

УДК 551.71.

DOI: 10.24930/1681-9004-2025-25-4-772-793

Гипостратотип усть-сылвицкой свиты верхнего венда в Кваркушско-Каменногорском антиклинории (Средний Урал)

В. А. Панькова¹, А. В. Колесников¹, В. Н. Паньков¹, Е. Н. Высоцкий¹, И. В. Латышева¹,
А. В. Шацилло^{1,2}, Н. Б. Кузнецов¹, Т. В. Романюк²

¹Геологический институт РАН, 119017, г. Москва, Пыжевский пер. 7, стр. 1, e-mail: pankova@ginras.ru

²Институт физики Земли им. О.Ю. Шмидта РАН, 123995, г. Москва, ул. Б. Грузинская 10, стр. 1

Поступила в редакцию 11.02.2025 г., принята к печати 03.04.2025 г.

Объект исследования. Усть-сылвицкая свита сылвицкой серии верхнего венда в Кваркушско-Каменногорском антиклинории (Средний Урал) в разрезах по берегам Широковского водохранилища и у г. Чусового в Пермском крае. **Результаты.** Установлено трехчленное строение разреза свиты, которое включает в себя нижнюю, среднюю и верхнюю подсвиты. Для нижней подсвиты характерны буроватые, серые, до серо-зеленых, грубозернистые песчаники с крупной мульдобразной многоэтажной разнонаправленной косою слоистостью, часто подчеркнутой скоплениями плоских аргиллитовых галек шоколадно-коричневого цвета. Общая мощность нижней подсвиты составляет 540 м. Средняя подсвита (мощностью до 30 м) представлена преимущественно массивными песчаниками без видимой слоистости и аргиллитовых галек. В ней выявлены маркирующие уровни (горизонты): слой белесых апопелловых глин, для циркона из которых ранее получен U–Pb возраст 563 ± 3.5 млн лет, и слой песчаников с относительно крупными обломками калишпатов. Завершает разрез верхняя подсвита (мощность до 80 м), для которой характерно частое переслаивание аргиллитов, алевролитов и песчаников. В ней обнаружены арумбериморфные микробиально-индуцированные осадочные текстуры (Agumbegia), а также апопелловые глины с аномальной, от белесой до вишне-бурой, окраской, которые могут послужить дополнительным признаком при литостратиграфической корреляции отложений. **Выводы.** Разрез усть-сылвицкой свиты в районе Широковского водохранилища и у г. Чусового представлен наиболее полно в сравнении со стратотипом по р. Чусовой у устья р. Сылвицы и предложен нами в качестве составного гипостратотипа.

Ключевые слова: венд, усть-сылвицкая свита, сылвицкая серия, Кваркушско-Каменногорский антиклинорий, Средний Урал

Источник финансирования

Полевые исследования, описание разрезов и подготовка публикации проведены при финансовой поддержке гранта РФФ № 24-77-10030. Литологические и стратиграфические исследования выполнены в соответствии с планами научно-исследовательских работ тем государственных заданий Геологического института РАН и Института физики Земли им. О.Ю. Шмидта РАН

Hypostratotype section of the Vendian Ust'-Sylvitsa Formation in the Kvarkush-Kamennogorsk Anticlinorium (Central Urals)

Violetta A. Pankova¹, Anton V. Kolesnikov¹, Vladimir N. Pankov¹, Egor N. Vysotsky¹,
Irina V. Latysheva¹, Andrey V. Shatsillo^{1,2}, Nikolay B. Kuznetsov¹, Tatiana V. Romanyuk²

¹Geological Institute, RAS, 7/1 Pyzhevsky lane, Moscow 119017, Russia, e-mail: pankova@ginras.ru

²O.Yu. Shmidt Institute of Physics of the Earth, RAS, 10/1 B. Gruzinskaya st., Moscow 123995, Russia

Received 11.02.2025, accepted 03.04.2025

Research subject. The sedimentary sequences of the Ust'-Sylvitsa Formation of the Upper Vendian Sylvitsa Group were studied in Kvarkush-Kamennogorsk Anticlinorium in the sections on Lake Shyrovskoy coastline and Chusovoi City area in the Perm Krai region of Russia. **Results.** A three-membered structure of the formation was established, which includes the Lower, Middle, and Upper members. The Lower Member is characterised by sandstones that are thick,

Для цитирования: Панькова В.А., Колесников А.В., Паньков В.Н., Высоцкий Е.Н., Латышева И.В., Шацилло А.В., Кузнецов Н.Б., Романюк Т.В. (2025) Гипостратотип усть-сылвицкой свиты верхнего венда в Кваркушско-Каменногорском антиклинории (Средний Урал). *Литосфера*, **25**(4), 772–793. <https://doi.org/10.24930/2500-302X-2025-25-4-772-793>. EDN: UQXKXC

For citation: Pankova V.A., Kolesnikov A.V., Pankov V.N., Vysotsky E.N., Latysheva I.V., Shatsillo A.V., Kuznetsov N.B., Romanyuk T.V. (2025) Hypostratotype section of the Vendian Ust'-Sylvitsa Formation in the Kvarkush-Kamennogorsk Anticlinorium (Central Urals). *Lithosphere (Russia)*, **25**(4), 772–793. (In Russ.) <https://doi.org/10.24930/2500-302X-2025-25-4-772-793>. EDN: UQXKXC

© В.А. Панькова, А.В. Колесников, В.Н. Паньков, Е.Н. Высоцкий, И.В. Латышева, А.В. Шацилло, Н.Б. Кузнецов, Т.В. Романюк, 2025

brownish, greyish to green-greyish, coarse-grained, and have multi directional herringbone cross-stratification that is often marked by clusters of chocolate-brown flat clay pebbles. The total thickness of the Lower Member is 540 m. The Middle Member (up to 30-m-thick) is represented mainly by massive sandstones without visible stratification and clay pebbles. It reveals marking levels (horizons): a layer of whitish apoclays, from which the U-Pb age of zircon 563 ± 3.5 Ma was previously obtained; and a layer of sandstone with relatively large clasts of feldspar. The section is completed by the Upper Member (up to 80-m-thick), which is characterised by mottled alternation of mudstones, siltstones and sandstones. It also revealed arumberiamorph microbially induced sedimentary structures (*Arumberia*), as well as levels with ash beds with anomalous whitish to cherry-brown colouring, which may serve as an additional feature in lithostratigraphic correlation of the sequences. **Conclusions.** The Ust'-Sylvitsa Formation section in the Lake Shyrovskiy and Chusovoi City area is represented most completely in comparison with the stratotype section on the Chusovaya River near the mouth of the Sylvitsa River, and we propose it as a composite hypostratotype section.

Keywords: *Vendian, Ust'-Sylvitsa Formation, Sylvitsa Group, Kvarkush-Kamennogorsk Anticlinorium, Central Urals*

Funding information

Field observations, study of sections and preparation of the manuscript were funded by the Russian Science Foundation, grant No. 24-77-10030. Lithological and stratigraphic studies were carried out in accordance with state assignments of the Geological Institute RAS and Schmidt Institute of Physics of the Earth RAS

ВВЕДЕНИЕ

Вендский период, охватывающий временной интервал ≈ 600 – 535 млн лет (Стратиграфический..., 2019), – время проявления ряда важнейших событий, с которыми связано зарождение основных типов древнейших организмов, прежде всего первых сложноустроенных и многоклеточных животных неясного систематического положения, также известных как вендская мягкотелая биота или биота эдиакарского типа (Вендская система..., 1985; Waggoner, 2003). Для нее характерна экстраординарно хорошая сохранность в виде отпечатков или объемных слепков (Федонкин, 1981, 1985; Fedonkin et al., 2007) и внезапное исчезновение из ископаемой летописи в конце венда, предшествующее крупнейшему в истории биосферы взрывообразному увеличению биоразнообразия и усложнению экологической структуры в начале кембрийского периода (Вендская система..., 1985; Laflamme et al., 2013; Grazhdankin, 2014; Darroch et al., 2018). Однако неполнота ископаемой летописи, трудности с корреляцией разрезов, проблемы с изотопными датировками, а также значительная удаленность друг от друга ключевых разрезов все еще не позволяют в полной мере ответить на вопросы происхождения, вымирания и эволюции древнейших макроскопических организмов. По этой причине разрез верхнего венда на Среднем Урале по праву можно считать уникальным: именно здесь, в практически непрерывных разрезах сыльвицкой серии, обнаружены многочисленные остатки вендских мягкотелых организмов (Беккер, 1977; Гражданкин и др., 2005, 2010; Vobkov et al., 2019; Десяткин и др., 2021; Колесников и др., 2023) и уплощенных углефицированных макрофоссилий миаохенского типа (Гражданкин и др., 2007; Марусин и др., 2011), а также получены U-Pb-изотопные датировки магматиче-

ских кристаллов циркона из апопелловых глин, залегающих на нескольких стратиграфических уровнях (Ронкин и др., 2006; Гражданкин и др., 2011; Маслов и др., 2013; Кузнецов и др., 2017). Несмотря на то, что за последние десятилетия существенно уточнены возраст, объем и стратиграфия большей части разреза сыльвицкой серии, объединяющей старопечнинскую, перевалокскую, чернокаменскую и усть-сылвицкую свиты (Аблизин и др., 1982; Гражданкин и др., 2010), некоторые вопросы оставались нерешенными. Например, для последней, усть-сылвицкой, свиты представления исследователей о ее строении и составе были основаны на результатах изучения нескольких небольших изолированных обнажений, известных в бассейне р. Чусовой ниже устья р. Сыльвица, не позволивших им, как выяснено в самое последнее время, в полной мере установить ее объем, состав и возраст.

Усть-сылвицкая свита завершает разрез сыльвицкой серии верхнего венда на западном склоне Среднего Урала (рис. 1). Изначально ее стратотип установлен Б.Д. Аблизиным с соавторами (1982) на правом берегу р. Чусовой ниже по течению от устья р. Сыльвицы. Авторы отмечали, что свита сложена красновато-бурыми, сиреневато-коричневыми и зеленовато-серыми мелко- и среднезернистыми полимиктовыми песчаниками с горизонтальной косякой слоистостью и без видимой слоистости с прослоями алевролитов и аргиллитов. С нижележащей чернокаменной свитой усть-сылвицкая свита имела постепенный переход, а контакт с вышележащими отложениями (песчаники такатинской свиты нижнего девона) отвечал поверхности размыва. По данным Б.Д. Аблизина с соавторами (1982), мощность усть-сылвицкой свиты в стратотипической местности составляла 350 м. Позже Ю.Р. Беккер (1988) сообщил, что в стратотипе представлена только ее нижняя часть, а наиболее полный разрез

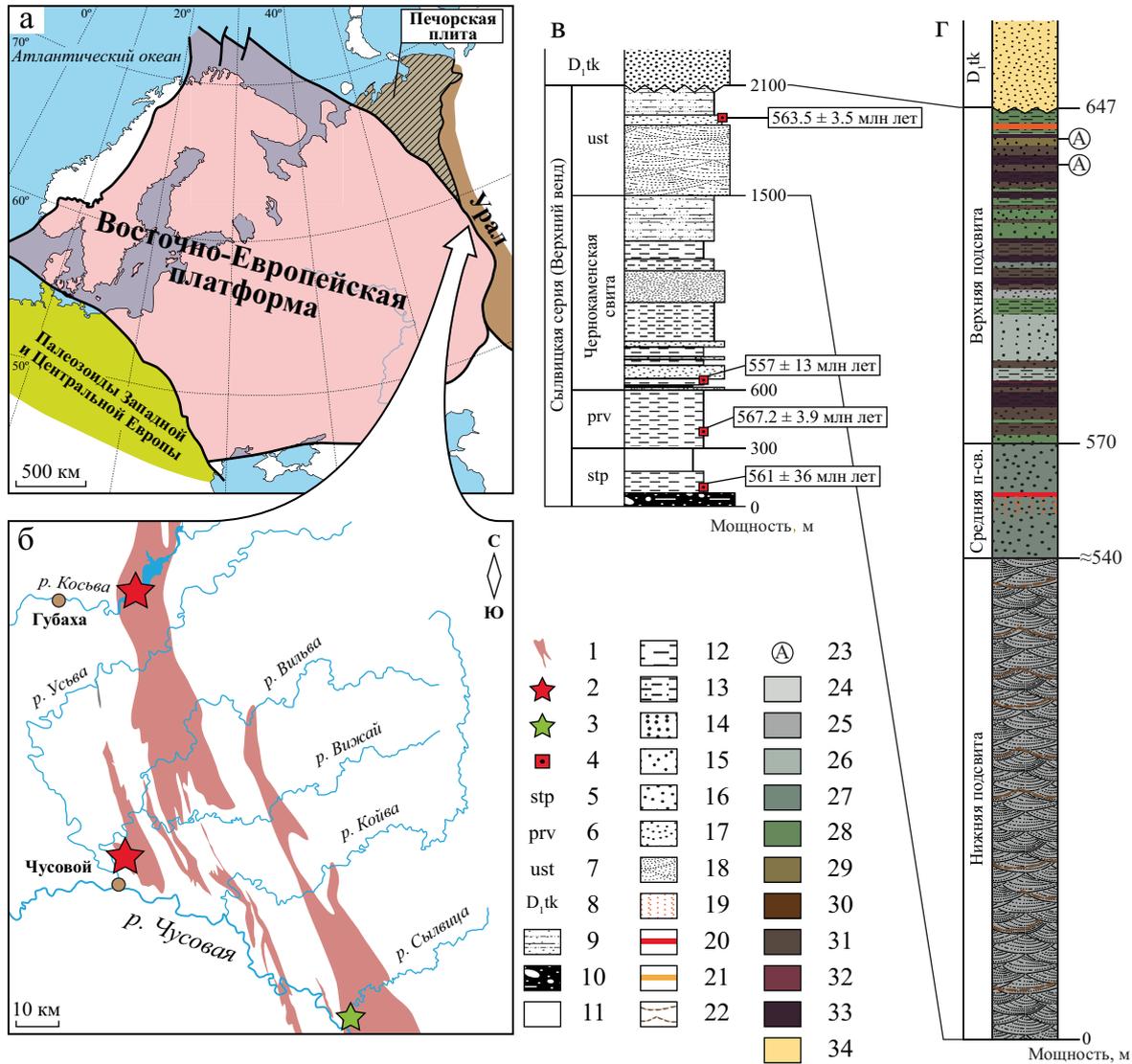


Рис. 1. Схема расположения выходов сыльвицкой серии верхнего венда на Среднем Урале (а, б), сводный разрез сыльвицкой серии (данные по старопечнинской, перевалокской и чернокаменной свитам взяты из работы (Маслов и др., 2018)) (в) и опорный разрез усть-сыльвицкой свиты, построенный по новым данным (г).

1 – выходы сыльвицкой серии на дневную поверхность; 2 – места проведения исследований на Широковском водохранилище и около г. Чусового (Пермский край); 3 – местонахождение стратотипа усть-сыльвицкой свиты по р. Чусовой рядом с устьем р. Сыльвица (Свердловская область); 4 – положение апопепловых глин, по которым ранее был получен U–Pb возраст циркона, в разрезе сыльвицкой серии; 5 – старопечнинская свита; 6 – перевалокская свита; 7 – усть-сыльвицкая свита; 8 – такатинская свита нижнего девона; 9 – чередующиеся аргиллиты, алевролиты и песчаники; 10 – диамиктиты; 11 – тонкослоистые аргиллиты; 12 – аргиллиты; 13 – алевролиты; 14 – гравелиты; 15 – среднезернистые песчаники; 16 – мелкозернистые песчаники; 17 – тонкозернистые песчаники; 18 – косослоистые песчаники; 19 – маркирующие слои песчаников с крупными зёрнами калиевых полевых шпатов; 20 – прослой апопепловых глин, обнаруженный около г. Чусового (Пермский край); 21 – прослой апопепловых глин, обнаруженный на Широковском водохранилище (Пермский край); 22 – аргиллитовая галька шоколадного цвета; 23 – арумбериморфные микробиально-индуцированные осадочные текстуры (*Arumberia*). Цвета пород на свежем сколе в обнажении: 24 – светло-серый, 25 – серый, 26 – зеленовато-серый, 27 – серо-зеленый, 28 – зеленый, 29 – буро-зеленый, 30 – коричневый, 31 – серо-коричневый, 32 – бордовый, 33 – шоколадный, 34 – желтый.

Fig. 1. Sketch-map of the Upper Vendian Sylvitsa Group deposits in the Central Urals (a, б), composite section of the Upper Vendian Sylvitsa Group (data on Staropechnyi, Perevalok and Chernyi Kamen formations are taken from (Maslov et al., 2018)) (в) and reference section of the Ust'-Sylvitsa Formation based on new data (r).

1 – outcrops of the Sylvitsa Group; 2 – sites of reconnaissance fieldwork at the Lake Shyrovskoy and Chusovoi City area (Perm Krai region of Russia); 3 – Ust'-Sylvitsa Formation stratotype section locality on the Chusovaya River near the mouth of the Sylvitsa River (Sverdlosk Oblast region of Russia); 4 – position of ash tuffs, from which U–Pb ages of zircon were obtained earlier,

in the Sylvytsa Group section; 5 – Staropechnyi Formation; 6 – Perevalok Formation; 7 – Ust'-Sylvytsa Formation; 8 – Takaty Formation; 9 – interbedded mudstone, siltstone and sandstone; 10 – diamictite; 11 – thin-laminated mudstone; 12 – mudstone; 13 – siltstone; 14 – gravelstone; 15 – medium-grained sandstone; 16 – fine-grained sandstone; 17 – fine-laminated fine-grained sandstone; 18 – cross-bedded sandstone; 19 – horizon marker sandstone with large feldspar clasts; 20 – volcanic tuff ash bed near Chusovoi City section (Perm Krai); 21 – volcanic tuff ash bed on Lake Shyrovskoy area (Perm Krai); 22 – chocolate-brown clay pebbles; 23 – arumberiamorph microbially-induced structures. Rock colours in the sections: 24 – lightgray; 25 – gray; 26 – greenish-gray; 27 – grayish-green; 28 – greenish; 29 – brown-green; 30 – brown; 31 – grayish-brown; 32 – dark-reddish; 33 – chocolate-brown; 34 – yellowish.

можно наблюдать в левом борту долины р. Усьвы в обнажении Красная Гора. Однако Д.В. Гражданкин с соавторами (2010) по результатам своих исследований сделали вывод, что разрез усть-сылвицкой свиты наилучшим образом обнажен в стратотипической местности, а среднезернистые светло-серые песчаники, выходящие на поверхность в долине р. Усьвы ниже по течению от о-ва Черемухового, которые Ю.Р. Беккер (1988) считал принадлежащими усть-сылвицкой свите, отнесены ими к чернокаменной свите. Указанные песчаники выделены Д.В. Гражданкиным с соавторами в черемуховскую, а пестроцветные отложения в скале Красная Гора – в крутихинскую подсвиту в составе чернокаменной свиты. Между тем авторы осторожно предположили, что одновозрастность усть-сылвицкой свиты и также выделенной ими кобылоостровской подсвиты чернокаменной свиты не исключена и такая корреляция требует дополнительных исследований (Гражданкин и др., 2010). Стоит также отметить, что какие-либо палеонтологические остатки в усть-сылвицкой свите предыдущими исследователями не обнаружены.

В 2024 г. нами проведены исследования усть-сылвицкой свиты в ее стратотипической местности в бассейне р. Чусовой в районе устья р. Сылвицы, а также севернее – по берегам Широковского водохранилища (среднее течение р. Косьва) и недалеко от г. Чусового в Пермском крае (рис. 2). В результате установлено, что разрез усть-сылвицкой свиты в районе Широковского водохранилища является наиболее полным и представительным. Мощность свиты в нем достигает 650 м. Данный разрез может быть принят в качестве составного гипостратотипа для этого местного стратиграфического подразделения.

ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Выходы усть-сылвицкой свиты изучены в серии протяженных обнажений (см. рис. 2б), расположенных в центральной и южной частях Широковского водохранилища по правому и левому его берегам, а также в обнажении (см. рис. 2в), вскрытом придорожной выемкой у г. Чусового по обочине трассы “Северный широтный коридор” № 57К-0001, примерно в 300 м от кругового движения по направлению в г. Губаха. В ходе изучения обнажений особое внимание уделено детализации взаимо-

отношения литотипов пород внутри свиты и подробно послойному описанию разрезов с учетом их геоструктурных особенностей. Микроскопическое изучение осадочных пород усть-сылвицкой свиты в тонких срезах и шлифах проведено с помощью оптического поляризационного микроскопа ЛОМО ПЛМ-2, оснащенного цифровой камерой, в Лаборатории стратиграфии верхнего докембрия ГИН РАН.

РЕЗУЛЬТАТЫ ПОЛЕВЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

Обнажение 1 (N 58°51'39", E 57°50'33") расположено на левом берегу Широковского водохранилища (бассейн р. Косьва, Пермский край) в заливе устья р. Мутная. Оно начинается с обнаруженных в осыпи светло-серых однородных без видимой слоистости гравелитов с ярко-рыжими зернами калиевых полевых шпатов. Протяженность осыпи 1.20–1.50 м. После продолжительного задернованного участка (500 м) выше по течению залегает монотонное переслаивание зеленых и шоколадных алевролитов и аргиллитов, которое перекрыто циклическим чередованием мелкозернистых песчаников, алевролитов и аргиллитов. По переслаиванию и циклическому чередованию пород, характерному для чернокаменной свиты, можно предположить, что указанные породы соответствуют верхней части чернокаменной свиты. Мощность этого интервала не установлена. Выше по разрезу отмечен коренной выход зеленых и шоколадных горизонтально-слоистых алевроаргиллитов (3.30 м). Далее вскрыты зеленые алевроаргиллиты с тонкими прослоями песчаников (1.56 м), на подошве которых обнаружены хорошо выраженные знаки волновой ряби (см. рис. 4в). Выше по разрезу залегают светло-серые с коричневыми прослоями средне- и мелкозернистые косо- и волнисто-слоистые песчаники (1.70 м) усть-сылвицкой свиты (рис. 3а–в). Завершает этот участок обн. 1 скальный выход зеленовато-серых горизонтально-, волнисто-слоистых алевролитов и шоколадных и зеленых аргиллитов. В виде тонких слоев в подчиненном количестве присутствуют крепкие темно-серые с коричневыми прослоями мелкозернистые горизонтально- и волнисто-слоистые песчаники. Мощность выхода 2.50 м. Далее, выше по разрезу, следует задернованный интервал протяженностью ≈150 м и осыпь из крупных обломков песчаников, аналогичных

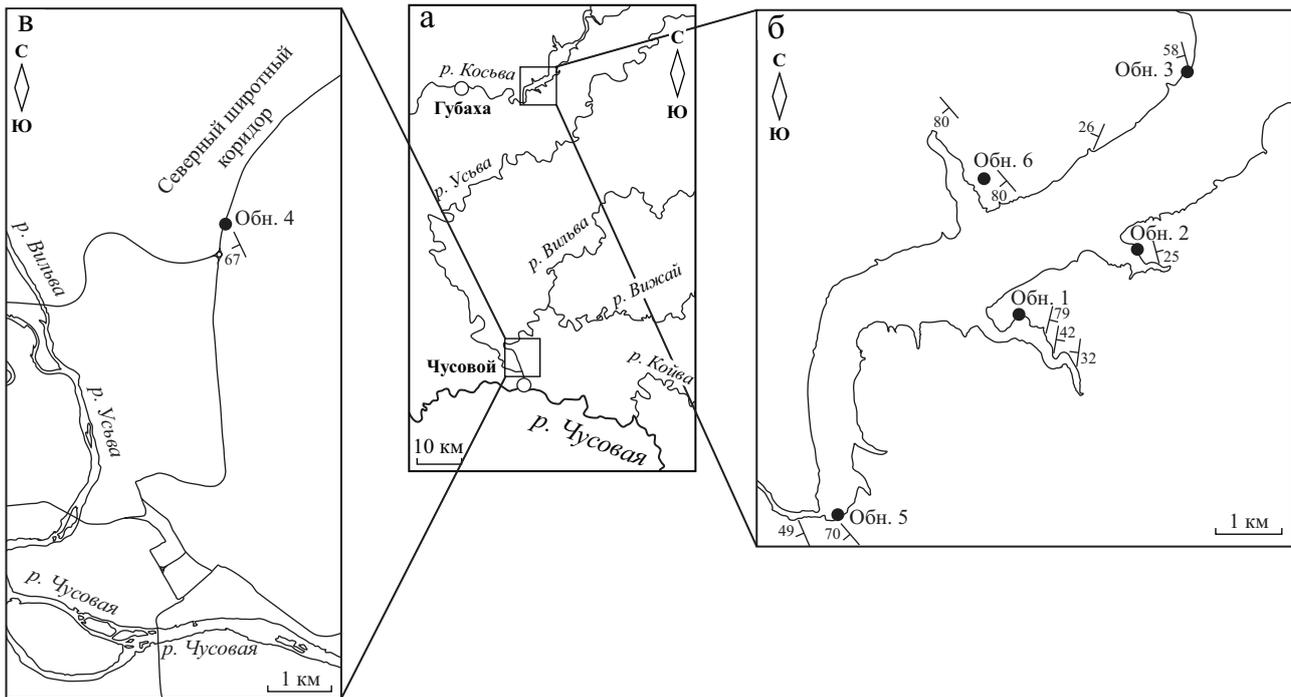


Рис. 2. Карта-схема расположения изученных обнажений усть-сылвицкой свиты в центральной части Кваркушко-Каменногогорского антиклинория.

а – общее расположение изученных объектов; б – обнажения по берегам Широковского водохранилища (среднее течение р. Косьва), Пермский край; в – обнажение около г. Чусового (Пермский край) по обочине трассы “Северный широтный коридор” № 57К-0001, примерно в 300 м от кругового движения в сторону г. Губаха.

Fig. 2. Sketch-map of location of the studied outcrops of the Ust'-Sylvitsa Formation in the central part of the Kvarkush-Kamennogorsk Anticlinorium.

а – general location of the studied outcrops; б – outcrops along the coastline of the Lake Shirokovskoye (middle reach of the Kos'va River), Perm Krai; в – outcrop near Chusovoi City (Perm Krai) along the roadside of “Severnyi Shyrotnyi Koridor Highway” No. 57K-0001, approximately 300 m from the roundabout towards the city of Gubakha.

предыдущим. После закрытого интервала обнажены светло-серые с коричневыми прослоями средне- и мелкозернистые косо- и волнисто-слоистые песчаники, мощность которых составляет до 4.50 м.

Обнажение 2 (N 58°52'10", E 57°52'22") расположено на левом берегу Широковского водохранилища в заливе устья р. Верхняя Мутная. Здесь на протяжении 170–200 м вскрыта монотонная толща тонкоплитчатых серо-коричневых алевролитов и аргиллитов (65 м). Выше залегает чередование тонкоплитчатых серо-коричневых алевроаргиллитов и серо-зеленых тонкозернистых без видимой слоистости песчаников. Мощность прослоев песчаников ≈0.20–0.30 м, мощность прослоев алевролитов и аргиллитов ≈0.50 м. Общая мощность чередования пород составляет 5 м. По нашему предположению, эта часть обнажения также отвечает верхней части чернокаменской свиты.

Выше по разрезу в обн. 2 находится относительно протяженная (30 м) осыпь, состоящая из мощных серых среднезернистых косослоистых песчаников с плоской шоколадной аргиллитовой галь-

кой и знаками волновой ряби на поверхности напластования. Далее отмечено появление в этой осыпи серых мелкозернистых массивного облика без видимой слоистости песчаников. В лесном массиве выходят на поверхность вышеупомянутые без видимой слоистости песчаники (≈2 м). В осыпи происходит смена пород: можно наблюдать серо-зеленые крупнозернистые волнисто- и косослоистые песчаники с ярко-рыжими зернами калиевых полевых шпатов и плоскими шоколадными аргиллитовыми гальками, которые подчеркивают косую слоистость (рис. 3г). После непродолжительной задержки разреза (≈150 м) встречены различные по размеру зерен и текстурам песчаники (10.9 м). В основании этого интервала залегают серо-зеленые мелкозернистые горизонтально-, волнисто- и косослоистые песчаники, в которых встречена шоколадная аргиллитовая галька. На поверхностях напластования песчаников обнаружены знаки волновой ряби, многочисленные эрозионные текстуры размыва и их слепки (flute-casts) (рис. 4г). Эти песчаники перекрыты более грубозернистыми пес-

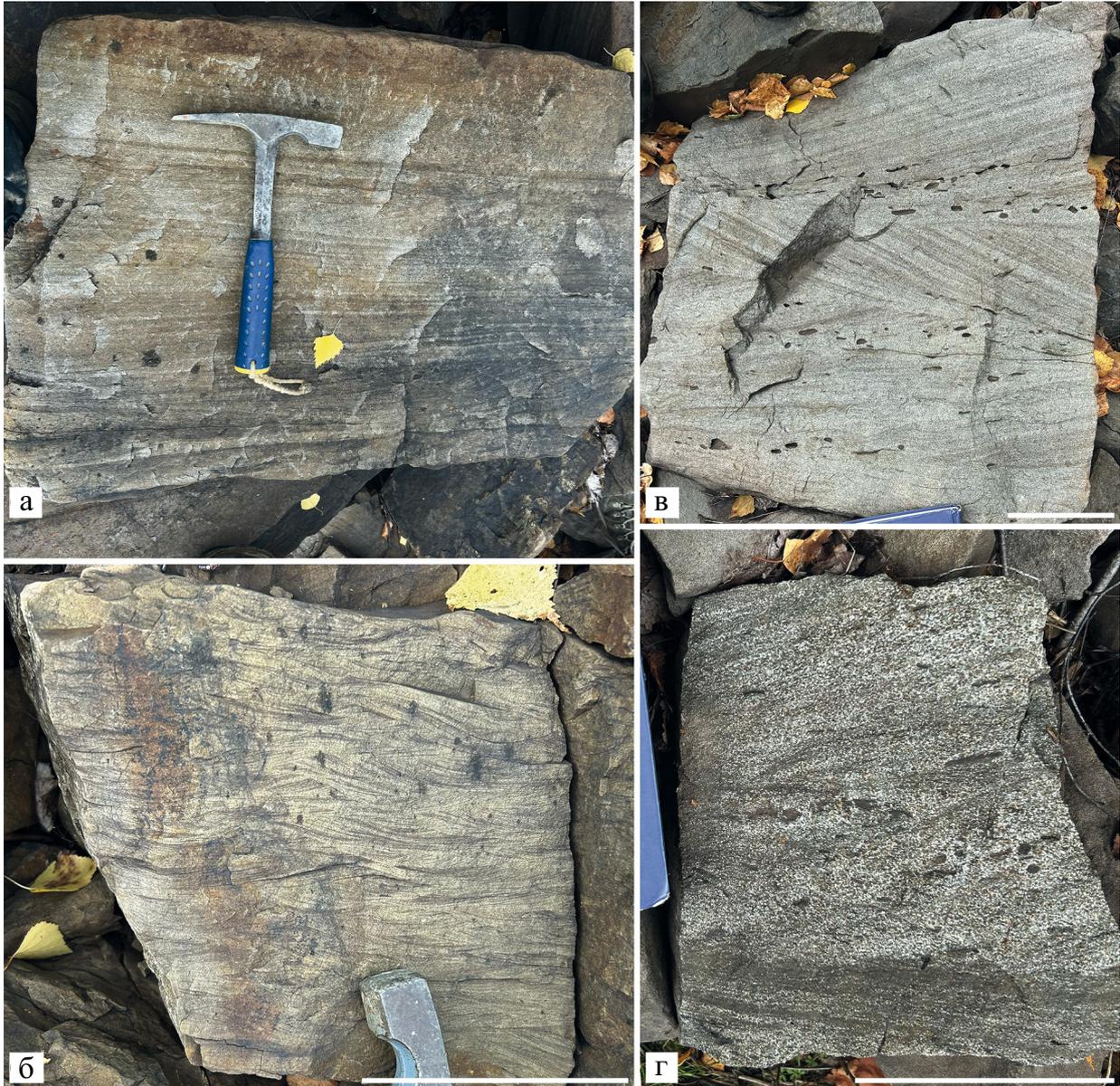


Рис. 3. Примеры слоистости в песчаниках нижней подсвиты усть-сылвицкой свиты.

а – горизонтальная; б – мелкая косая; в – крупная косая (fish-bone); г – косая слоистость в гравелитах с зернами калиевых полевых шпатов, подчеркнутая скоплениями шоколадно-коричневых аргиллитовых галек. Длина масштабной линейки – 10 см.

Fig. 3. Examples of sandstone bedding in the Lower Member of the Ust'-Sylvitsa Formation.

а – horizontal; б – cross-bedded small; в – cross-bedded large (fish-bone); г – cross-bedded gravelstone with feldspar clasts marked by cluster of chocolate-brown clay pebbles. Scale bars are 10 cm.

чаниками, но с таким же типом слоистости. Верхний пласт сероцветных песчаников отличен от нижележащих хорошо выраженными косыми сериями, подчеркнутыми тонкими слоями коричневых горизонтально- и волнисто-слоистых аргиллитов. На поверхности напластования песчаников также встречены слепки эрозионных текстур размыва осадка. В конце обнажения находится осыпь,

состоящая из обломков серых мелкозернистых песчаников.

Обнажение 3 (N 58°53'34", E 57°53'03") расположено на правом берегу Широковского водохранилища. Начало обнажения находится приблизительно в 350 м на восток от туристической базы Кизеловского металлургического комбината, а конец – вблизи его заброшенной водонапорной

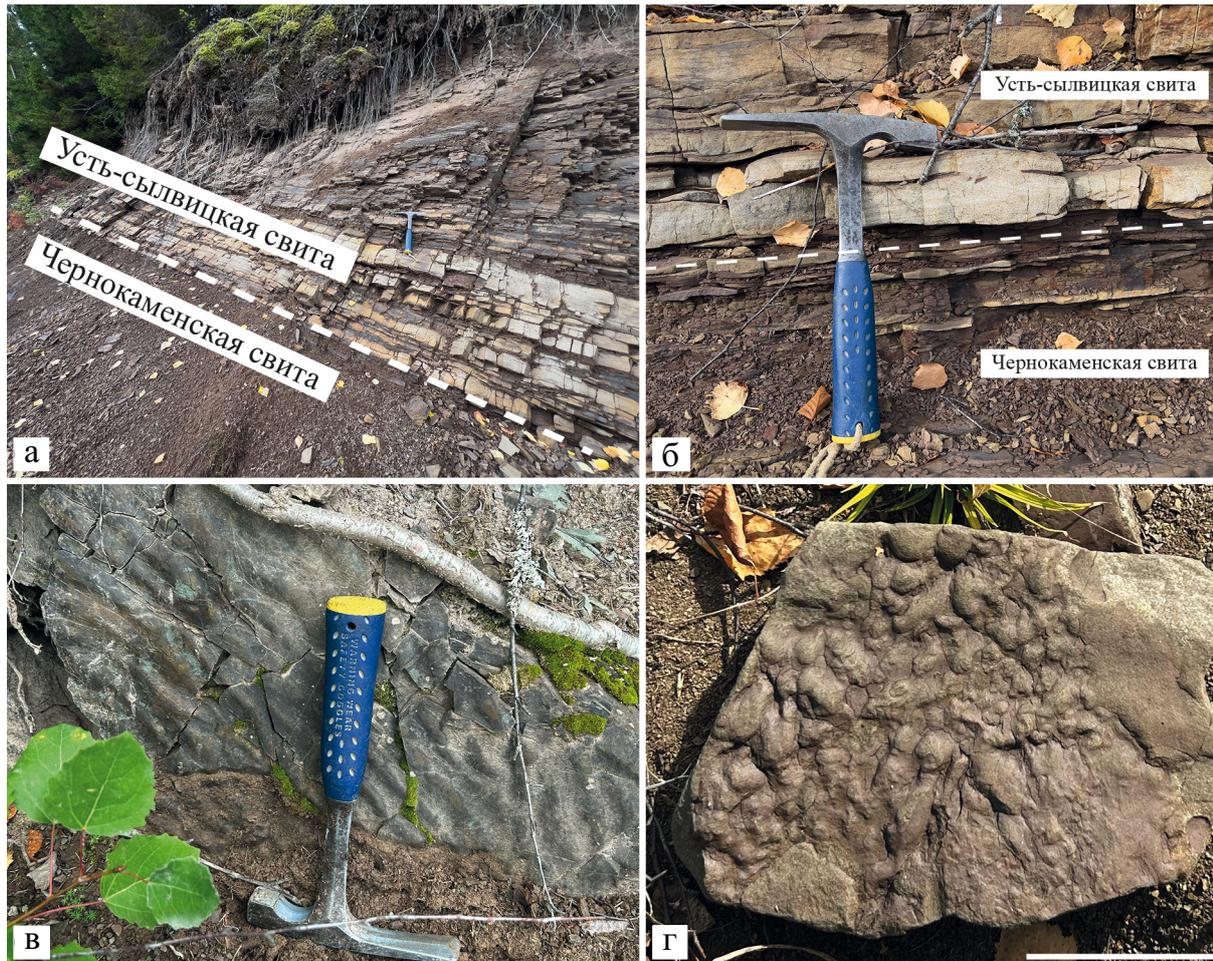


Рис. 4. Полевые фотографии нижней подсвиты усть-сылвицкой свиты.

а, б – общий вид обнаж. 3, контакт усть-сылвицкой (нижняя подсвита) и чернокаменской свит; в – знаки волновой ряби в серо-зеленых песчаниках; г – слепки текстур размыва на подошвах серо-коричневых песчаников. Длина масштабной линейки – 10 см.

Fig. 4. Field photographs of Lower Member of Ust'-Sylvitsa Formation.

а, б – general view of Outcrop 3, contact of the Ust'-Sylvitsa Formation (Lower Member) and Chernyi Kamen Formation; в – wave ripple marks in grayish-green sandstone; г – flute-casts on the lower surface of grayish-brown sandstone. Scale bars are 10 cm.

станции. В нем вскрыты породы чернокаменской и усть-сылвицкой свит, а также четко выражен их контакт (см. рис. 4а, б). В чернокаменской свите выделены пачки шоколадных и зеленых горизонтально- и волнисто-слоистых аргиллитов, причем установлено, что в начале обнажения шоколадные аргиллиты сильно преобладают над зелеными (28.70 м), далее происходит увеличение количества прослоев аргиллитов зеленого цвета (11.20 м), а затем зеленоцветные аргиллиты начинают доминировать над шоколадными. Между тем отмечено постепенное увеличение количества алевролитов в разрезе и наличие тонких прослоев аргиллитов (7.70 м). Верхняя часть этой толщи сложена зеленоцветными косо-, волнисто- и горизонтально-слоистыми алевролитами, шоколадных аргиллитов

практически не встречено (10.50 м). Завершает указанную последовательность пласт зеленых с косыми сериями горизонтально- и волнисто-слоистых аргиллитов (2.40 м).

Далее по разрезу после указанных выходов пород чернокаменской свиты расположен закрытый интервал (≈ 300 м), по всей протяженности которого можно видеть обломки алевролитов и аргиллитов, а также песчаников, которые залегают после прохождения на юго-запад туристической базы Кизеловского комбината. После закрытого интервала (≈ 300 м) залегают зеленые мелкозернистые волнисто- и косослоистые песчаники (15 м). Выше по разрезу присутствует пачка тонкого переслаивания зеленых с шоколадными горизонтально-, волнисто- и косослоистых алевроаргиллитов (18.26 м).

По кровле этой пачки переслаивания нами проведен согласный контакт чернокаменной и усть-сылвицкой свит. Основание усть-сылвицкой свиты сложено буро-зелеными средне- и мелкозернистыми волнисто-, горизонтально-, косослоистыми песчаниками (3 м). На поверхности песчаников встречены знаки волновой ряби, слепки эрозионных текстур размыва и шоколадная аргиллитовая галька. На протяжении длительного интервала (около 900 м вдоль берега), практически до заброшенной водонапорной станции, усть-сылвицкая свита сложена продолжительными скальными выходами серо-буро-зеленых, серых мелкозернистых с хорошей крупной косою слоистостью песчаников и серо-зеленых алевроаргиллитов. Также для песчаников этого фрагмента обнажения весьма характерны многочисленные аргиллитовые гальки шоколадного цвета. Помимо мелкозернистых песчаников, встречены и более грубозернистые (средне- и крупнозернистые) буро-зеленые без видимой слоистости песчаники, которые переходят в косослоистые. На подошве песчаников отмечено наличие слепков знаков волновой ряби и текстур размыва. Этот фрагмент обнажения завершен слоем (1 м) серо-зеленых мелкозернистых косослоистых песчаников.

Выше по разрезу после непродолжительной задерновки (150 м) обнажены серые мелкозернистые песчаники, переходящие в ритмичное чередование песчаников, алевролитов и аргиллитов. Далее залегает пачка тонкого переслаивания зеленых и шоколадных волнисто- и косослоистых алевролитов и аргиллитов. Эту часть разреза мы также относим к чернокаменной свите.

Обнажение 4 (N 58°20'28", E 57°49'47") (рис. 5а) расположено недалеко от г. Чусового (Пермский край) в придорожной выемке по обочине трассы "Северный широтный коридор" № 57К-0001 примерно в 300 м от кругового движения в сторону г. Губаха. В основании разреза залегает тонкое переслаивание (≈30 м) серо-коричневых алевролитов и аргиллитов. Это переслаивание перекрывают серо-зеленые мелкозернистые без видимой слоистости песчаники (10 м). На них залегают серо-зеленые тонкозернистые без видимой слоистости песчаники (0.40 м) с ярко-рыжими зернами калиевых полевых шпатов, которые имеют тонкую ровную горизонтальную ориентировку. На указанных песчаниках залегает пластичный прослой апопепловых глин белого цвета (рис. 5б) мощностью 0.2 м, ранее обнаруженный Н.Б. Кузнецовым с соавторами (2017), из которого был получен U-Rb-изотопный возраст циркона 563 ± 3.5 млн лет. Верхняя часть обнажения сложена серо-зелеными и буро-зелеными мелкозернистыми без видимой слоистости песчаниками (19.20 м). На подошвах песчаников расположены слепки многочисленных и разнообразных эрозионных текстур размыва (рис. 5в, г).

Обнажение 5 (N 58°50'02", E 57°47'44") расположено на левом берегу в южной части Широковского водохранилища, приблизительно в 150 м выше Широковской ГЭС. Здесь в скальных выходах на протяжении 150–170 м обнажены различные по своему строению пачки переслаивания алевролитов, аргиллитов и песчаников (рис. 6а).

В основании разреза вскрыта пачка 1, состоящая из следующей последовательности пород: слой зеленых без видимой слоистости и с горизонтальной слоистостью алевропесчаников, на поверхностях напластования которых встречены микробияльные текстуры типа *Arumberia* (см. рис. 6в); слой чередования серо-коричневых мелкозернистых с волнистой и косою слоистостью песчаников и серо-коричневых горизонтально- и волнисто-слоистых алевролитов и шоколадных аргиллитов. На кровле песчаников присутствуют слепки мелкомасштабных эрозионных текстур (см. рис. 6д). Завершают этот слой зеленые косо-, горизонтально- и волнисто-слоистые мелкозернистые песчаники. Далее залегают зеленовато-серо-коричневые мелкозернистые без видимой слоистости песчаники и шоколадные горизонтально- и волнисто-слоистые алевроаргиллиты. Эти породы перекрываются переслаиванием серо-коричневых мелкозернистых без видимой слоистости песчаников, вишнево-коричневых с горизонтальной слоистостью алевролитов и шоколадных аргиллитов и зеленовато-серых и шоколадных с горизонтальной слоистостью алевроаргиллитов, на поверхностях напластования которых встречены арумбериоморфные текстуры. Завершают эту последовательность серо-коричневые тонкозернистые волнисто- и косослоистые песчаники и более грубозернистые серо-коричневые их разновидности, между которыми залегают шоколадные аргиллиты. Мощность пачки 1–7.05 м.

После небольшой задерновки (≈15–20 м) на берегу водохранилища обнажена пачка 2, состоящая из трех слоев: 1) чередования светло-серых тонко- и среднезернистых волнисто- и косослоистых песчаников; 2) серо-зеленых алевроаргиллитов и темно-серых зеленоватых мелкозернистых без видимой слоистости песчаников; 3) светлых серо-зеленых тонкозернистых с горизонтальной и косою слоистостью песчаников. В слое 3 присутствуют песчаники коричневого цвета с горизонтальной слоистостью. Мощность пачки 2–8.75 м.

Пачка 3 объединяет чередование алевролитов и аргиллитов серо-зеленого цвета (5.62 м). Выше этой пачки залегает пачка 4, сложенная разнозернистыми зеленовато-серыми песчаниками: от тонкозернистых до среднезернистых без видимой слоистости и с горизонтальной слоистостью; зелеными с горизонтальной слоистостью алевроаргиллитами; серыми тонкозернистыми без видимой слоистости песчаниками; серо-коричневыми с горизонтальной слоистостью алевролитами и шоколадными аргил-

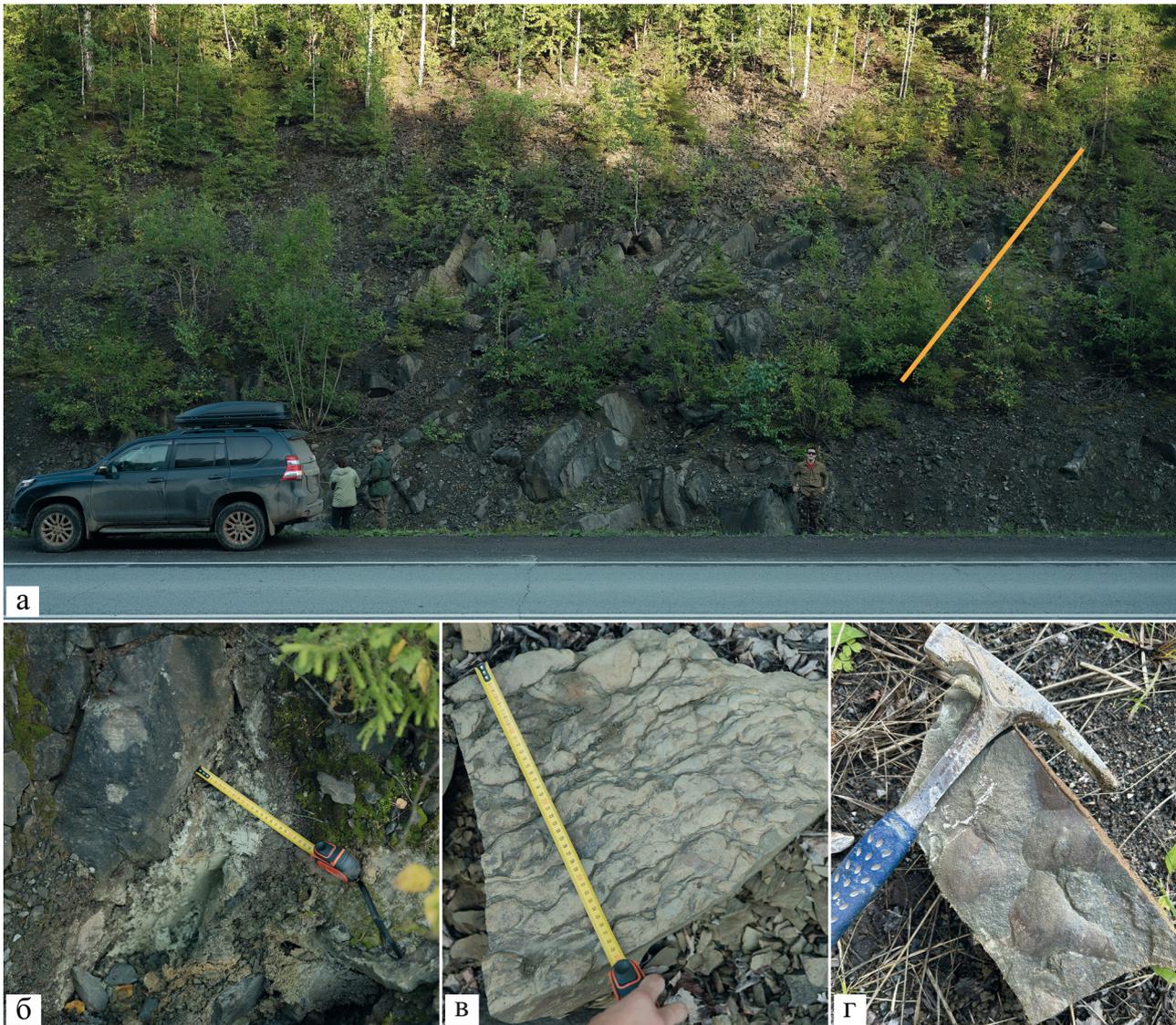


Рис. 5. Полевые фотографии средней подсвиты усть-сылвицкой свиты.

а – общий вид обн. 4, средняя подсвита усть-сылвицкой свиты, недалеко от г. Чусового (оранжевой линией показаны апопелловые глины); б – прослой апопелловых глин, из которых получен U–Pb-возраст циркона 563 ± 3.5 млн лет (Кузнецов и др., 2017); в, г – слепки разнообразных текстур размыва на подошвах песчаников средней подсвиты.

Fig. 5. Field photographs of Middle Member of Ust'-Sylvitsa Formation.

а – general view of Outcrop 4, Middle Member of the Ust'-Sylvitsa Formation near the Chusovoi City (orange line marks apoclay ash bed); б – apoclay ash bed from which U-Pb zircon age 563 ± 3.5 was obtained (Kuznetsov et al., 2017); в, г – various flute-casts on the lower surfaces of sandstones of the Middle Member.

литами с прослоем серо-зеленых мелкозернистых массивных песчаников (0.10 м); зелеными (тонко-), мелко- и среднезернистыми без видимой слоистости песчаниками. Мощность пачки 4–13.19 м. Пачка 4 перекрыта пачкой 5 (4.64 м), которая сложена чередованием серо-коричневых алевролитов и шоколадных аргиллитов.

Выше по разрезу в основании пачки 6 залегают более мощные зеленые мелкозернистые волнисто-, косослоистые песчаники с прослоями серо-корич-

невых тонкозернистых песчаников. Эти песчаники переходят в чередование серо-коричневых тонкозернистых косо- и волнисто-слоистых песчаников, зеленых алевролитов и шоколадных аргиллитов. Эта последовательность перекрыта переслаиванием серо-коричневых мелкозернистых без видимой слоистости песчаников и шоколадных с горизонтальной слоистостью алевроаргиллитов. На поверхности напластования алевроаргиллитов встречаются микробияльные текстуры типа *Arumberia*.

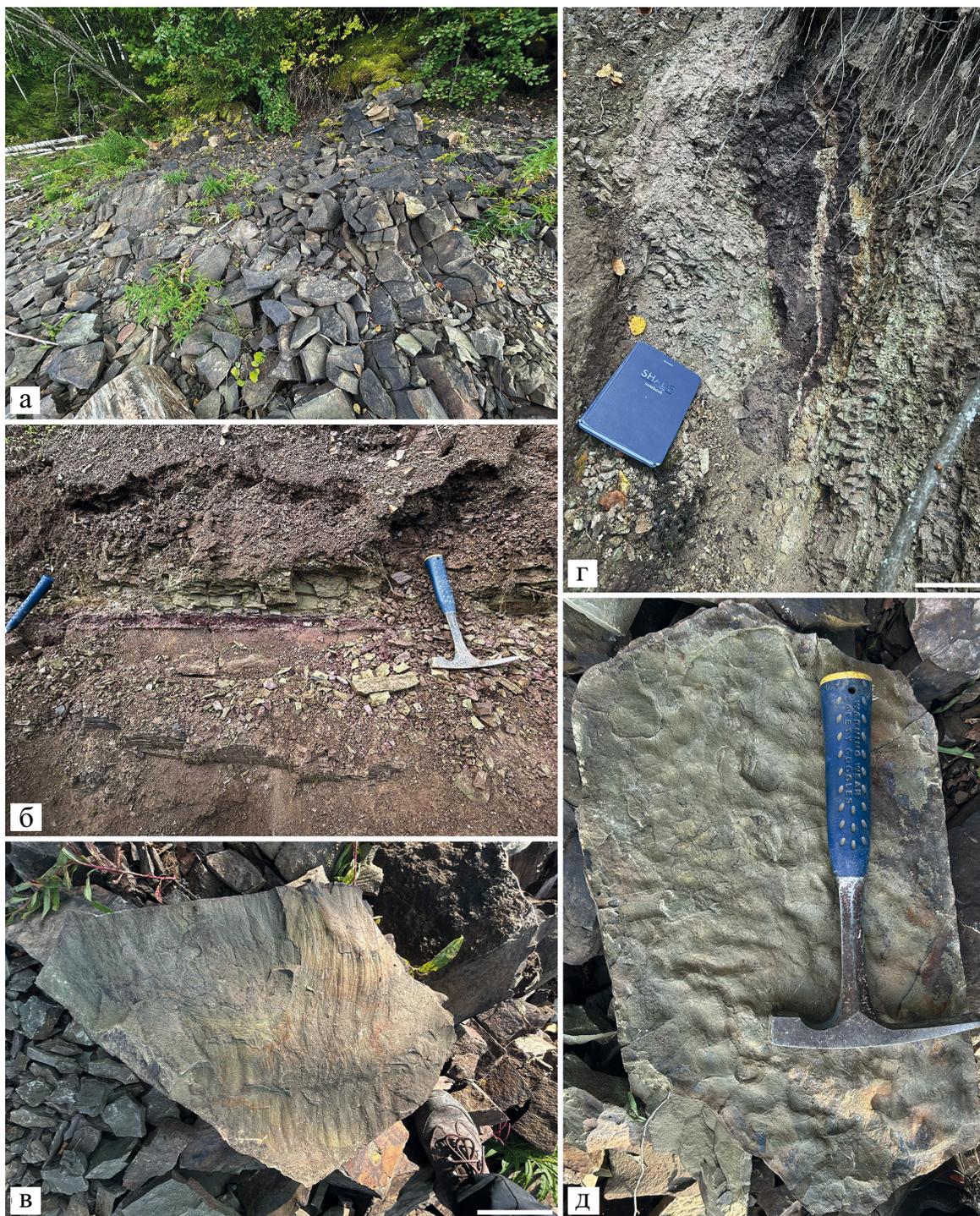


Рис. 6. Полевые фотографии верхней подсвиты усть-сылвицкой свиты.

а – общий вид начала обн. 5, верхняя подсвита усть-сылвицкой свиты; б – прослой апопепловых глин с аномальной окраской из верхней части обн. 5; в – арумбериеморфные микробально-индуцированные осадочные текстуры (*Arumberia*) из верхней части верхней подсвиты; г – прослой апопепловых глин с аномальной окраской, обнаруженный в верхней части разреза, обн. 6; д – знаки волновой ряби на кровле песчаников из верхней подсвиты. Длина масштабной линейки – 10 см.

Fig. 6. Field photographs of Upper Member of Ust'-Sylvitsa Formation.

а – general view of Outcrop 5, Upper Member of the Ust'-Sylvitsa Formation; б – ash tuff bed with anomalous colouring from the upper part of the Outcrop 5; в – arumberiamorph microbially-induced sedimentary structure; г – ash tuff bed with anomalous colouring from the upper part the Upper Member in the Outcrop 6; д – wave ripple marks on the upper surface of sandstone from the Upper Member. Scale bars are 10 cm.

Выше залегают два маломощных прослоя: 1) серо-коричневых мелкозернистых косо- и волнисто-слоистых песчаников (0.72 м) и 2) серо-коричневых средне- и мелкозернистых косо-, горизонтально- и волнисто-слоистых песчаников (0.86 м). Общая мощность пачки 9.89 м.

После непродолжительной задерновки (≈ 15 м) залегают пачка 7, сложенная чередованием разнозернистых песчаников: коричневых тонкозернистых, светлых серо-зеленых мелкозернистых, серо-зелено-коричневых среднезернистых. На поверхности песчаников отмечено наличие слепков знаков волновой ряби. Мощность пачки 9.56 м.

На этой пачке залегают последовательность (пачка 8), представленная преимущественно шоколадными аргиллитами и серо-коричневыми, зелеными, шоколадными ровно- и волнисто-слоистыми алевролитами. В этой последовательности в подчиненном количестве находится чередование разнообразных песчаников: серо-коричневых тонкозернистых горизонтально-, волнисто- и косослоистых со слепками знаков волновой ряби на кровле; серо-зеленых мелкозернистых косослоистых; серо-зеленых мелкозернистых без видимой слоистости; коричневых тонкозернистых с горизонтальной слоистостью. Мощность данной пачки 8.71 м.

Завершается разрез, после задерновки (≈ 350 м), последовательностью (пачка 9, мощность 10 м), состоящей из чередования зеленых и шоколадных аргиллитов, буро-зеленых мелкозернистых песчаников, прослоя апопепловых глин с аномальной окраской, от белесой до вишневой (см. рис. 6б), зеленых аргиллитов. Усть-сылвицкая свита в пачке 9 перекрыта с угловым несогласием породами нижнего девона – светлыми желтоватыми крупнозернистыми песчаниками такатинской свиты.

Обнажение 6 (N 58°52'43", E 57°49'59") расположено вдоль дороги пос. Широковский – пос. Кучек, примерно в 300 м на север от базы отдыха “Уральский букет”. В основании разреза расположен слой серо-зеленых, коричневых мелко- и тонкозернистых без видимой слоистости горизонтально-, косослоистых песчаников (2 м). На песчаниках залегают пачка (30 м) переслаивания шоколадных алевролитов и аргиллитов. В этой пачке на поверхностях напластования встречены многочисленные микробиальные текстуры типа *Arumberia*. В верхней части указанной пачки обнаружен прослой апопепловых глин аномально белого цвета мощностью 4–5 см (см. рис. 6г).

ЛИТОЛОГИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА И СТРАТИГРАФИЧЕСКОЕ РАСЧЛЕНЕНИЕ УСТЬ-СЫЛВИЦКОЙ СВИТЫ

В связи с тем, что степень изученности разрезов местных стратиграфических подразделений имеет важное значение при подготовке региональ-

ных стратиграфических схем, а также является источником фактического материала при тектонических, палеогеографических и других построениях в регионе, необходимость всестороннего изучения и стратиграфического расчленения этих разрезов вполне очевидна. В ходе полевых исследований разрезов сылвицкой серии в центральной части Кваркушско-Каменногорского антиклинория установлено, что в усть-сылвицкой свите по определенным характеристикам может быть выделено три подсвиты: нижняя, средняя и верхняя. В качестве составного гипостратотипа свиты мы предлагаем представительные, хорошо обнаженные и легкодоступные разрезы по берегам средней и южной частей Широковского водохранилища и по автобусной трассе “Северный широтный коридор” № 57К-0001 по правой стороне в 300 м севернее от кругового движения в сторону г. Губаха.

Нижняя подсвита

Нижняя подсвита наилучшим образом представлена в обн. 1–3, расположенных по правому и левому берегам Широковского водохранилища (см. рис. 2б, 3, 4, 7). В обн. 3 обнаружен непосредственный контакт усть-сылвицкой свиты с ниже лежащей чернокаменной свитой (см. рис. 4а, б), в то время как в обн. 1 и 2 границу между свитами можно провести условно по появлению в основании усть-сылвицкой свиты серых средне- и мелкозернистых волнисто- и косослоистых песчаников. В целом нижняя подсвита усть-сылвицкой свиты охарактеризована наличием буроватых, серых, серо-зеленых песчаников с крупной мультобразной многоэтажной косо-, горизонтальной, а также волнистой слоистостью (см. рис. 3а–в). Слоистость часто подчеркнута скоплениями плоских аргиллитовых галек шоколадного цвета. В качестве еще одного характерного признака выступают тонкие прослои мелкозернистых песчаников коричневого цвета. На верхних поверхностях напластования песчаников широко распространены знаки волновой ряби (см. рис. 3в), в то время как на подошвах часто расположены слепки эрозионных текстур размыва (*flute casts*) (см. рис. 3г). Мощность нижней подсвиты усть-сылвицкой свиты оценена нами примерно в 540 м.

При петрографическом изучении осадочных пород нижней подсвиты усть-сылвицкой свиты в шлифах выявлены следующие литотипы: алевропесчаники (рис. 8а, б), алевролиты (рис. 8в, г), песчаники мелкозернистые (рис. 8д, е), песчаники среднезернистые (рис. 8ж, з), гравелиты (рис. 8и, к).

Алевропесчаники при параллельных никелях бесцветные, бежевые, светло-коричневые (см. рис. 8а). Структура породы обломочная (мелко- и крупноалевритовая, мелкопсаммитовая), зерна угловатые, слабо- и полуокатанные, сортировка хо-

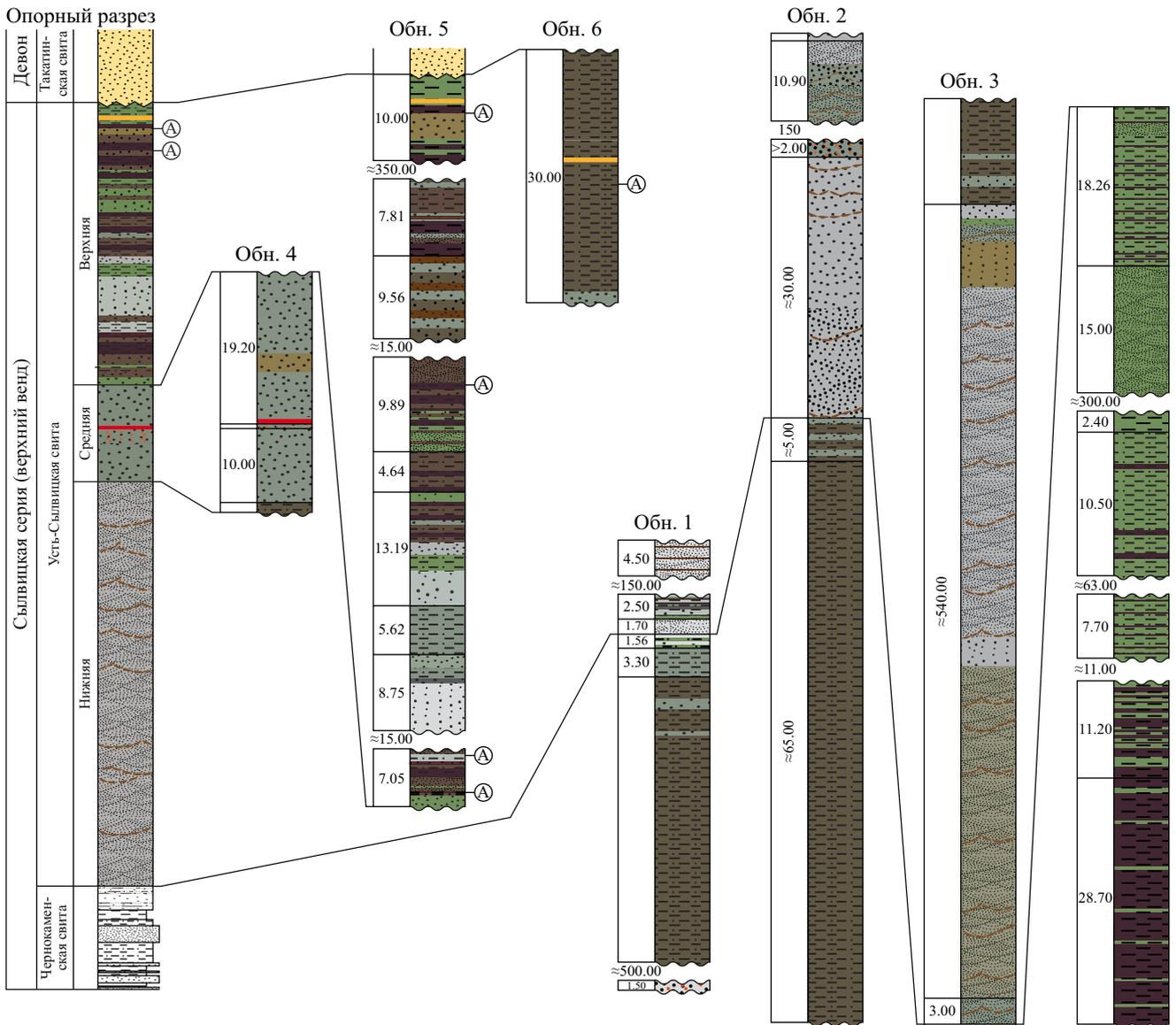


Рис. 7. Опорный разрез усть-сылвицкой свиты сылвицкой серии верхнего венда Среднего Урала в центральной части Кваркушко-Каменногорского антиклинория и литостратиграфическая корреляция изученных обнажений.

Условные обозначения – см. рис. 1.

Fig. 7. Reference section of the Upper Vendian Ust'-Sylvitsa Formation of the Central Urals in the central part of Kvarkush-Kamennogorsk Anticlinorium.

Legend – see Fig. 1.

рошая, зерна изометричные и удлиненные, границы между зернами линейные, конформные, инкорпорационные, цемент пленочный. Текстуры особенностей не обнаружено: порода выглядит однородной, не слоистой. В основной массе преобладают полевые шпаты (48–50%), представленные плагиоклазом и микроклином. Примерно столько же в породе кварца (47–48%). Обломки пород составляют около 2–3%. Зерна плагиоклазов имеют как ха-

рактерное полисинтетическое двойникование, так и серые интерференционные окраски. В полисинтетических двойниках есть серицитовые изменения. Для микроклина характерно решетчатое двойникование. Размер зерен полевых шпатов 0.08–0.12 мм. Размер зерен кварца 0.04–0.16 мм. Обломки пород в алевропесчаниках представлены единичными кварцевыми и глинистыми фрагментами. Присутствуют многочисленные зерна циркона,

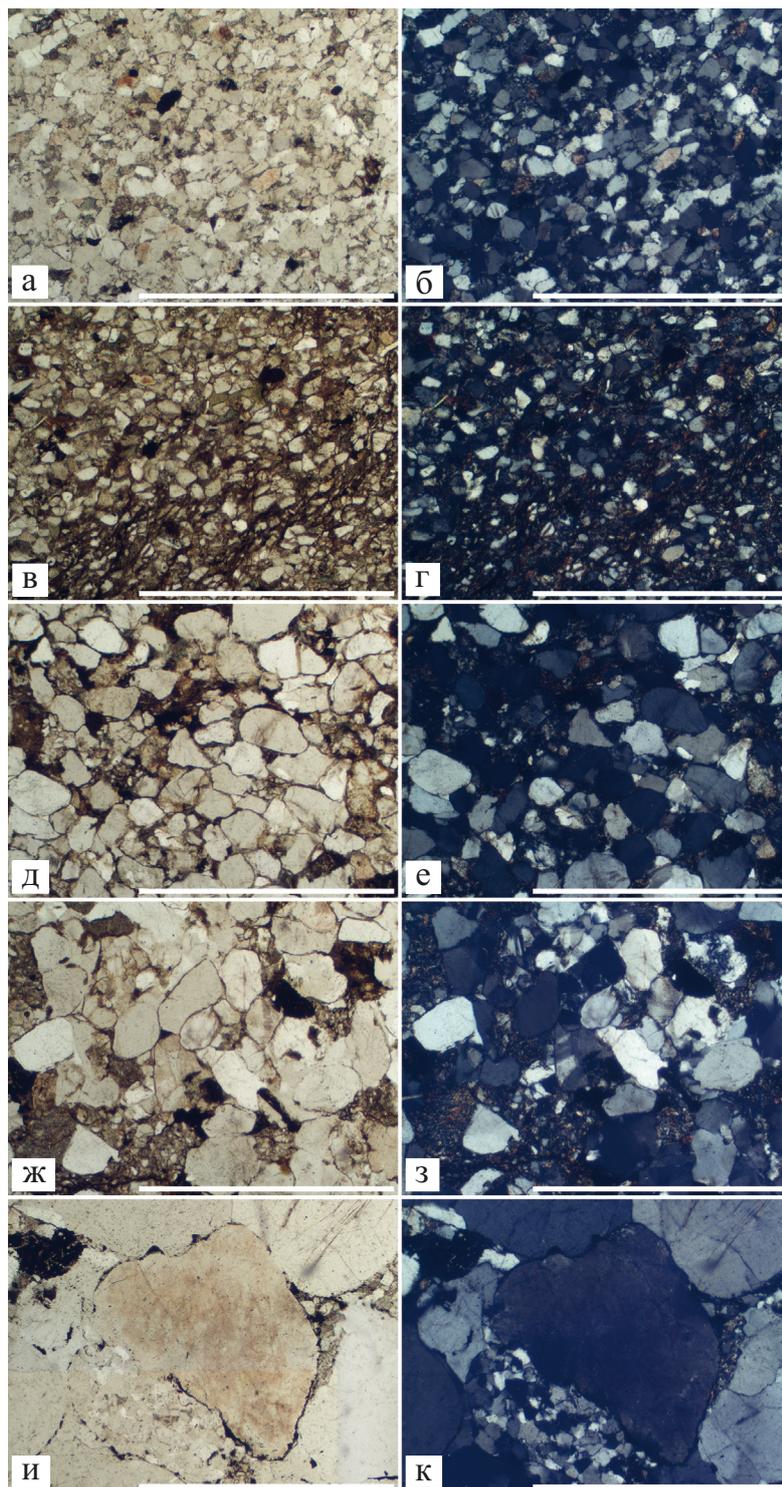


Рис. 8. Основные литотипы пород нижней подсветы усть-сылвицкой свиты (а, в, д, ж, и – при параллельных николях; б, г, е, з, к – при скрещенных николях).

а, б – алевропесчаники; в, г – алевролиты; д, е – песчаники мелкозернистые; ж, з – песчаники среднезернистые; и, к – гравелиты. Длина масштабной линейки – 1 мм.

Fig. 8. Main rock lithotypes in the Lower Member of the Ust'-Sylvitsa Formation (а, в, д, ж, и – plane polarised light; б, г, е, з, к – crossed polarised light).

а, б – silty sandstone; в, г – siltstone; д, е – fine-grained sandstone; ж, з – medium-grained sandstone; и, к – gravelstone. Scale bars are 100 mm.

отмечено наличие глауконита и встречены тонкие пластинки слюды. Пленочный цемент – глинистый хлоритовый. В алевропесчаниках также обнаружено малое содержание карбонатного цемента. По классификации В.Д. Шутова (1967), это собственно аркозы (рис. 9).

Алевриты при параллельных николях коричневые, до темно-коричневых (рис. 8в). Структура породы обломочная (крупноалевритовая, мелкопсаммитовая), зерна угловатые, неокатанные, слабоокатанные, сортировка средняя, зерна изометричные, удлинённых довольно мало, границы между зёрнами точечные, выпукло-вогнутые, линейные, цемент пленочный. В текстуре породы заметна косая ориентировка зёрен, отмечено чередование прослоев разного состава и состоящих из зёрен разного размера. Обломочная фракция сложена

кварцем (50%) и полевыми шпатами (45%), содержание обломков пород не превышает 5%. Размер зёрен кварца 0.05–0.09 мм. Полевые шпаты представлены плагиоклазом с характерными полисинтетическими двойниками и серой интерференционной окраской, размер зёрен 0.06–0.12 мм. Немногочисленные обломки пород по составу представлены фрагментами глинистых пород. В литотипе встречены пластинки мусковита (0.10–0.13 мм) и изменённого биотита (0.09–0.12 мм). В образце хлорит встречается как в виде отдельных зёрен, так и в составе цемента. Пленочный цемент глинистый хлоритовый.

Песчаники мелкозернистые при параллельных николях бежевые, светло-коричневые (см. рис. 8д). Структура их обломочная (мелкопсаммитовая), зерна в основном изометричные, полуока-

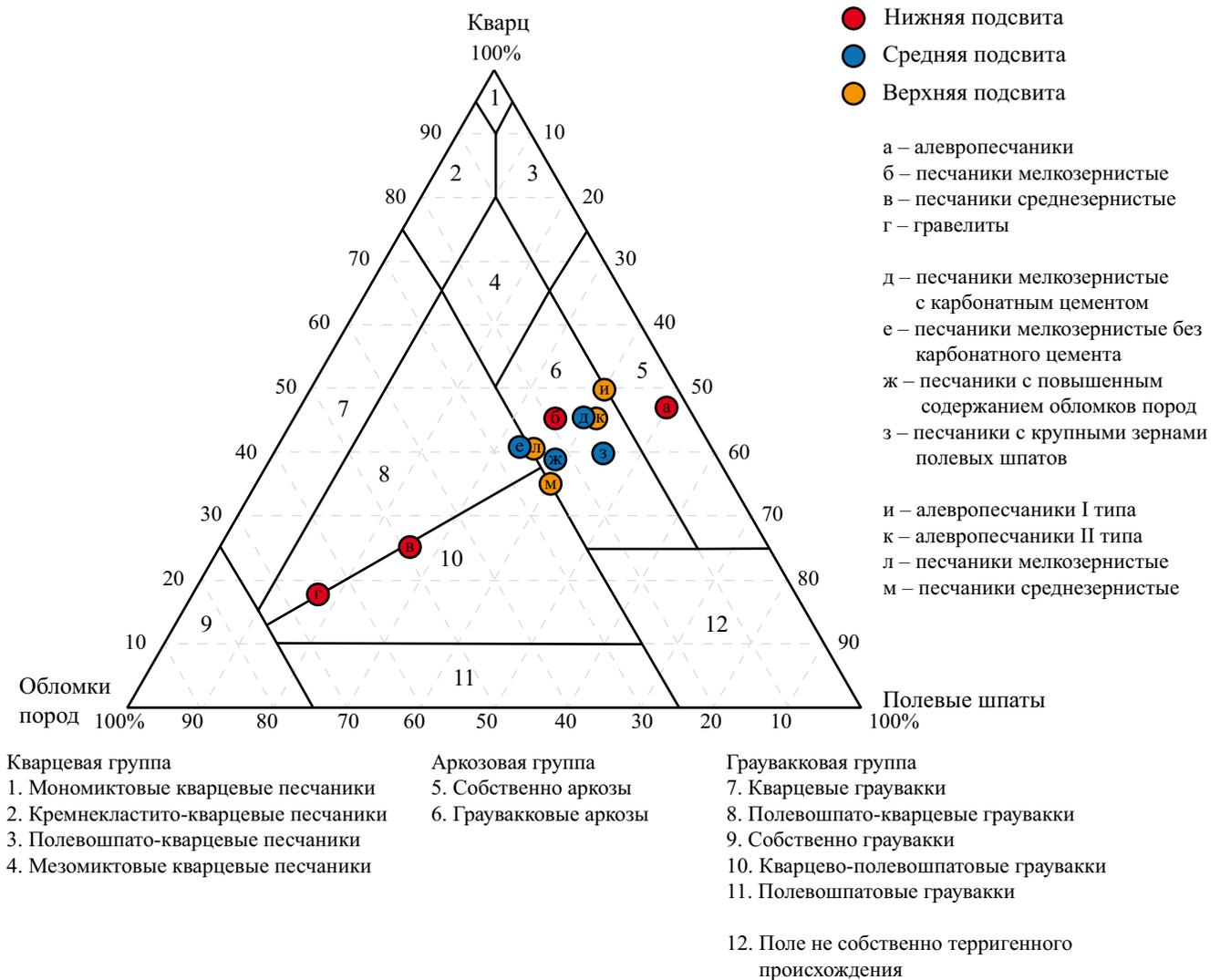


Рис. 9. Классификационная диаграмма В.Д. Шутова (1967) для песчаников усть-сылвицкой свиты.

Fig. 9. V.D. Shutov's (1967) classification diagram for sandstones of the Ust'-Sylvitsa Formation.

таные, угловатых и совсем не окатанных зерен не наблюдается. Сортировка кластики хорошая. Границы между зернами точечные, выпукло-вогнутые, линейные, конформные. Цемент пленочный. Текстура породы массивного облика без видимой слоистости. Обломочный каркас песчаников сложен кварцем (43–45%), размер основного количества зерен 0.10–0.25 мм, но присутствуют зерна до 0.10 и 0.27–0.29 мм. Содержание полевых шпатов ниже, чем содержание кварца (36–37%). Полевые шпаты представлены в основном плагиоклазом с характерным полисинтетическим двойникованием, некоторые из двойников сильно изменены, размер зерен 0.11–0.20 мм. Обломки пород (19–20%) довольно разнообразны – это фрагменты кремней, кварцитов, эффузивных и глинистых пород. Размер их варьируется от 0.15 до 0.20 мм. В качестве второстепенных минералов встречены глауконит и измененный биотит. Глауконит зеленого цвета, с отчетливыми границами. Биотит образует удлиненные деформированные пластинки. Цемент глинистый (хлоритовый). По классификации В.Д. Шутова (1967), это граувакковые аркозы (см. рис. 9б).

Песчаники среднезернистые при параллельных николях имеют бежевые, коричневые оттенки цветов (см. рис. 8ж). Структура породы обломочная (среднепсаммитовая, в отдельных случаях мелкопсаммитовая). Зерна в породе присутствуют как изометричные, так и удлиненные, окатанные, полуокатанные и слабоокатанные, сортировка хорошая. Границы между зернами аналогичны типам границ предыдущего литотипа: точечные, линейные, выпукло-вогнутые, конформные, цемент пленочный. Содержание кварца, полевых шпатов и обломков пород в породах этого литотипа отличается от вышеописанного: содержание обломков выше (48–49%), в то время как содержание кварца ниже (25–26%). Кварц образует изометричные и удлиненные зерна, размер которых изменяется от 0.16 до 0.29 мм, но присутствуют зерна длиной и до 0.50 мм. Полевые шпаты (26%) представлены плагиоклазами с характерным полисинтетическим двойникованием и серицитовыми включениями в зернах. Зерна плагиоклазов в основном таблитчатые, слабоокатанные, размер 0.15–0.27 мм. Обломки пород многочисленны и разнообразны. Встречены обломки кварцитов, кремней, глинистых и эффузивных пород, гранитоидов, алевролитов. Размер обломков варьируется от 0.17 до 0.46 мм. В качестве второстепенных минералов можно отметить биотит. Цемент глинистый (хлоритовый). На классификационной диаграмме В.Д. Шутова (1967) расположены на границе между полевошпат-кварцевыми граувакками и кварцево-полевошпатовыми граувакками (см. рис. 9в).

Гравелиты при параллельных николях практически прозрачные, отдельные зерна имеют окраску в коричневых оттенках (см. рис. 8и). Структу-

ра породы обломочная (крупнообломочная, размер зерен 2.5–1.0 мм), зерна изометричные, удлиненные, хорошо окатанные, окатанные, полуокатанные, сортировка хорошая. Границы между зернами линейные, конформные, выпукло-вогнутые. Цемент пленочный, но присутствует в очень малом количестве по контуру зерен. Содержание обломков пород в гравелитах достигает 65–66%, кварц и полевые шпаты присутствуют примерно в равном количестве (по 17–18%). Размер зерен кварца 0.81–1.70 мм. Полевые шпаты представлены плагиоклазами с характерным полисинтетическим двойникованием и серыми интерференционными окрасками. Присутствуют также серицитизированные зерна плагиоклазов. Окраска полевых шпатов при параллельных николях как бесцветная и прозрачная, так и бурая, бежевая. Возможно, бурые зерна являются калиевыми полевыми шпатами. Некоторые зерна по своей форме близки к четырехугольной. Размер зерен полевых шпатов 0.86–1.2 мм. Обломки пород представлены кварцитами, кремнями, алевролитами, эффузивными породами. Размер обломков 0.73–1.68 мм. Второстепенных и аксессуарных минералов не обнаружено. На классификационной диаграмме В.Д. Шутова (1967) расположены на границе между полевошпат-кварцевыми граувакками и кварцево-полевошпатовыми граувакками (см. рис. 9г).

Средняя подсвета

Средняя подсвета усть-сылвицкой свиты представлена наиболее полно в обн. 4 (см. рис. 2в, 5, 7). Контакты ее с нижней и верхней подсветами не выявлены, однако отсутствие видимой слоистости, преобладающий серо-зеленый цвет пород, преобладающий размер зерен песчаников (обнаружены песчаники тонко- и мелкозернистые), наличие слоя апопепловых глин белого цвета (Кузнецов и др., 2017) мощностью 20 см (см. рис. 5б) и расположенного под ними слоя тонкозернистых песчаников с ярко-рыжими горизонтально ориентированными зернами калиевых полевых шпатов свидетельствуют о существенной смене литологических характеристик в сравнении с нижней подсветой. Мощность средней подсветы оценена нами в 30 м. Палеонтологические остатки в подсвете не обнаружены.

При петрографическом изучении пород средней подсветы усть-сылвицкой свиты в шлифах установлено, что они представлены мелкозернистыми песчаниками с различным цементом и содержанием породообразующих компонентов.

Песчаники мелкозернистые с карбонатным цементом (рис. 10а, б) имеют цвет при параллельных николях бежевый, светло-коричневый. Структура пород обломочная (мелкопсаммитовая, но присутствуют зерна крупноалевритовой размерности).

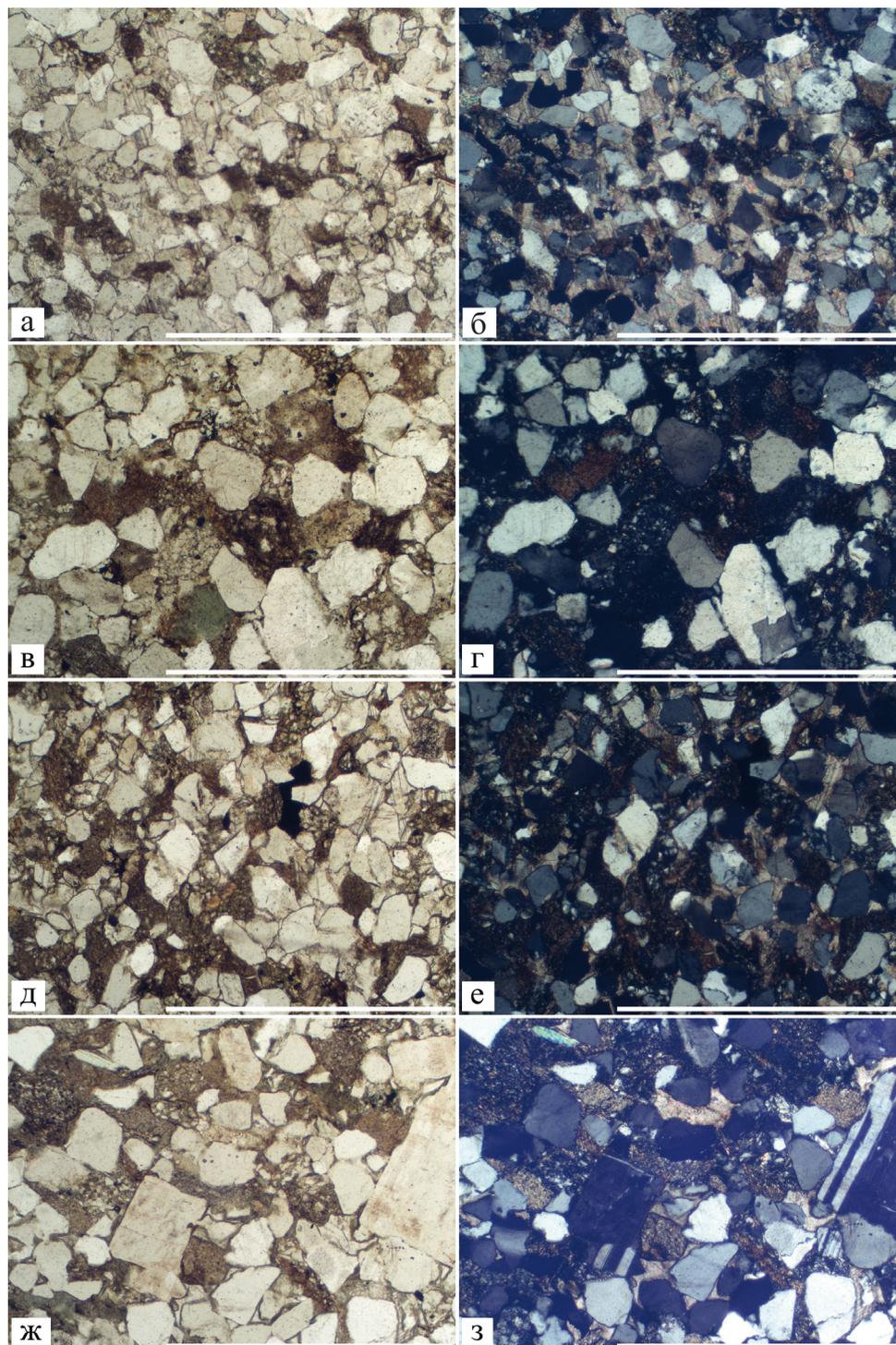


Рис. 10. Основные литотипы пород средней подсвиты усть-сылвицкой свиты (а, в, д, ж – при параллельных николях; б, г, е, з – при скрещенных николях).

а, б – песчаники с карбонатным цементом; в, г – песчаники с повышенным содержанием обломков пород и карбонатным цементом; д, е – песчаники без карбонатного цемента; ж, з – песчаники с крупными зернами полевых шпатов. Длина масштабной линейки – 1 мм.

Fig. 10. Main rock lithotypes in the Middle Member of the Ust'-Sylvitsa Formation (а, в, д, ж – plane polarised light; б, г, е, з – crossed polarised light).

а, б – sandstone with carbonate cementation; в, г – sandstone with increased debris content and carbonate cementation; д, е – sandstone without carbonate cementation; ж, з – sandstone with large grains of feldspar. Scale bars are 1 mm.

Зерна угловатые, неокатанные и слабоокатанные, сортировка хорошая, зерна преимущественно удлиненные, но также обнаружено большое количество изометричных зерен. Границы между зернами точечные, линейные, конформные. Цемент по количественному соотношению пленочный, цемент по взаимоотношению зерен и цемента пойкилитовый (цемент прорастания). Текстура породы массивного облика без видимой слоистости. В составе породы преобладает кварц (44–45%) размером 0.06–0.17 мм. Полевые шпаты (40%) представлены плагиоклазами и калиевыми полевыми шпатами. Для зерен плагиоклазов характерно полисинтетическое двойникование и серые цвета интерференционных окрасок. При параллельных николях зерна бледно окрашены в бежевые оттенки. На некоторых зернах видна серитизация – проявление вторичных изменений. Калиевые полевые шпаты, по видимому, представлены микроклином, который хорошо узнаваем по решетчатому двойникованию. Размер зерен полевых шпатов 0.07–0.14 мм. Обломки пород (15–16%) – это в основном фрагменты глинистых пород, кварцитов, алевролитов, аргиллитов. Их размер 0.07–0.15 мм. В качестве акцессорных минералов встречаются зерна циркона размером 0.05–0.08 мм. В породе также присутствуют биотит и мусковит. Пленочный цемент в породе по составу глинистый, пойкилитовый цемент карбонатный. По классификации В.Д. Шутова (1967), это граувакковые аркозы (см. рис. 9д).

В обн. 4 встречаются две разновидности этого литотипа. Для первой характерно повышенное содержание обломков пород (22%) и большее количество глинистого цемента (см. рис. 10д, е). Для второй разновидности (см. рис. 10ж, з) свойственны крупные зерна калиевых полевых шпатов буроватого цвета размером по длинной оси от 0.23 до 0.72 мм и по короткой оси – от 0.16 до 0.54 мм, а также сильно вытянутые пластинки биотита размером от 0.46 до 1.04 мм. На классификационной диаграмме В.Д. Шутова (1967) эти разновидности расположены в области граувакковых аркозов (см. рис. 9ж, з).

Песчаники мелкозернистые, без карбонатного цемента (см. рис. 10в, г) при параллельных николях прозрачные, бежевые, светло-коричневые. Структура породы мелкопсаммитовая, зерна изометричные, слабоокатанные, окатанные и полуокатанные, сортировка хорошая, границы между зернами точечные, иногда линейные и выпукло-вогнутые, цемент пленочный. Текстура породы массивного облика без видимой слоистости. Содержание кварца и полевых шпатов в песчаниках примерно равное (по 35–40%). Размер зерен кварца 0.08–0.28 мм. Полевые шпаты представлены микроклином с характерным решетчатым двойникованием и серыми цветами интерференционных окрасок. Размер полевых шпатов варьируется от 0.07

до 0.23 мм. Обломки пород (25%) в этом литотипе представлены в основном фрагментами кварцитов, довольно много здесь фрагментов алевролитов и глинистых пород. Размер обломков 0.12–0.24 мм. В качестве второстепенных минералов в образце встречены мусковит и хлорит. Пленочный цемент по составу глинистый (хлоритовый). На классификационной диаграмме В.Д. Шутова (1967) расположены на границе между граувакковыми аркозами и полевошпат-кварцевыми граувакками (см. рис. 9е).

Верхняя подсвета

Верхняя подсвета наиболее полно представлена в обн. 5 и 6 (см. рис. 2б, 6, 7). Строение разреза в обн. 5 имеет более разнообразный цвет и состав, появляются маломощные прослои алевролитов и аргиллитов между слоями коричневых, зеленых, светло-зеленых бурых средне-, тонко- и мелкозернистых песчаников без видимой слоистости, с косой и волнистой слоистостью. В отдельных слоях можно встретить чередование песчаников разной зернистости – от тонко- до среднезернистых. В этой части разреза на поверхностях напластования алевролитов и аргиллитов встречены многочисленные микробияльные текстуры типа *Arumberia* (см. рис. 6в), характерные для крайне мелководных обстановок осадконакопления (Kolesnikov et al., 2017; McMahon et al., 2022). В нижней и средней подсветах усть-сылвицкой свиты такие текстуры не обнаружены. В этом же обнажении можно видеть несогласный контакт усть-сылвицкой свиты с перекрывающими песчаниками такатинской свиты нижнего девона. Кроме того, в обн. 5 и 6 встречаются прослои апопепловых глин с аномальной, от белесой до вишнево-бурой, окраской, которые, по видимому, отвечают одному и тому же стратиграфическому уровню (см. рис. 6б, г). Мощность верхней подсветы, по нашим оценкам, достигает 80 м.

При петрографическом исследовании пород верхней подсветы в шлифах установлены следующие литотипы: аргиллиты (рис. 11а, б), алевропесчаники (рис. 11в–е), песчаники мелкозернистые (рис. 11ж, з), песчаники среднезернистые (рис. 11и, к).

Аргиллиты при параллельных николях имеют коричневые оттенки – от светлого до темного (см. рис. 11а). Структура породы пелитовая, текстура волнисто-слоистая, в текстурных особенностях можно отметить однонаправленную горизонтальную ориентировку удлиненных зерен. Состав представлен в основном глинистыми минералами, отдельными зернами кварца или полевых шпатов, а также хорошо различимыми тонкими пластинками слюд.

Алевропесчаники верхней подсветы в зависимости от характера слоистости принадлежат двум типам: 1) массивного облика неслоистые (см.

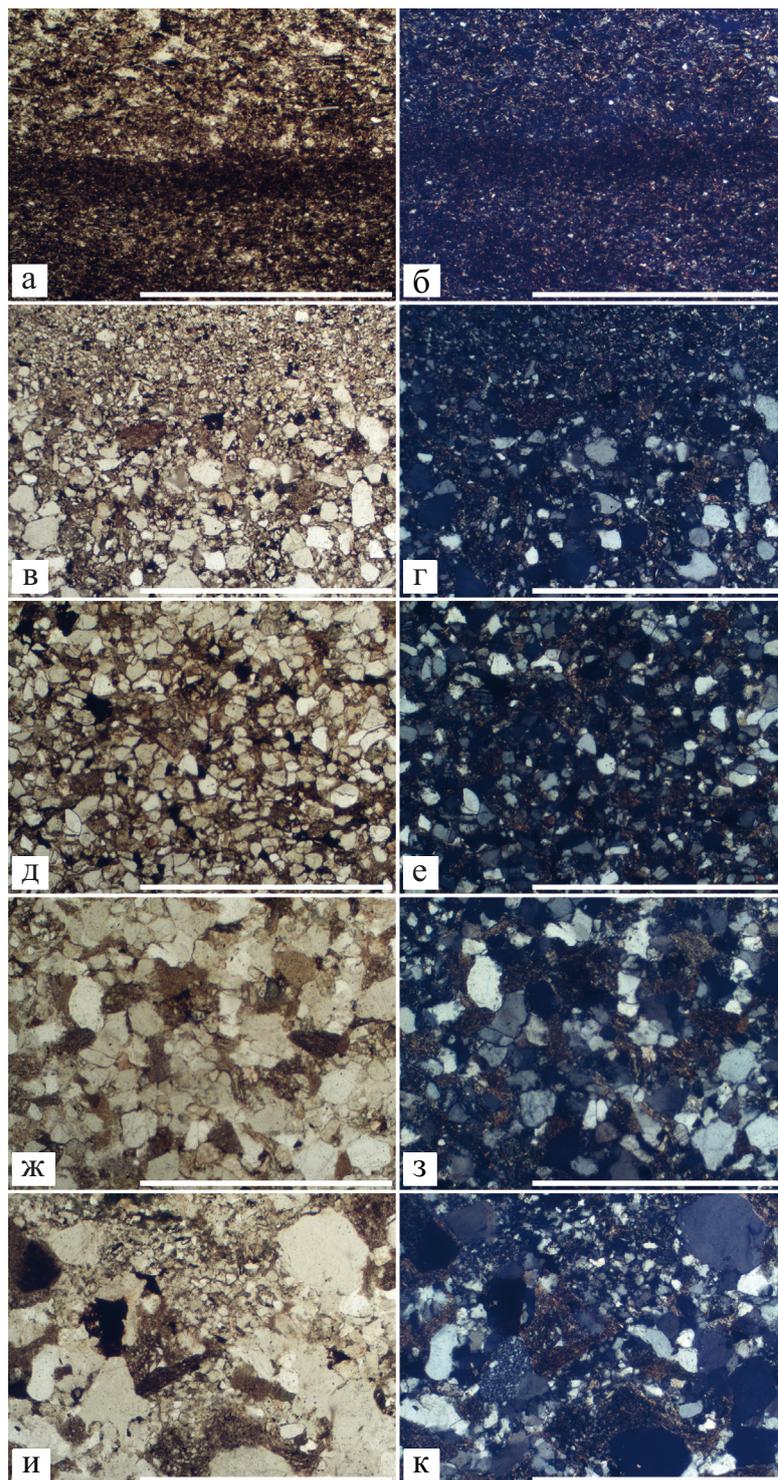


Рис. 11. Основные литотипы пород верхней подсвиты усть-сыльвицкой свиты (а, в, д, ж, и – при параллельных николях; б, г, е, з, к – при скрещенных николях).

а, б – аргиллит; в, г – алевропесчаники I типа; д, е – алевропесчаники II типа; ж, з – песчаники мелкозернистые; и, к – песчаники среднезернистые. Длина масштабной линейки – 1 мм.

Fig. 11. Main rock lithotypes in the Upper Member of the Ust'-Sylvitsa Formation (а, в, д, ж, и – plane polarised light; б, г, е, з, к – crossed polarised light).

а, б – clatstone; в, г – silty sandstone, Type I; д, е – silty sandstone, Type II; ж, з – fine-grained sandstone; и, к – medium-grained sandstone. Scale bars are 1 mm.

рис. 11д, е) и 2) слоистые, горизонтально-, косо-слоистые, в которых отмечена градационная слоистость (см. рис. 11в, г).

Алевропесчаники первого типа при параллельных николях – бледно-желтые, светло-коричневые, до темно-коричневых (см. рис. 11д). Структура породы обломочная (мелкоалевритовая, крупноалевритовая, мелкопсаммитовая), зерна слабоокатанные и полуокатанные, есть окатанные зерна, сортировка хорошая, зерна изометричные и удлиненные, контакты между зернами конформные и инкорпорационные, цемент пленочный. Текстура породы выглядит однородно, слоистость отсутствует. В составе породы преобладают зерна кварца (50%) размером 0.01–0.16 мм. Полевые шпаты присутствуют в виде плагиоклаза и калишпатов (40%), плагиоклазы бесцветные при параллельных николях, в скрещенных – оттенки серого с характерным полисинтетическим двойникованием, размер 0.02–0.09 мм. Калишпаты при параллельных николях прозрачные и мутные, имеют буроватый цвет (при параллельных и скрещенных николях), встречаются решетчатые двойники, размер зерен 0.02–0.09 мм. Количество обломков пород достигает 10%, их размер 0.03–0.10 мм. Зерна обломков пород являются окатанными и полуокатанными. Отмечены единичные зерна хлорита зеленого цвета размером 0.04–0.08 мм и единичные зерна слюды размером 0.07–0.09 мм. Пленочный цемент глинистый. К вторичным изменениям породы можно отнести разложение калишпатов, в результате чего они приобретают буроватый цвет из-за выделения оксидов железа. На классификационной диаграмме В.Д. Шутова (1967) расположены на границе между собственно аркозами и граувакковыми аркозами (см. рис. 9и).

Алевропесчаники второго типа при параллельных николях бежевые, светло-коричневые, темно-коричневые, отдельные прослои до черного цвета (см. рис. 11в). Структура породы варьируется от пелитовой (размер зерен <0.01 мм) до обломочной (мелко- и крупноалевритовой преимущественно, мелкопсаммитовой), зерна слабо- и полуокатанные, но есть угловатые, сортировка средняя, зерна в своем большинстве изометричные. Между зернами встречаются границы практически всех типов: конформные, линейные, выпукло-вогнутые, инкорпорационные и в некоторых случаях точечные. Цемент пленочный. Текстура этого типа алевропесчаников слоистая, горизонтально- и косо-слоистая. Различия в размере зерен (0.1–0.05, 0.05–0.01, <0.01, 0.25–0.1 мм) и состав (некоторые прослои сложены преимущественно глинистыми минералами и слюдами в отличие от преобладающих кварц-полевошпатовых прослоев) подчеркивают наличие слоистости. В наиболее крупнозернистых прослоях преобладают зерна кварца (45%) размером 0.05–0.20 мм. Полевые шпаты (40%) представ-

лены плагиоклазами и калиевыми полевыми шпатами. Плагиоклазы встречаются в виде полисинтетических двойников и серых зерен в скрещенных николях. Ширина полос в двойниках примерно одинаковая. Размер зерен 0.05–0.18 мм. Калиевые полевые шпаты представлены микроклином с характерным решетчатым двойникованием размером 0.08–0.20 мм. Присутствуют обломки пород (15%): глинистых, полевошпотно-кварцевых алевролитов, сланцев, магматических пород. Размер обломков 0.05–0.25 мм. Обнаружено достаточно много пластинок мусковита. Встречены зерна циркона в относительно большом количестве, размер зерен 0.05–0.08 мм. Пленочный цемент глинистый. По классификации В.Д. Шутова (1967), это граувакковые аркозы (см. рис. 9к).

Песчаники мелкозернистые при параллельных николях бесцветные, бежевые, зеленоватые, светло-коричневые (см. рис. 11ж). Структура обломочная, в основном мелкопсаммитовая, но с достаточным количеством зерен алевритовой размерности, встречаются зерна размером 0.25–0.50 мм. Зерна угловатые и слабоокатанные, сортировка плохая, есть довольно изометричные зерна и удлиненные, границы между зернами выпукло-вогнутые, линейные, инкорпорационные волнистые, цемент пленочный. Есть участки глинистого базального цемента, в котором “плавают” мелкие зерна кварца. Текстурных особенностей не выявлено: порода имеет массивный облик без видимой слоистости. В составе породы преобладают удлиненные угловатые и слабоокатанные зерна кварца (40%) размером 0.02–0.24 мм. Полевые шпаты (35%) представлены как плагиоклазами, так и калишпатами примерно в равных соотношениях. Размер плагиоклазов 0.06–0.15 мм. Калишпаты при параллельных николях мутные и имеют буроватый цвет, а в скрещенных николях встречаются в виде двойников с характерным решетчатым двойникованием, размер зерен 0.06–0.25 мм. Отмечено достаточно большое количество слабоокатанных обломков пород (25%) размером 0.05–0.28 мм. Отмечено наличие единичных зерен хлорита зеленого цвета размером 0.20–0.23 мм. Встречены единичные тонкие удлиненные пластинки слюды (1%) размером 0.12–0.20 мм. Пленочный цемент глинистый. На классификационной диаграмме В.Д. Шутова (1967) расположены на границе между граувакковыми аркозами и полевошпато-кварцевыми граувакками (см. рис. 9л).

Песчаники среднезернистые при параллельных николях имеют преимущественно бежевый и светло-коричневый цвет, некоторые зерна почти черные (см. рис. 11и). Структура средне-, мелкопсаммитовая, зерна угловатые и слабоокатанные, сортировка средняя, зерна встречаются как изометричные, так и удлиненные, границы между зернами выпукло-вогнутые, конформные и инкорпорационные, цемент пленочный. Текстурных особенностей

также не выявлено: порода имеет массивный облик без видимой слоистости. В составе присутствует кварц (35%). Зерна угловатые, есть как довольно изометричные, так и вытянутые, с неправильными краями, размер зерен 0.10–0.41 мм. Отмечено наличие полевых шпатов (40%) – плагиоклазов и калиевых полевых шпатов. Для плагиоклазов характерны полисинтетическое двойникование (зерна в основном удлиненные) и серые цвета интерференционных окрасок (зерна изометричные). Размер плагиоклазов 0.10–0.25 мм. Калиевые полевые шпаты представлены микроклином, который образует решетчатые двойники размером 0.10–0.20 мм. Отмечено большое количество (25%) фрагментов кварц-полевошпатовых алевролитов, глинистых пород, сланцев и других плохо определенных пород. Размер обломков пород 0.08–0.42 мм. Присутствуют коричневые пластинки измененного биотита и зерна циркона. Пленочный цемент глинистый. На классификационной диаграмме В.Д. Шутова (1967) расположены на границе между граувакковыми аркозами и кварцево-полевошпатовыми граувакками (см. рис. 9м).

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Выполненные нами исследования показали, что усть-сыльвицкая свита в центральной части Кваркушко-Каменногорского антиклинория имеет четкое трехчленное строение и включает в себя нижнюю, среднюю и верхнюю подсвиты. Общая мощность нижней подсвиты в районе Широковского водохранилища составляет 540 м, что существенно больше мощности (до 350 м) в стратотипе свиты по р. Чусовой ниже устья р. Сыльвицы (Аблизин и др., 1982; Гражданкин и др., 2010). В этих разобщенных (2–3 км) разрезах состав и строение нижней подсвиты усть-сыльвицкой свиты однотипны: подсвита представлена преимущественно мощными слоями буроватых, серых, до серо-зеленых, среднезернистых песчаников с крупной мультобразной многоэтажной разнонаправленной косой слоистостью, часто подчеркнутой скоплениями плоских аргиллитовых галек шоколадно-коричневого цвета. По всей видимости, в стратотипической местности обнажена только нижняя часть усть-сыльвицкой свиты.

Средняя подсвита имеет мощность около 30 м и сложена преимущественно песчаниками без видимой слоистости и аргиллитовых галек. Для нее характерно наличие маркирующих горизонтов – слоя апопелловых глин и песчаников с относительно крупными обломками калишпатов, которые прослеживаются также в ряде разобщенных обнажений, расположенных южнее Широковского водохранилища. Для циркона из апопелловых глин Н.Б. Кузнецовым и соавторами (2017) получен U–Pb возраст 563 ± 3.5 млн лет. Эта датировка суще-

ственно “удревняет” имевшиеся ранее представления (Гражданкин и др., 2009, 2010; Маслов и др., 2018) о возрасте верхней части сыльвицкой серии.

Верхняя подсвита (мощностью до 80 м) сложена преимущественно частым переслаиванием аргиллитов, алевролитов и песчаников. Для нее характерны находки арумбериоморфных текстур типа *Arumbergia* на поверхностях напластования алевролитов и аргиллитов, а также прослой апопелловых глин аномальной, от белесой до вишнево-бурой, окраски, которые, наряду с пепловыми прослоями из других обнажений, могут послужить дополнительным признаком при литостратиграфической корреляции отложений. Однако подобные предположения требуют подтверждения путем дальнейшего всестороннего изучения этих прослоев и высокоточного радиоизотопного датирования.

Анализ классификационной диаграммы В.Д. Шутова показал, что песчаники усть-сыльвицкой свиты образованы при разных тектонических режимах в платформенных и складчатых областях в условиях аридного климата (Шутов и др., 1972). Ассоциации, расположенные на границах классификационных полей треугольника, дают сведения о компонентах смешения. Смешение обломочного материала по границе состава полевошпат-кварцевых граувакк и граувакковых аркоз свидетельствует о размыве осадочно-полимиктовых толщ, прорванных гранитоидами.

В целом изученные нами обнажения усть-сыльвицкой свиты в районе Широковского водохранилища и у г. Чусового в сравнении со стратотипом, установленным в бассейне р. Чусовая у устья р. Сыльвица, существенно более полные, хорошо обнаженные и легкодоступные и могут быть предложены в качестве составного гипостратотипа.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Аблизин Б.Д., Ключина М.Д., Курбацкая Ф.А., Курбацкий А.М. (1982) Верхний рифей и венд западного склона Среднего Урала. М.: Наука, 140 с.
- Беккер Ю.Р. (1988) Молассы докембрия. Л.: Недра, 288 с.
- Беккер Ю.Р. (1977) Первые палеонтологические находки в рифее Урала. Изв. АН СССР. Сер. геол., (3), 90–100.
- Вендская система. Историко-геологическое и палеонтологическое обоснование. (1985) (Отв. ред. Б.С. Соколов, М.А. Федонкин). Т. 2. Стратиграфия и геологические процессы. М.: Наука, 237 с.
- Гражданкин Д.В., Маслов А.В., Крупенин М.Т. (2009) Строение и этапы формирования вендских отложений сыльвицкой серии западного склона Среднего Урала. *Стратиграфия. Геол. корреляция*, 17(5), 20–40.
- Гражданкин Д.В., Марусин В.В., Меерт Дж., Крупенин М.Т., Маслов А.В. (2011) Котлинский горизонт на южном Урале. Докл. АН, 440(2), 201–206.
- Гражданкин Д.В., Маслов А.В., Крупенин М.Т., Ронкин Ю.Л. (2010) Осадочные системы сыльвицкой се-

- рии (верхний венд Среднего Урала). Екатеринбург: УрО РАН, 280 с.
- Гражданкин Д.В., Маслов А.В., Мاستилл Т.М.Р., Крупенин М.Т. (2005) Беломорская биота эдиакарского типа на Среднем Урале. *Докл. АН*, **401**(6), 784-788.
- Гражданкин Д.В., Наговицин К.Е., Маслов А.В. (2007) Миаохенская экологическая ассоциация позднего венда Восточно-Европейской платформы. *Докл. АН*, **417**(1), 73-78.
- Десяткин В.Д., Колесников А.В., Римский А.А., Сысоева А.О., Терехова В.А., Кузнецов Н.Б., Шацило А.В., Латышева И.В., Романюк Т.В., Федонкин М.А. (2021) Палеопастихины из чернокаменной свиты верхнего венда Среднего Урала (Пермский край). *Докл. АН*, **499**(2), 138-143. <https://doi.org/10.31857/S2686739721080041>
- Колесников А.В., Десяткин В.Д., Терехова В.А., Паньков В.Н., Маслов А.В. (2023) Древнейшие ископаемые следы жизнедеятельности в ассоциации с биотой эдиакарского типа из верхнего венда Южного Урала. *Докл. АН*, **512**(2), 120-127. <https://doi.org/10.31857/S2686739723600856>
- Кузнецов Н.Б., Белоусова Е.А., Крупенин М.Т., Романюк Т.В., Маслов А.В. (2017) Результаты геохронологического и изотопно-геохимического изучения циркона из туфов сыльвицкой серии (западный склон Среднего Урала): к происхождению пепловых пластов в вендских толщах Восточно-Европейской платформы. *Докл. АН*, **473**(3), 341-345.
- Марусин В.В., Гражданкин Д.В., Маслов А.В. (2011) Редкинский этап эволюции вендских макрофитов. *Докл. АН*, **436**(5), 658-664.
- Маслов А.В., Меерт Дж., Левашова Н.М., Ронкин Ю.Л., Гражданкин Д.В., Кузнецов Н.Б., Крупенин М.Т., Федорова Н.М., Ипатьева И.С. (2013) Новые данные о возрасте ледниковых отложений венда Среднего Урала. *Докл. АН*, **449**(3), 322-327.
- Маслов А.В., Подковыров В.Н., Гражданкин Д.В., Колесников А.В. (2018) Верхний венд востока, северо-востока и севера Восточно-Европейской платформы: процессы осадконакопления и эволюции биоты. *Литосфера*, **18**(4), 520-542.
- Ронкин Ю.Л., Гражданкин Д.В., Маслов А.В., Мизенс Г.А., Матуков Д.И., Крупенин М.Т., Петров Г.А., Лепихина О.П., Корнилова А.Ю. (2006) U-Pb (SHRIMP II) возраст цирконов из пепловых туфов чернокаменной свиты сыльвицкой серии венда (Средний Урал). *Докл. АН*, **411**(3), 354-359.
- Стратиграфический кодекс России. (2019) (Сост. А.И. Жамойда и др.) Изд. 3-е, испр. и доп. СПб.: ВСЕГЕИ, 96 с.
- Федонкин М.А. (1981) Беломорская биота венда (докембрийская бесскелетная фауна севера Русской Платформы). М.: Наука, 100 с.
- Федонкин М.А. (1985) Бесскелетная фауна венда: проморфологический анализ. Вендская система: Историко-геологическое обоснование. Т. 1. Палеонтология. М.: Наука, 10-69.
- Шутов В.Д. (1967) Классификация песчаников. *Литология и полз. ископаемые*, (5), 86-102.
- Шутов В.Д., Косовская А.Г., Муравьев В.И., Юркова Р.М., Соколова Т.Н. (1972) Граувакки. Тр. ГИН АН СССР. М.: Наука, 238 с.
- Bobkov N.I., Kolesnikov A.V., Maslov A.V., Grazhdankin D.V. (2019) The occurrence of Dickinsonia in non-marine facies. *Estudios Geológicos*, **75**(2), e096. <https://doi.org/10.3989/egeol.43587.551>
- Brasier M.D. (1992) Background to the Cambrian Explosion. *J. Geol. Soc.*, **149**, 585-587. <https://doi.org/10.1144/gsjgs.149.4.0585>
- Darroch S.A.F., Smith E.F., Laflamme M., Erwin D.H. (2018) Ediacaran Extinction and Cambrian Explosion. *Trends Ecol. Evol.*, **33**(9), 653-663. <https://doi.org/10.1016/j.tree.2018.06.003>
- Fedonkin M.A., Gehling J.G., Grey K., Narbonne G.M., Vickers-Rich P. (2007) The Rise of Animals: Evolution and Diversification of the Kingdom Animalia. The Johns Hopkins University Press, Baltimore, 326 p.
- Grazhdankin D.V. (2004) Patterns of distribution in the Ediacaran biotas: facies versus biogeography and evolution. *Paleobiology*, **30**(2), 203-221. [https://doi.org/10.1666/0094-8373\(2004\)030<0203:podite>2.0.co;2](https://doi.org/10.1666/0094-8373(2004)030<0203:podite>2.0.co;2)
- Grazhdankin D.V. (2014) Patterns of evolution of the Ediacaran soft-bodied biota. *J. Paleontol.*, **88**(2), 269-283. <https://doi.org/10.1666/13-072>
- Kolesnikov A.V., Danelian T., Gommeaux M., Maslov A.V., Grazhdankin D.V. (2017) Arumberiamorph structure in modern microbial mats: implications for Ediacaran paleobiology. *Bull. Soc. Géol. Fr.*, **188**(5), 57-66. <https://doi.org/10.1051/bsgf/2017006>
- Laflamme M., Darroch S.A.F., Tweedt S.M., Peterson K.J., Erwin D.H. (2013) The end of the Ediacara biota: Extinction, biotic replacement, or Cheshire Cat? *Gondw. Res.*, **23**(2), 558-573. <https://doi.org/10.1016/j.gr.2012.11.004>
- McMahon W.J., Davies N.S., Liu A.G., Went D.J. (2022) Enigma variations: characteristics and likely origin of the problematic surface texture Arumberia, as recognized from an exceptional bedding plane exposure and the global record. *Geol. Mag.*, **159**(1), 1-20. <https://doi.org/10.1017/S0016756821000777>
- Waggoner B.M. (2003) The Ediacaran biotas in space and time. *Integrat. Comparat. Biol.*, **43**, 104-113. <https://doi.org/10.1093/icb/43.1.104>

REFERENCES

- va A.O., Terekhova V.A., Kuznetsov N.B., Shazilov A.V., Latysheva I.V., Romanyuk T.V., Fedonkin M.A. (2021) Palaeopascichnids from the Upper Vendian Chernyi Kamen Formation of the Middle Urals (Perm region). *Dokl. Earth Sci.*, **499**(2), 643-647 (translated from *Dokl. RAN.*, **499**(2), 138-143). <https://doi.org/10.1134/S1028334X21080043>
- Fedonkin M.A. (1985) Non-skeletal fauna of the Vendian: Promorphological analysis. The Vendian System. V. 1. Paleontology (Eds B.S. Sokolov, A.B. Iwanowski). Moscow, Nauka Publ., 10-60. (In Russ.)
- Fedonkin M.A. (1981) White Sea biota of vendian (Precambrian non-skeletal fauna of the Russian Platform North). Moscow, Nauka Publ., 100 p. (In Russ.)
- Fedonkin M.A., Gehling J.G., Grey K., Narbonne G.M., Vickers-Rich P. (2007) The Rise of Animals: Evolution and Diversification of the Kingdom Animalia. The Johns Hopkins University Press, Baltimore, 326 p.
- Grazhdankin D.V. (2004) Patterns of distribution in the Ediacaran biotas: facies versus biogeography and evolution. *Paleobiology*, **30**(2), 203-221. [https://doi.org/10.1666/0094-8373\(2004\)030<0203:podite>2.0.co;2](https://doi.org/10.1666/0094-8373(2004)030<0203:podite>2.0.co;2)
- Grazhdankin D.V. (2014) Patterns of evolution of the Ediacaran soft-bodied biota. *J. Paleontol.*, **88**(2), 269-283. <https://doi.org/10.1666/13-072>
- Grazhdankin D.V., Marusin V.V., Meert J., Krupenin M.T., Maslov A.V. (2011) Kotlin regional stage in the South Urals. *Dokl. Earth Sci.*, **440**(1), 1222-1226 (translated from *Dokl. Akad. Nauk*, **440**(2), 201-206). <https://doi.org/10.1134/S1028334X11090170>
- Grazhdankin D.V., Maslov A.V., Krupenin M.T. (2009) Structure and depositional history of the Vendian Sylvytsa Group in the western flank of the Central Urals. *Stratigr. Geol. Correl.*, **17**(5), 476-492 (translated from *Stratigr. Geol. Korrel.*, **17**(5), 20-40). <https://doi.org/10.1134/s0869593809050025>
- Grazhdankin D.V., Maslov A.V., Krupenin M.T., Ronkin Yu.L. (2010) Sedimentary systems of the Sylvytsa Series (Upper Vendian of the Middle Urals). Ekaterinburg, UrO RAN Publ., 280 p. (In Russ.)
- Grazhdankin D.V., Maslov A.V., Mastill T.M.R., Krupenin M.T. (2005) The Ediacaran White Sea biota in the Central Ural. *Dokl. Earth Sci.*, **401**(3), 382-385 (translated from *Dokl. Akad. Nauk*, **401**(6), 784-788).
- Grazhdankin D.V., Nagovitsin K.E., Maslov A.V. (2007) Late Vendian Miaohe-type ecological assemblage of the East European platform. *Dokl. Earth Sci.*, **417**(1), 1183-1187 (translated from *Dokl. AN.*, **417**(1), 73-78). <https://doi.org/10.1134/S1028334X07080107>
- Kolesnikov A.V., Danelian T., Gommeaux M., Maslov A.V., Grazhdankin D.V. (2017) Arumberiamorph structure in modern microbial mats: implications for Ediacaran palaeobiology. *Bull. Soc. Géol. Fr.*, **188**(5), 57-66. <https://doi.org/10.1051/bsgf/2017006>
- Kolesnikov A.V., Desyatkin V.D., Terekhova V.A., Pan'kov V.N., Maslov A.V. (2023) The Oldest Trace Fossils in Association with an Ediacara-Type Biota in the Upper Vendian of the South Urals. *Dokl. Earth Sci.*, **512**(2), 1032-1038 (translated from *Dokl. AN.*, **512**(2), 120-127.). <https://doi.org/10.1134/S1028334X23601487>
- Kuznetsov N.B., Belousova E.A., Krupenin M.T., Romanyuk T.V., Maslov A.V. (2017) The results of geochronological and isotope-geochemical study of zircons from tuff of the Sylvytsa Group (Western slope of the Middle Urals): the origin of ash layers in Vendian rocks of the East European Platform. *Dokl. Earth Sci.*, **473**(1), 359-362 (translated from *Dokl. AN.*, **473**(3), 341-345). <https://doi.org/10.1134/S1028334X17030254>
- Laflamme M., Darroch S.A.F., Tweedt S.M., Peterson K.J., Erwin D.H. (2013) The end of the Ediacara biota: Extinction, biotic replacement, or Cheshire Cat? *Gondw. Res.*, **23**(2), 558-573. <https://doi.org/10.1016/j.gr.2012.11.004>
- Marusin V.V., Grazhdankin D.V., Maslov A.V. (2011) Redkino Stage in Evolution of Vendian Macrophytes. *Dokl. Earth Sci.*, **436**(2), 197-202 (translated from *Dokl. AN.*, **436**(5), 658-664). <https://doi.org/10.1134/S1028334X11020176>
- Maslov A.V., Meert J., Levashova N.M., Ronkin Yu.L., Grazhdankin D.V., Kuznetsov N.B., Krupenin M.T., Fedorova N.M., Ipatieva I.S. (2013) New constraints for the age of Vendian glacial deposits (Central Urals). *Dokl. Earth Sci.*, **449**(1), 303-308 (translated from *Dokl. Akad. Nauk*, **449**(3), 322-327). <https://doi.org/10.1134/S1028334X13030203>
- Maslov A.V., Podkovyrov V.N., Grazhdankin D.V., Kolesnikov A.V. (2018) Upper Vendian in the east, northeast and north of East European Platform: depositional processes and biotic evolution. *Lithosphere (Russia)*, **18**(4), 520-542. <https://doi.org/10.24930/1681-9004-2018-18-4520-542>
- McMahon W.J., Davies N.S., Liu A.G., Went D.J. (2022) Enigma variations: characteristics and likely origin of the problematic surface texture Arumberia, as recognized from an exceptional bedding plane exposure and the global record. *Geol. Mag.*, **159**(1), 1-20. <https://doi.org/10.1017/S0016756821000777>
- Ronkin Yu.L., Grazhdankin D.V., Maslov A.V., Mizens G.A., Matukov D.I., Krupenin M.T., Petrov G.A., Lepikhina O.P., Kornilova A.Yu. (2006) U-Pb (SHRIMP II) age of zircons from ash tuffs of the Upper Vendian Chernyi Kamen Formation (Sylvytsa Group, Middle Urals). *Dokl. Akad. Nauk*, **411**(3), 354-359. (In Russ.)
- Shutov V.D. (1967) Classification of sandstones. *Litol. Polez. Iskop.*, (5), 86-102. (In Russ.)
- Shutov V.D., Kossovskaya A.G., Murav'ev V.I., Yurkova R.M., Sokolova T.N. (1972) Greywackes. Tr. GIN AN SSSR. Moscow, Nauka Publ., 238 p. (In Russ.)
- Stratigraphic Code of Russia. (2019) (Ed. A.I. Zhamoïda et al.). 3-rd ed., corrected and supplemented. St.Petersburg, VSEGEI Publ., 96 p. (In Russ.)
- Vendian System. Historical and Geological and Paleontological Study. (1985) (Eds B.S. Sokolov, M.A. Fedonkin). V. 2. Stratigraphy and Geological Processes. Moscow, Nauka Publ., 237 p. (In Russ.)
- Waggoner B.M. (2003) The Ediacaran biotas in space and time. *Integr. Comp. Biol.*, **43**, 104-113. <https://doi.org/10.1093/icb/43.1.104>