный Урал): новые данные. *Стратиграфия. Геол. корреляция*, 14(6), 25-53.
- Ларионов Н.Н., Грановская Н.В., Нигматуллина А.М. (2015) Стратиграфия. *Государственная геологическая карта РФ. М-б 1 : 200 000. 2-е изд. Серия Южно-Уральская. Л. N-40-XXII – Тузан. Объяснительная записка*. М.: ВСЕГЕИ, 9-83.
- Маслов А.В. (2020) Башкирский мегантиклинорий: позднерифейско-вендские перерывы и возможные трансформации систем питания бассейна тонкой алюмосиликокластической. *Литосфера*, 20(4), 455-470.
- Маслов А.В., Горожанин В.М. (1998) Нижнеульский уровень каратавия типовой местности: особенности палеогеографии и параметров среды осадконакопления (по данным изучения глауконита). *Тр. ИГГ УрО РАН*, вып. 145, 15-20.
- Маслов А.В., Гареев Э.З., Крупенин М.Т., Демчук И.Г. (1999) Тонкая алюмосиликокластика в верхнедокембрийском разрезе Башкирского мегантиклинория (к реконструкции условий формирования). Екатеринбург: ИГГ УрО РАН, 324 с.
- Маслов А.В., Гражданкин Д.В., Дуб С.А., Мельник Д.С., Парфенова Т.М., Колесников А.В., Чередниченко Н.В., Киселева Д.В. (2019) Укская свита верхнего рифея Южного Урала: седиментология и геохимия (первые результаты исследований). *Литосфера*, 19(5), 659-686.
- Маслов А.В., Ерохин Е.В., Гердес А., Ронкин Ю.Л., Иванов К.С. (2018) Первые результаты U-Pb LA-ICP-MS-изотопного датирования обломочных цирконов из аркозовых песчаников бирьянской подсвиты зильмердакской свиты верхнего рифея (Южный Урал). *Докл. АН. Науки о Земле*, 482(5), 558-561.
- Маслов А.В., Крупенин М.Т., Гареев Э.З., Анфимов Л.В. (2001) Рифей западного склона Южного Урала (классические разрезы, седименто- и литогенез, минерогения, геологические памятники природы). Екатеринбург: ИГГ УрО РАН. Т. 1, 351 с.; Т. 4, 103 с.
- Петров П.Ю. (2011) Molar tooth structures: механизм формирования и специфика карбонатного диагенеза в позднем докембрии (сухотунгусинская свита рифея Туруханского поднятия Сибири). *Стратиграфия. Геол. корреляция*, 19(3), 3-26.
- Подковыров В.Н., Семихатов М.А., Кузнецов А.Б., Виноградов Д.П., Козлов В.И., Кислова И.В. (1998) Изотопный состав карбонатного углерода в стратотипе верхнего рифея (каратавская серия Южного Урала). *Стратиграфия. Геол. корреляция*, 6(4), 3-19.
- Пучков В.Н., Сергеева Н.Д., Краснобаев А.А. (2017) Стратиграфическая схема стратотипа рифея Южного Урала. *Геология. Изв. Отделения наук о Земле и природных ресурсах АН РБ*, 23, 3-26.
- Раабен М.Е., Забродин В.Е. (1972) Водорослевая проблематика верхнего рифея (строматолиты, онколиты). М.: Наука, 130 с.
- Раабен М.Е., Комар Вл.А. (1982) Строматолиты рифея Южного Урала. *Стратотип рифея. Палеонтология и палеомагнетизм*. (Отв. ред. Б.М. Келлер). М.: Наука, 6-60.
- Решение 6-го Межведомственного стратиграфического совещания по рассмотрению и принятию уточненных стратиграфических схем мезозойских отложений Западной Сибири (2004). Новосибирск: СНИИГГиМС, 114 с., 3 прил. на 31 листе.
- Романов В.А. (1973) Типовые разрезы докембрия Южного Урала. М.: Наука, 133 с.
- Сергеев В.Н., Семихатов М.А., Федонкин М.А., Воробьева Н.Г. (2010) Основные этапы развития докембрийского органического мира: Сообщение 2. Поздний протерозой. *Стратиграфия. Геол. корреляция*, 18(6), 3-34.
- Сергеева Н.Д., Пучков В.Н., Дьякова С.А., Зайцева Т.С. (2023) Опорный разрез укской свиты верхнего рифея (каратавия) в Алатауском антиклинории (Южный Урал). *Литосфера*, 23(1), 38-51.
- Соколов Б.С. (1997) Очерки становления венда. М.: КМК, 156 с.
- Станевич А.М., Пучков В.Н., Корнилова Т.А., Сергеева Н.Д., Максимова Е.Н. (2018) Микрофоссилии стратотипа рифея Южного Урала и протерозоя Восточной Сибири (палеобиологические аспекты). *Геол. вестн.*, (3), 3-41.
- Стратиграфический кодекс России. (2019) 3-е изд. (Отв. ред. А.И. Жамойда). СПб.: ВСЕГЕИ, 96 с.
- Стратотип рифея. Стратиграфия. Геохронология. (1983) (Отв. ред. Б.М. Келлер, Н.М. Чумаков). М.: Наука, 184 с.
- Сюндюков А.З., Ревенко Э.А. (1972) О стратиграфическом

- положении укской свиты западного склона Южного Урала. *Вопросы геологии восточной окраины Русской платформы и Южного Урала*. Вып. 16. Уфа: БФ СССР, 11-14.
- Шванов В.Н. (1987) Петрография песчаных пород (компонентный состав, систематика и описание минеральных видов). Л.: Недра, 269 с.
- Шутов В.Д. (1967) Классификация песчаников. *Литология и полез. ископаемые*, (5), 86-103.
- Янкаускас Т.В. (1980) Укская микробиота терминального рифея Южного Урала. Докл. АН. СССР, **253**(5), 1191-1192.
- Anthony E.J., Aagaard T. (2020) The lower shoreface: Morphodynamics and sediment connectivity with the upper shoreface and beach. *Earth Sci. Rev.*, **210**, 103334. <https://doi.org/10.1016/j.earscirev.2020.103334>
- Chiarella D., Longhitano S.G., Tropeano M. (2017) Types of mixing and heterogeneities in siliciclastic-carbonate sediments. *Mar. Pet. Geol.*, **88**, 617-627. <https://doi.org/10.1016/j.marpetgeo.2017.09.010>
- Clifton H.E. (2006) A reexamination of facies models for clastic shorelines. *Facies models revisited*. SEPM Spec. Publ., **84**, 293-337. <https://doi.org/10.2110/pec.06.84.0293>
- Clifton H.E. (2019) Shoreface. *Encyclopedia of Coastal Science*. (Ed. by C.J. Finkl, C. Makowski). Cham: Springer, 1553-1557. https://doi.org/10.1007/1-4020-3880-1_290
- Dumas S., Arnott R.W.C. (2006) Origin of hummocky and swaley cross-stratification – the controlling influence of unidirectional current strength and aggradation rate. *Geology*, **34**, 1073-1076. <https://doi.org/10.1130/G22930A.1>
- George D.A., Hill P.S. (2008) Wave climate, sediment supply and the depth of the sand–mud transition: a global survey. *Mar. Geol.*, **254**, 121-128. <https://doi.org/10.1016/j.margeo.2008.05.005>
- Grotzinger J.P., James N.P. (2000) Precambrian carbonates: evolution of understanding. *Carbonate Sedimentation and Diagenesis in the Evolving Precambrian World*. SEPM Spec. Publ., **67**, 3-22. <https://doi.org/10.2110/pec.00.67>
- Grundvåg S.-A., Jelby M.E., Olaussen S., Swinska K.K. (2021) The role of shelf morphology on storm-bed variability and stratigraphic architecture, Lower Cretaceous, Svalbard. *Sedimentology*, **68**, 196-237. <https://doi.org/10.1111/sed.12791>
- Van Smeerdijk Hood A., Wallace M.W. (2018) Neoproterozoic marine carbonates and their paleoceanographic significance. *Glob. Planet. Change*, **160**, 28-45. <https://doi.org/10.1016/j.gloplacha.2017.11.006>
- Jelby M.E., Grundvåg S.-A., Helland-Hansen W., Olaussen S., Stemmerik L. (2020) Tempestite facies variability and storm-depositional processes across a wide ramp: Towards a polygenetic model for hummocky cross-stratification. *Sedimentology*, **67**, 742-781. <https://doi.org/10.1111/sed.12671>
- Kriscautzky A., Kah L.C., Bartley J.K. (2022) Molar-Tooth Structure as a Window into the Deposition and Diagenesis of Precambrian Carbonate. *Annu. Rev. Earth Planetary Sci.*, **50**, 205-230. <https://doi.org/10.1146/annurev-earth-031621-080804>
- Kuznetsov N.B., Meert J.G., Romanyuk T.V. (2014) Ages of detrital zircons (U/Pb, LA-ICP-MS) from the Latest Neoproterozoic–Middle Cambrian(?) Asha Group and Early Devonian Takaty Formation, the Southwestern Urals: A test of an Australia-Baltica connection within Rodinia. *Precambrian Res.*, **244**, 288-305. <https://doi.org/10.1016/j.precamres.2013.09.011>
- Niedoroda A.W., Swift D.J.P., Hopkins T.S., Ma C.-M. (1984) Shoreface morphodynamics on wave-dominated coasts. *Mar. Geol.*, **60**, 331-354. [https://doi.org/10.1016/S0070-4571\(08\)70153-5](https://doi.org/10.1016/S0070-4571(08)70153-5)
- Rossi V.M., Steel R.J. (2016) The role of tidal, wave and river currents in the evolution of mixed-energy deltas: Example from the Lajas Formation (Argentina). *Sedimentology*, **63**, 824-864. <https://doi.org/10.1111/sed.12240>
- Thorie A., Mukhopadhyay A., Mazumdar P., Banerjee T. (2020) Characteristics of a Tonian reef rimmed shelf before the onset of Cryogenian: Insights from Neoproterozoic Kuniyar Formation, Simla Group, Lesser Himalaya. *Mar. Pet. Geol.*, **117**, 104393. <https://doi.org/10.1016/j.marpetgeo.2020.104393>
- Trower E.J. (2020) The enigma of Neoproterozoic giant ooids – Fingerprints of extreme climate? *Geophys. Res. Lett.*, **47**, <https://doi.org/10.1029/2019GL086146>
- Vakarelov B.K., Ainsworth R.B. (2013) A hierarchical approach to architectural classification in marginal-marine systems: bridging the gap between sedimentology and sequence stratigraphy. *AAPG Bull.*, **97**, 1121-1161. <https://doi.org/10.1306/11011212024>
- Zavala S., Arcuri M., Meglio M.D., Zorzano A., Otharón G., Irastorza A., Torresi A. (2021) Deltas: a new classification expanding Bates's concepts. *J. Palaeogeogr.*, **10**(1), 23. <https://doi.org/10.1186/s42501-021-00098-w>

REFERENCES

- mation, Southern Urals. *Lithol. Miner. Res.*, **56**, 487-508 (translated from *Litologiya i Polezn. Iskopaemye*, (6), 513-537). <https://doi.org/10.1134/S0024490221060031>
- Dumas S., Arnott R.W.C. (2006) Origin of hummocky and swaley cross-stratification – the controlling influence of unidirectional current strength and aggradation rate. *Geology*, **34**, 1073-1076. <https://doi.org/10.1130/G22930A.1>
- Gareev E.Z. (1985) Carbonate rocks geochemical features of the Katav and Uk key sections in the Southern Urals. *Upper Precambrian and Paleozoic in the Southern Urals (stratigraphy and lithology)*. (Ed. by M.A. Garis). Ufa, BFAN SSSR, 38-46. (In Russ.)
- Geological vocabulary. (2012) 3rd ed. Book 3. P.–Я. (Ed. by O.V. Petrov). St.Petersburg, VSEGEI, 440 p. (In Russ.)
- George D.A., Hill P.S. (2008) Wave climate, sediment supply and the depth of the sand–mud transition: a global survey. *Mar. Geol.*, **254**, 121-128. <https://doi.org/10.1016/j.margeo.2008.05.005>
- Golovenok V.K. (1984) Stromatolites and microphytolites in Precambrian stratigraphy: dreams vs reality. *Sov. Geologiya*, (4), 43-54. (In Russ.)
- Gorozhanin V.M., Kutyavin E.P. (1986) Rb-Sr glauconite age determination of the Uk Formation. In *Precambrian and Paleozoic in the Southern Urals*. (Ed. by V.I. Kozlov). Ufa, BFAN SSSR, 60-63. (In Russ.)
- Grotzinger J.P., James N.P. (2000) Precambrian carbonates: evolution of understanding. Carbonate Sedimentation and Diagenesis in the Evolving Precambrian World. SEPM Spec. Publ., **67**, 3-22. <https://doi.org/10.2110/pec.00.67>
- Grundvåg S.-A., Jelby M.E., Olausson S., Swinska K.K. (2021) The role of shelf morphology on storm-bed variability and stratigraphic architecture, Lower Cretaceous, Svalbard. *Sedimentology*, **68**, 196-237. <https://doi.org/10.1111/sed.12791>
- Jelby M.E., Grundvåg S.-A., Helland-Hansen W., Olausson S., Stemmerik L. (2020) Tempestite facies variability and storm-depositional processes across a wide ramp: Towards a polygenetic model for hummocky cross-stratification. *Sedimentology*, **67**, 742-781. <https://doi.org/10.1111/sed.12671>
- Keller B.M. (1974) Vendian stratotype in the Southern Urals. *Stratigraphy essay*. (Ed. by A.L. Yanshin). Moscow, Nauka Publ., 97-101. (In Russ.)
- Keller B.M. Urals Vendian complex. *Sov. Geologiya*, (5), 58-69. (In Russ.)
- Kozlov V.I. (1982) Upper Riphean and Vendian of the Southern Urals. Moscow, Nauka Publ., 128 p. (In Russ.)
- Kozlov V.I., Puchkov V.N., Krasnobaev A.A., Nekhorosheva A.G., Busharina S.V. (2011) New Arshinian geological unit in Southern Urals Riphean key sections. *Geologicheskii sbornik IG UNTs RAN*, (9), 52-56. (In Russ.)
- Kozlov V.I., Sergeeva N.D., Abramova A.N. (1995) “Ust’katavskii” section. *Upper Precambrian and Paleozoic in Southern Urals and Cisurals field trip guide*. (Ed. by V.I. Kozlov). Ufa, IG, 141-162.
- Krasnobaev A.A., Kozlov V.I., Puchkov V.N., Sergeeva N.D., Busharina S.V. (2012) Zircon geochronology new data for Arsha volcanic rocks (Southern Urals). *Lithosphere (Russia)*, (4), 127-140. (In Russ.)
- Krasnobaev A.A., Puchkov V.N., Sergeeva N.D., Busharina S.V. (2019) Nature of zircon clastics in the Riphean and Vendian sandstones of the Southern Urals. *Georesources*, **21**(1), 15-25. <https://doi.org/10.18599/grs.2019.1.15-25>
- Kriscautzky A., Kah L.C., Bartley J.K. (2022) Molar-Tooth Structure as a Window into the Deposition and Diagenesis of Precambrian Carbonate. *Annu. Rev. Earth Planetary Sci.*, **50**, 205-230. <https://doi.org/10.1146/annurev-earth-031621-080804>
- Krylov I.N. (1963) Columnar branching stromatolites of the Riphean deposits of the Southern Urals and their significance for upper Precambrian stratigraphy. Moscow, Nauka Publ., 243 p. (In Russ.)
- Krylov I.N. (1967) Riphean and Lower Cambrian stromatolites from Tian Shan and Karatau. Moscow, Nauka Publ., 78 p. (In Russ.)
- Krylov I.N. (1975) Riphean and Phanerozoic stromatolites from the USSR. Moscow, Nauka Publ., 243 p. (In Russ.)
- Kuznetsov A.B., Gorokhov I.M., Mel’nikov N.N., Konstantinova G.V., Kutyavin E.P., Semikhatov M.A. (2003) Sr isotope composition in carbonates of the Karatau Group, southern Urals, and standard curve of ⁸⁷Sr/⁸⁶Sr variations in the Late Riphean Ocean. *Stratigr. Geol. Correl.*, **11**(5), 415-449 (translated from *Stratigrafiya. Geol. Korrelyatsiya*, **11**(5), 3-39).
- Kuznetsov A.B., Gorokhov I.M., Semikhatov M.A., Kislova I.V., Maslov A.V., Krupenin M.T., Prasolov E.M. (2006) New data on Sr-and C-isotopic chemostratigraphy of the Upper Riphean type section (southern Urals). *Stratigr. Geol. Correl.*, **14**(6), 602-628 (translated from *Stratigrafiya. Geol. Korrelyatsiya*, **14**(6), 25-53).
- Kuznetsov N.B., Meert J.G., Romanyuk T.V. (2014) Ages of detrital zircons (U/Pb, LA-ICP-MS) from the Latest Neoproterozoic–Middle Cambrian(?) Asha Group and Early Devonian Takaty Formation, the Southwestern Urals: A test of an Australia-Baltica connection within Rodinia. *Precambrian Res.*, **244**, 288-305. <https://doi.org/10.1016/j.precamres.2013.09.011>
- Larionov N.N., Granovskaya N.V., Nigmatullina A.M. (2015) Stratigraphy. *Official Russian Federation 1 : 200 000 geological map. 2nd gen. N-40-XXII sheet – Tukan. Report*. Moscow, VSEGEI, 9-83. (In Russ.)
- Maslov A.V. (2020) Bashkirian meganticlinorium: Late Riphean-Vendian hiatuses and possible transformations of basin provenances. *Lithosphere (Russia)*, **20**(4), 455-470. (In Russ.) <https://doi.org/10.24930/1681-9004-2020-20-4-455-470>
- Maslov A.V., Gorozhanin V.M. (1998) Lower Uk layers of the Karatau type locality: paleogeography and sedimentation environments features (using glauconites research data). *Tr. IGG URO RAN*, vyp. 145, 15-20. (In Russ.)
- Maslov A.V., Gareev E.Z., Krupenin M.T., Demchuk I.G. (1999) Thin aluminosiliconclastics in the Upper Precambrian section of the Bashkir meganticlinorium (towards the reconstruction of formation conditions). Ekaterinburg, IGIG UrO RAN, 324 p.
- Maslov A.V., Erokhin Y.V., Gerdes A., Ronkin Yu.L., Ivanov K.S. (2018) First Results of U–Pb LA–ICP–MS Isotope Dating of Detrital Zircons from Arkose Sandstone of the Biryán Subformation of Zilmerdak Formation (Upper Riphean, South Urals). *Dokl. Earth Sc.*, **482**, 1275-1277 (translated from *Dokl. AN. Nauki o Zemle*, **482**(5), 558-561). <https://doi.org/10.1134/S1028334X18100136>
- Maslov A.V., Grazhdankin D.V., Dub S.A., Mel’nik D.S., Parfenova T.M., Kolesnikov A.V., Cherednichenko N.V., Kiseleva D.V. (2019) Sedimentology and geochemistry of the Uk Formation, Upper Riphean, the Southern

- Urals. *Lithosphere (Russia)*, **19**(5), 659-686. (In Russ.) <https://doi.org/10.24930/1681-9004-2019-19-5-659-686>
- Maslov A.V., Krupenin M.T., Gareev E.Z., Anfimov L.V. (2001) Southern Urals western slope Riphean (classical sections, sedimentology and diagenesis, minerageny, geological natural monuments). Ekaterinburg, IGG UrO RAN, book 1, 351 p; book 4, 103 p. (In Russ.)
- Niedoroda A.W., Swift D.J.P., Hopkins T.S., Ma C.-M. (1984) Shoreface morphodynamics on wave-dominated coasts. *Mar. Geol.*, **60**, 331-354. [https://doi.org/10.1016/S0070-4571\(08\)70153-5](https://doi.org/10.1016/S0070-4571(08)70153-5)
- Official Russian Federation 1 : 1000 000 geological map. 3rd gen. (2013) N-40 sheet – Ufa. Report St.Petersburg, VSEGEI. (In Russ.)
- Petrov P.Yu. (2011) Molar tooth structures: Formation and specificity of carbonate diagenesis in the Late Precambrian, Middle Riphean Sukhaya Tunguska Formation of the Turukhansk Uplift, Siberia. *Stratigr. Geol. Correl.*, **19**, 247-267 (translated from *Stratigrafiya. Geol. Korrelyatsiya*, **19**(3), 3-26). <https://doi.org/10.1134/S0869593811030087>
- Podkovyrov V.N., Semikhatov M.A., Kuznetsov A.B., Vinogradov D.P., Kozlov V.I., Kislova I.V. (1998) Inorganic carbon isotopic composition in the Upper Riphean stratotype (Karatau group, Southern Urals). *Stratigrafiya. Geol. Korrelyatsiya*, **6**(4), 3-19. (In Russ.)
- Puchkov V.N., Sergeeva N.D., Krasnobaev A.A. (2017) Stratigraphic sectional plane of the Upper Riphean in the Southern Urals. *Geologiya. Izvestiya Otdeleniya nauk o Zemle i prirodnym resursom AS RB*, **23**, 3-26. (In Russ.)
- Raaben M.E., Komar V.I.A. (1982) Southern Urals Riphean Stromatolites. *Riphean stratotype. Paleontology and paleomagnetism*. (Ed. by B.M. Keller). Moscow, Nauka Publ., 6-60. (In Russ.)
- Raaben M.E., Zabrodin V.E. (1972) Upper Riphean algal problematic fossils (stromatolites, oncolites). Moscow, Nauka Publ., 130 p. (In Russ.)
- Romanov V.A. (1973) Southern Urals Precambrian key sections. Moscow, Nauka Publ., 133 p. (In Russ.)
- Rossi V.M., Steel R.J. (2016) The role of tidal, wave and river currents in the evolution of mixed-energy deltas: Example from the Lajas Formation (Argentina). *Sedimentology*, **63**, 824-864. <https://doi.org/10.1111/sed.12240>
- Russia stratigraphy codex. (2019) 3rd ed. (Ed. by A.I. Zhamoida). St.Petersburg, VSEGEI, 96 p.
- Sergeev V.N., Semikhatov M.A., Fedonkin M.A., Vorob'eva N.G. (2010) Principal stages in evolution of Precambrian organic world: Communication 2. The Late Proterozoic. *Stratigr. Geol. Correl.*, **18**, 561-592 (translated from *Stratigrafiya. Geol. Korrelyatsiya*, **18**(6), 3-34). <https://doi.org/10.1134/S0869593810060018>
- Sergeeva N.D., Puchkov V.N., Dyakova S.A., Zaitseva T.S. (2023) Reference section of the Uk Formation of the Upper Riphean (Karatavia) in the Alatau anticlinorium (Southern Urals). *Lithosphere (Russia)*, **23**(1), 38-51. (In Russ.) <https://doi.org/10.24930/1681-9004-2023-23-1-38-51>
- Shutov V.D. (1967) Sandstone classification. *Litologiya i Polezn. Iskopaemye*, (5), 86-103. (In Russ.)
- Shvanov V.N. (1987) Sandstone petrology (composition, classification and different types description). Leningrad, Nedra Publ., 269 p. (In Russ.)
- Sindukov A.Z., Revenko E.A. (1972) About stratigraphy of the Southern Urals western slope Uk Formation. *Voprosy geologii vostochnoi okrainy Russkoi platformy i Yuzhnogo Urala*. Vyp. 16. Ufa, BB SSSR, 11-14. (In Russ.)
- Sokolov B.S. (1997) Vendian establishing feature. Moscow, KMK, 156 p. (In Russ.)
- Stanevich A.M., Puchkov V.N., Kornilova T.A., Sergeeva N.D., Maksimova E.N. (2018) Microfossils of the Southern Ural riphean stratotype and late precambrian of Eastern Siberia (paleobiologic aspects). *Geol. Vestnik*, (3), 3-41. (In Russ.)
- Stratotype of the Riphean: Stratigraphy and Geochronology. (1983) (Ed. by B.M. Keller, N.M. Chumakov). Moscow, Nauka Publ., 184 p. (In Russ.)
- Thorie A., Mukhopadhyay A., Mazumdar P., Banerjee T. (2020) Characteristics of a Tonian reef rimmed shelf before the onset of Cryogenian: Insights from Neoproterozoic Kuniyar Formation, Simla Group, Lesser Himalaya. *Mar. Pet. Geol.*, **117**, 104393. <https://doi.org/10.1016/j.marpetgeo.2020.104393>
- Trower E.J. (2020) The enigma of Neoproterozoic giant ooids – Fingerprints of extreme climate? *Geophys. Res. Lett.*, **47**, <https://doi.org/10.1029/2019GL086146>
- Vakarelov B.K., Ainsworth R.B. (2013) A hierarchical approach to architectural classification in marginal-marine systems: bridging the gap between sedimentology and sequence stratigraphy. *AAPG Bull.*, **97**, 1121-1161. <https://doi.org/10.1306/11011212024>
- Van Smeerdijk Hood A., Wallace M.W. (2018) Neoproterozoic marine carbonates and their paleoceanographic significance. *Glob. Planet. Change*, **160**, 28-45. <https://doi.org/10.1016/j.gloplacha.2017.11.006>
- Veis A.F., Kozlov V.I., Sergeeva N.D., Vorob'eva N.G. (2003) Microfossils from the Upper Riphean type section (The Karatau group of Southern Urals). *Stratigr. Geol. Correl.*, **11**(6), 550-572 (translated from *Stratigrafiya. Geol. Korrelyatsiya*, **11**(6), 19-44).
- Yanaskauskas T.V. (1980) Uppermost Riphean Uk Formation microbiota in the Southern Urals. *Dokl. AN SSSR*, **253**(5), 1191-1192. (In Russ.)
- Zaitseva T.S., Gorokhov I.M., Kuznetsov A.B., Mel'nikov N.N., Yakovleva O.V., Ivanovskaya T.A., Semikhatov M.A., Arakelyants M.M. (2008) Mössbauer characteristics, mineralogy and isotopic age (Rb-Sr, K-Ar) of Upper Riphean glauconites from the Uk Formation, the southern Urals. *Stratigr. Geol. Correl.*, **16**(3), 227-247 (translated from *Stratigrafiya. Geol. Korrelyatsiya*, **16**(3), 3-25). <https://doi.org/10.1134/S0869593808030015>
- Zaitseva T.S., Kuznetsov A.B., Sergeeva N.D., Adamskaya E.V., Plotkina Yu.V. (2022) The U-Th-Pb Age of Detrital Zircons from Oolitic Limestones of the UK Formation: Traces of the Grenville Provenance Areas in the Late Riphean of the Southern Urals. *Dokl. Earth Sc.*, **503**, 143-149 (translated from *Dokl. AN. Nauki o Zemle*, **503**(2), 90-96). <https://doi.org/10.1134/S1028334X22040195>
- Zavala S., Arcuri M., Meglio M.D., Zorzano A., Otharón G., Irastorza A., Torresi A. (2021) Deltas: a new classification expanding Bates's concepts. *J. Palaeogeogr.*, **10**(1), 23. <https://doi.org/10.1186/s42501-021-00098-w>
- Zhuravleva Z.A. (1982) Riphean stromatolites in the Southern Urals. *Stratotype of the Riphean. Paleontology and paleomagnetism*. (Ed. by B.M. Keller). Moscow, Nauka Publ., 61-83. (In Russ.)