

УДК 553.81:068.5(571.56)

DOI: 10.24930/1681-9004-2023-23-4-654-671

Особенности петрографического состава алмазоносных карнийских образований Булкурской антиклинали северо-востока Сибирской платформы

М. Н. Голобурдина^{1,2}, С. А. Граханов^{1,2}, В. Ф. Проскурнин¹

¹Всероссийский научно-исследовательский геологический институт им. А.П. Карпинского (ВСЕГЕИ), 199106, г. Санкт-Петербург, Средний пр-т, 74, e-mail: marina_goloburdina@vsegei.ru

²ПАО “Алмазы Арктики” (АЛМАР), 678000, Республика Саха (Якутия), г. Якутск, ул. Чернышевского, 8/2, оф. 2, e-mail: s.grakhanov@rambler.ru

Поступила в редакцию 07.04.2023 г., принята к печати 26.06.2023 г.

Объект исследования. Алмазоносные взрывно-обломочные и осадочно-вулканокластические породы основания карнийского яруса верхнего триаса, приуроченные к западному крылу Булкурской антиклинали на северо-востоке Сибирской платформы. *Цель.* Выявление признаков алмазоносности пород основания карнийского яруса. *Материалы и методы.* В работе рассматриваются авторские оригинальные материалы, полученные при поисково-оценочных работах ООО “Арктическая горная компания” в 2022–2023 гг., представленные результатами полевых наблюдений и минералого-петрографических исследований. Определение типов пород осуществлялось посредством петрографического изучения в прозрачных шлифах на микроскопе Leica DM2700P с использованием известных классификаций. Алмазы и минералы-спутники были выделены из шлиховых проб и описаны в ЦАЛ Виллойской геологоразведочной экспедиции ПАО “АЛРОСА”. Оценка содержания алмазов и пиропов в керновых и валовых пробах (кар/т) сделана с учетом их прямой корреляции. *Результаты.* Установлено, что максимальные концентрации алмазов локализованы в породах западного крыла Булкурской антиклинали, где они выявлены в лапиллиевых туфах, ксенотуфобрекчиях и ортотуфитах. Меньшей алмазоносностью обладают паратуфиты и туфоалевропесчаники. *Выводы.* Алмазоносность пород основания карнийского яруса положительно коррелирует с содержанием пиропов и степенью насыщенности вулканокластическим материалом. Потенциально алмазоносными являются туфоалевропесчаники булкурской пачки основания осипайской свиты и перекрывающие их органогенные аргиллиты – “ракушняки”. Алмазоносные образования имеют значительную мощность и высокую продуктивность, что позволяет рассчитывать на существенное увеличение прогнозного потенциала алмазов в арктической зоне Российской Федерации.

Ключевые слова: алмаз, месторождение, россыпь, триас, север Сибирской платформы

Petrographic composition of diamond-bearing Carnian formations of the Bulkur anticline the north-eastern Siberian Platform

Marina N. Goloburdina^{1,2}, Sergey A. Grakhanov^{1,2}, Vasily F. Proskurnin¹

¹A.P. Karpinsky All-Russian Research Geological Institute, 74 Srednii av., St.Petersburg 199106, Russia, e-mail: marina_goloburdina@vsegei.ru

²AO ALMAR – Almazы Arktiki, 8/2 Chernyshevsky st., Yakutsk 677000, Sakha Republic, Russia, e-mail: s.grakhanov@rambler.ru

Received 07.04.2023, accepted 22.06.2023

Research subject. Diamondiferous explosive detrital and sedimentary volcanoclastic rocks of the Carnian base of the Upper-Triassic confined to the west flank of the Bulkur Anticline in the north-eastern Siberian Platform. *Aim.* To identify diamondiferous features of Carnian rocks. *Materials and methods.* The materials collected by the authors while performing prospecting and evaluation works by the ООО Arctic Mining Company in 2022–2023 were used. The materials were represented by field observation results and mineral-petrographic studies. Rock types were defined by petrographic analysis in thin sections using a Leica DM2700P microscope and known classifications. Diamonds and accessory minerals were dis-

Для цитирования: Голобурдина М.Н., Граханов С.А., Проскурнин В.Ф. (2023) Особенности петрографического состава алмазоносных карнийских образований Булкурской антиклинали северо-востока Сибирской платформы. *Литосфера*, 23(4), 654–671. <https://doi.org/10.24930/1681-9004-2023-23-4-654-671>

For citation: Goloburdina M.N., Grakhanov S.A., Proskurnin V.F. (2023) Petrographic composition of diamond-bearing Carnian formations of the Bulkur anticline the north-eastern Siberian Platform. *Lithosphere (Russia)*, 23(4), 654–671. (In Russ.) <https://doi.org/10.24930/1681-9004-2023-23-4-654-671>

© М.Н. Голобурдина, С.А. Граханов, В.Ф. Проскурнин, 2023

tinguished from steam sediment samples and described at the central analytical laboratory of the Vilyuysk Geosurvey Expedition, PJSC Alrosa. The estimation of diamond and pyrope content in core- and bulk samples (CPT) was performed considering their direct correlation. *Results.* The highest concentrations of diamonds were found to be localized in rocks in the west flank of the Bulkur Anticline. These formations were detected in lapilli tuffs, xenotuff breccia and orthotuffites. Paratuffites and tuff aleuro-sandstones exhibit a lesser diamond potential. *Conclusions.* The diamond potential of rocks of the Carnian base correlates well with the pyrope content and saturation of volcanoclastic materials. Tuff aleuro-sandstones of the Bulkur member in the Osipay base and overlying shell deposits are considered potentially diamondiferous. Diamondiferous formations possess considerable thickness and productive efficiency, thus assuming a substantial increase in the diamond prospective potential in the Russian Arctic.

Keywords: *diamond, deposit, placer, Triassic, Arctic zone of Siberia*

Acknowledgements

The authors are grateful to A.V. Karhu, A.V. Zudikhin, V.I. Pavlov, A.Yu. Popov, S.I. Etigyasov, A.V. Cheremkin, A.V. Yadrenkin for joint productive work in the field, as well as to E.L. Gruzovoy and A.V. Antonov for their help with analytical studies.

ВВЕДЕНИЕ

На северо-востоке Сибирской платформы наиболее масштабным древним коллектором алмазов является осадочно-вулканогенное основание осипайской свиты карнийского яруса верхнего триаса (булкурская пачка). Алмазонасность карнийских отложений верхнего триаса установлена от Верхоянья до Анабарской губы (Гогина, 1979; Натапов и др., 1980; Граханов и др., 2009). Большой вклад в изучение алмазонасности карнийских отложений внесли геологи НПО “Аэрогеология” (Н.И. Гогина, Ю.М. Сибирцев, Р.О. Галабала, А.Ю. Егоров, В.В. Селиванова); Чернышевской экспедиции ПГО “Якутскгеология” (С.А. Граханов, Н.И. Горев); ФГБУ “ВСЕГЕИ” (В.Ф. Проскурнин, А.В. Гавриш); ОАО “Нижне-Ленское” (С.А. Граханов, В.И. Павлов, С.И. Этигясов, А.В. Черемкин). В настоящее время на западном склоне Булкурской антиклинали поисково-оценочные работы проводит Арктическая горная компания (рис. 1), результаты бурения и опробования которой использованы в данной работе. Промышленно-алмазонасными могут оказаться другие участки выходов пород основания карнийского яруса, пока не охваченные поисковыми работами.

Объект исследования расположен в Арктической зоне республики Саха (Якутия) на левом берегу устьевого отрезка р. Лена и западном склоне Булкурской антиклинали, в специфическом в структурно-тектоническом отношении регионе (складчатая окраинная часть Сибирской платформы). Алмазонасные породы тяготеют к основанию карнийского яруса верхнего триаса и выделены в булкурскую пачку (Граханов и др., 2022).

До 2021 г. изучение продуктивного пласта на западном склоне Булкурской антиклинали базировалось только на одном естественном обнажении в долине р. Булкур, единственной буровой линии БГ1, пробуренной ОАО “Нижне-Ленское”, и канавах, пройденных НПО “Аэрогеология”, ОАО

“Нижне-Ленское” и Арктической горной компанией. По этим данным детально были изучены петрографо-минералогический состав пород; типоморфные особенности минералов-индикаторов кимберлитов (МИК) и алмазов; химический состав МИК и содержание пиропов алмазной ассоциации; определен возраст кимберлитовых цирконов в продуктивной пачке; изотопный состав углерода и состав пленок на алмазах (Афанасьев и др., 1986; Граханов и др., 2010, 2015; Павлушин и др., 2010, 2016; Граханов, Смелов, 2011; Соболев и др., 2013; Летникова и др., 2013; Николенко и др., 2018; Граханов и др., 2022). Авторы в исследованиях поразному определяли породы: туффиты (Граханов и др., 2010, 2015; Граханов, Смелов, 2011); гравелиты базального горизонта (Летникова и др., 2013); туффиты и средне-крупнообломочные туфы на стекловатом филлосиликатном цементе (по неопубликованным данным С.А. Граханова (2013); (Граханов и др., 2022)).

Результаты изучения петрографии, геохимии и минералогии алмазонасных пород основания карнийского яруса показывают, что их образование связано главным образом с вулканическими процессами, а сами породы являющиеся туфами, ксентуфами, туффитами, туфоконгломератами и конгломератами. Данные породы по химическому составу не похожи на известные коренные месторождения алмазов что, по-видимому, обусловлено их расположением в специфическом в структурно-тектоническом отношении регионе (складчатая окраинная часть платформы). Минеральный состав тяжелой фракции туфогенных пород уникален по широкому спектру цветовых разновидностей пиропов и их ураганному содержанию (до 3000 кар/т), а также повышенному содержанию хромшпинелидов и рутила. Содержание пиропов алмазной ассоциации дунит-гарцбургитового парагенезиса редко превышает 1–2%. В то же время значительна доля (12.5%) гранатов эклогитового парагенезиса с примесью $MnO > 0.5$ мас. %, что (по Н.В. Соболеву)

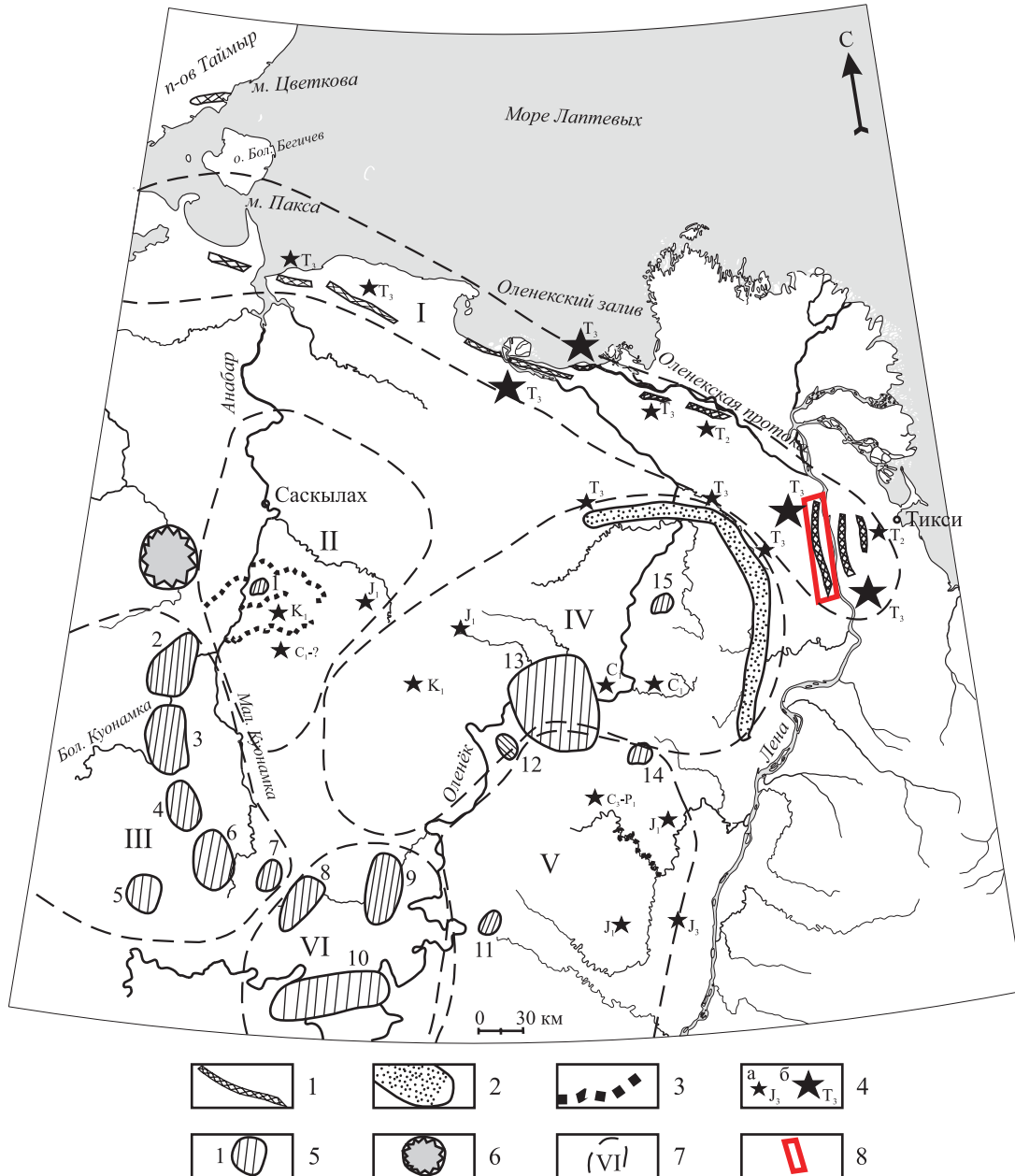


Рис. 1. Проявления древней алмазности в пределах Лено-Анабарской субпровинции (Граханов и др., 2010).

1 – выходы алмазносных пород карнийского яруса на уровне современного среза; 2 – потенциально промышленные рэтикские россыпи; 3 – промышленные четвертичные россыпи; 4 – находки алмазов в разновозрастных промежуточных коллекторах, их возраст (а – низкие содержания, б – высокие и ураганные); 5 – кимберлитовые поля (1 – Анабарское, 2 – Старореченское, 3 – Ары-Мастахское, 4 – Дюкенское, 5 – Биригиндинское, 6 – Куранахское, 7 – Лучаканское, 8 – Западно-Укукитское, 9 – Восточно-Укукитское, 10 – Чомурдахское, 11 – Огонер-Юряхское, 12 – Мерчимденское, 13 – Куойско-Молодинское, 14 – Толуопское, 15 – Хорбусуонское); 6 – Попигайская астроблема; 7 – алмазносные районы (I – Приморский, II – Анабарский, III – Куонамский, IV – Нижне-Оленекский, V – Приленский, VI – Средне-Оленекский); 8 – лицензионная площадь Арктической горной компании.

Fig. 1. Ancient diamond deposits within the Lena-Anabar subprovince (Grakhanov et al., 2010).

1 – Outcrops of Carnian diamondiferous rocks at the current level slice; 2 – potentially commercial Rhaetian placers; 3 – commercial quaternary placers; 4 – diamond occurrences in age-diverse intermediate headers, their age (a – low grades, б – high and top-cut grades); 5 – kimberlite fields (1 – Anabar, 2 – Starorechensk, 3 – Ary-Mastakh, 4 – Duken, 5 – Beriginde, 6 – Kuranakh, 7 – Luchakansk, 8 – West Ukukit, 9 – East Ukukit, 10 – Chomurdakh, 11 – Ogonyor-Yurakh, 12 – Merchimdensk, 13 – Kuoika-Molodo, 14 – Toluopka, 15 – Khorbusuonka); 6 – Popigai astrobleme; 7 – diamondiferous regions (I – Primorsk, II – Anabar, III – Kuonam, IV – Lower-Olenek, V – Pre-Lena, VI – Middle-Olenek); 8 – Arctic Mining Company's license area.

характерно для высокоалмазоносных пород. В них впервые фиксируются алмазы V + VII разновидностей (по Ю.Л. Орлову (1984)). Предполагается, что формирование россыпей с едиными типоморфными особенностями алмазов на большой территории северо-востока Сибирской платформы обусловлено следующим: эксплозии алмазоносных туфов охватывали значительные площади в позднеладинское и раннекарнийское время, а затем кратерные фации перерабатывались и перемещались в рэтскую и плинсбахскую трансгрессии. Фактически максимальное развитие раннеюрской трансгрессии охватывает область распространения экзотических алмазов V + VII разновидностей.

Возраст коренных источников алмазов исследуемых пирокластических образований может характеризоваться “кимберлитовыми” цирконами средне-позднетриасового тектономагматического этапа, уверенно прослеживаемых в более молодых мезозойских и кайнозойских промышленных россыпях, где отсутствуют средне-позднепалеозойские спектры цирконов, типичные для коренных месторождений алмазов центральной части Якутии. Осадочно-вулканогенные породы отличаются высокой алмазоносностью. Туфы западного крыла Булкурской антиклинали выделяются ураганной алмазоносностью – до 12.63 кар/м³, при средних параметрах 4.89 кар/м³. На этот участок оформлена лицензия на геолого-разведочные работы ООО “Арктическая горная компания”, которая входит в ПАО “Алмазы Арктики” (см. рис. 1).

В целом петрографические и аналитические исследования проводились предшественниками для пород, насыщенных пирокластикой и отобранных лишь в отдельных выходах. Породы, перекрывающие продуктивный пласт (туфоалевропесчаники и туфопесчаники), не опробовались, так как ни у кого не вызывало сомнения их осадочное происхождение. В связи с осуществляемыми поисково-оценочными работами появилась уникальная возможность уточнить мощность, вещественный состав и алмазоносность пород карнийского горизонта на западном склоне Булкурской антиклинали.

ИСХОДНЫЕ ДАННЫЕ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

С 2021 г. на западном крыле Булкурской антиклинали Арктической горной компанией было пройдено 406 скважин на 45 буровых линиях по сети (100–200–400) × (10–40) м общим объемом 6765 м (рис. 2). Бурение проводилось с отбором керновых и петрографических проб.

На данное время обработано и просмотрено 480 керновых шлиховых минералогических проб в Центральной аналитической лаборатории Вилюйской геолого-разведочной экспедиции ПАО

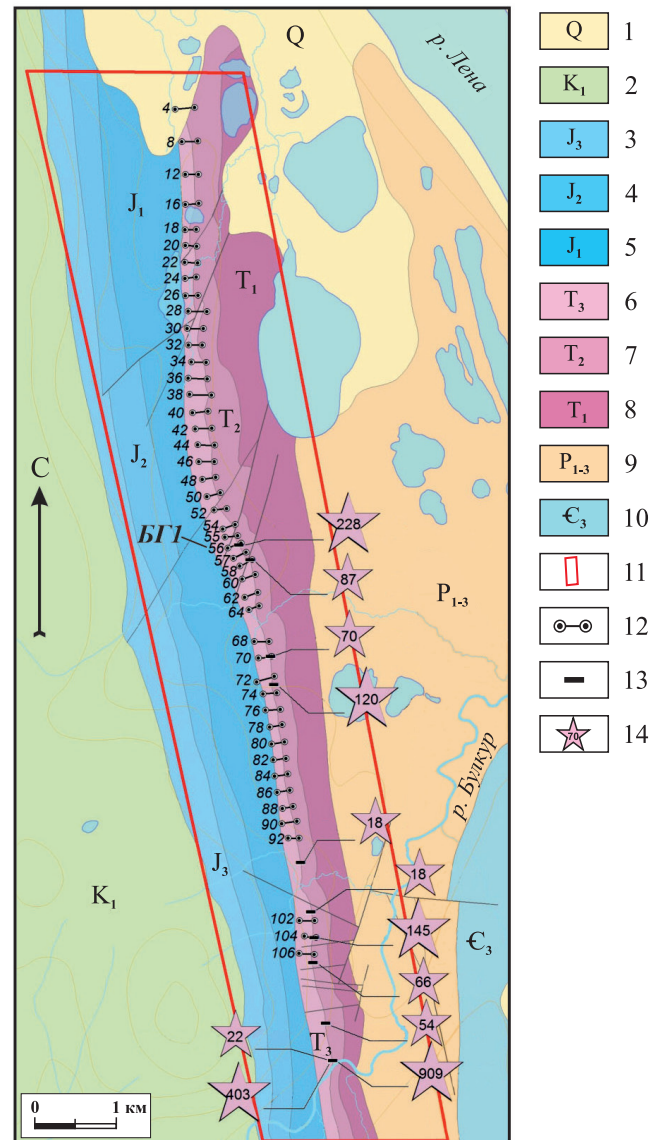


Рис. 2. Схема поисково-оценочных работ, проводимых Арктической горной компанией на северном фланге Булкурской антиклинали.

1 – квартал; 2 – меловая система, нижний отдел: песчаники, алевролиты; 3 – юрская система, верхний отдел: песчаники, алевролиты, аргиллиты; 4 – юрская система, средний отдел: песчаники, алевролиты, аргиллиты; 5 – юрская система, нижний отдел: песчаники, алевролиты, аргиллиты; 6 – триасовая система, верхний отдел: ксенотуфобрекчии, ортотуффиты, паратуффиты, “ракушняки”, алевропесчаники, аргиллиты; 7 – триасовая система, средний отдел: песчаники, алевролиты; 8 – триасовая система, нижний отдел: песчаники, алевролиты, аргиллиты; 9 – пермская система нерасчлененная: песчаники, алевролиты, аргиллиты; 10 – кембрийская система, верхний отдел: доломиты; 11 – площадь работ Арктической горной компании в 2016–2022 гг.; 12 – буровые линии; 13 – каналы; 14 – находки алмазов в канавах, шт.

Fig. 2. The plan of the prospecting and evaluation works done by the Arctic Mining Company at the northern flank of the Bulkur Anticline.

1 – Quaternary; 2 – Lower Cretaceous: sandstones, aleurolites; 3 – Upper Jurassic: sandstones, aleurolites, argillites; 4 – Middle Jurassic: sandstones, aleurolites, argillites; 5 – Lower Jurassic: sandstones, aleurolites, argillites; 6 – Upper Triassic: xenotuff breccias, orthotuffites, paratuffites, shell deposits, aleuro-sandstones, argillites; 7 – Middle Triassic: sandstones, aleurolites; 8 – Lower Triassic: sandstones, aleurolites, argillites; 9 – Undivided Permian: sandstones, aleurolites, argillites; 10 – Upper Cambrian: dolomites; 11 – exploration area of the Arctic Mining Company in 2016–2022; 12 – drill lines; 13 – trenches; 14 – diamond occurrences in trenches, pcs.

“Алроса”, где были выделены и описаны алмазы и их минералы-спутники (пироп, хромшпинелид, пикроильменит и др.). Учитывая яркую прямую корреляционную связь содержания алмазов и пиропов, был сделан расчет их содержания в керновых пробах (кар/т), что впоследствии позволило ранжировать по продуктивности разновидности исследуемых пород. Во Всероссийском научно-исследовательском геологическом институте им. А.П. Карпинского (ВСЕГЕИ) нами описаны 300 шлифов с частичной диагностикой микроанализатором минерального состава, что и легло в основу данной статьи. При петрографической характеристике пород использовалась терминология, предложенная в Петрографическом кодексе (2009). Для пород с заметным содержанием осадочного материала применялась классификация А.В. Вана и Ю.П. Казанского (1985). Термин “туфоалевропесчаники” употреблен для осадочных пород, но в связи с присутствием примеси пирокластического материала ($\leq 10\%$) к наименованию породы прибавлена часть “туфо”, по аналогии с вариантом, предложенным в работе Е.Ф. Малеева (1980), для отнесения подобных образований. Состав минералов анализировался в напыленных углеродом шлифах на электронном микроскопе VEGA-3 производства фирмы Tescan (Чехия), оснащенный современным ЭДС-детектором Ultimmax 100 фирмы Oxford Instruments (Великобритания), обладающим высоким разрешением (до 10 Нм).

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Как уже отмечено, ранее изучалось только маломощное высокопродуктивное основание карнийского яруса, сложенное туффитами и туфами (Граханов и др., 2010, 2022), а туфоалевропесчаники, перекрывающие их до слоя “ракушняков”, не опробовались. Впервые Арктической горной компанией проведено минералогическое и петрографическое опробование перекрывающей туфы пачки, уточнены терминология и состав эксплозивно-обломочных и осадочно-вулканокластических об-

разований. В результате изучения минералогических проб и описания шлифов установлены алмазность и пестрый петрографический состав данных пород. В разрезе туфоалевропесчаники в разной мере и в различных количественных соотношениях включают линзы-прослои туфов, пара- и ортотуффитов, что отражается на прямой корреляции доминирующего пирокластического материала с высоким содержанием пиропов и находками алмазов (рис. 3). Тем самым установлено, что мощность такого потенциально продуктивного пласта может значительно возрастать, достигая по отдельным скважинам до 4–6 м. В итоге продуктивная пачка включает в себя прослои и линзы: туфов, туфов лапиллиевых, ксенотуфобрекчий, туфоконгломератов, ортотуффитов (пирокластиков от 50 до 90%), паратуффитов (пирокластиков от 10 до 50%), туфопесчаников и туфоалевролитов (пирокластиков $\leq 10\%$).

Геолого-петрографическая характеристика пород основания карнийского горизонта

Булкурская пачка залегает на континентальных песчаниках туус-балыкской пачки ладинского яруса среднего триаса (см. рис. 3, 4). Основание алмазносной пачки обычно начинается слоем слаболифитифицированных, участками лифитифицированных, буровато-коричневых, бежево-серых среднекрупнообломочных ксенотуфов мощностью 0.2 м. В породе визуальнo фиксируются крупные пиропы. В кровле ксенотуфов в канаве ХГ56, пройденной Арктической горной компанией по буровой линии ОАО “Нижне-Ленское” БГ1 (см. рис. 2), была вскрыта линза выветрелых базальтов мощностью 15–20 см. Выше залегают линзовидные прослои темно-серых мелкозернистых толстоплитчатых туфоалевролитов мощностью 0.1–0.2 м. Туфоалевролиты (и, возможно, пепловые туфы) очень плотные, толстоплитчатые с ровными поверхностями напластования, четкими нижним и верхним контактами. Порода содержит невысокие концентрации пиропов. Верхнюю часть разреза булкурской пачки венчают черные блестящие и темно-серые мелколапиллиевые ксенотуфы с лапиллями черного шамотита и округлыми иллитовыми включениями. В породе фиксируются уплощенные ксенолитокласты песчаников и алевролитов. В средней части залегает прослой буровато-черных, буровато-коричневых туфов, где количество обломков кислых и средних пород увеличивается. Мощность лапиллиевых туфов варьирует от 0.3 до 0.7 м, в среднем составляя 0.4 м. Перекрывает булкурскую пачку слой мощностью 2.0 м темно-серых туфоалевропесчаников с тонкими линзами-прослоями туфогравелитов и по отдельным разрезам светло-серых грубозернистых песчаников мощностью 1.0–2.0 м, на которых залегают органогенные алевролиты и

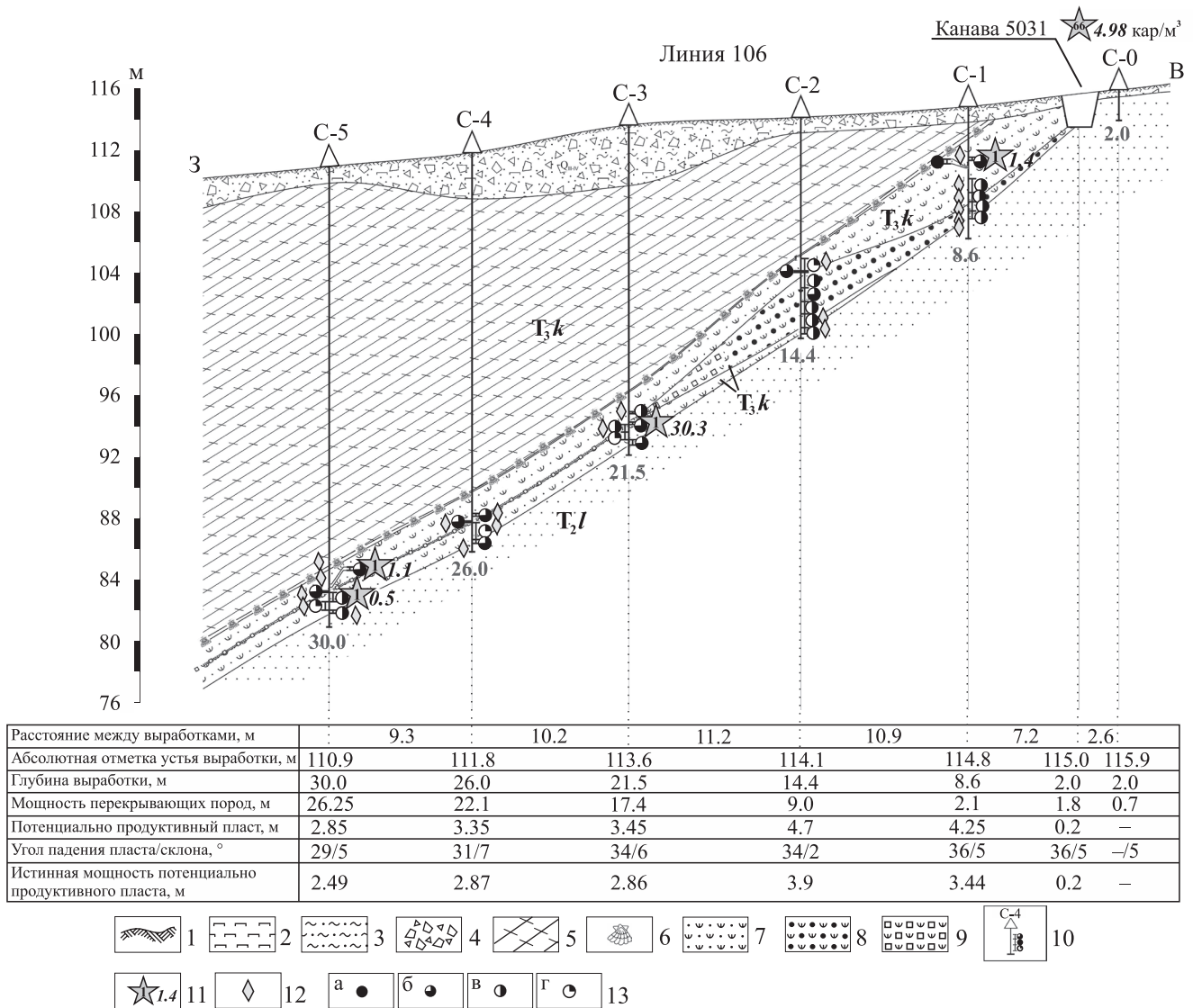


Рис. 3. Разрез осадочно-вулканокластических пород основания карнийского яруса.

1 – почвенно-растительный слой; 2 – лед; 3 – суглинки; 4 – дресва, щебень, глыбы; 5 – аргиллиты; 6 – “ракушняк”; 7 – туфоалевропесчаники с редкими интервалами паратUFFитов и ортотUFFитов; 8 – ортотUFFиты; 9 – ксенотUFFобрекчии; 10 – скважина, ее номер, результаты опробования; 11 – находки алмазов, шт.; среднее содержание, кар/т; 12 – места отбора петрографических проб; 13 – содержание пиропов, кар/т: а – 1000, б – 100–1000, в – 10–100, г – 0–10.

Fig. 3. Section of Carnian sedimentary volcanoclastic rocks.

1 – top soil; 2 – ice; 3 – loam soil; 4 – gruss, detritus, boulders; 5 – argillites; 6 – shell deposits; 7 – tuff aleuro-sandstones with occasional intervals of paratuffites and orthotuffites; 8 – orthotuffites; 9 – xenotuff breccias; 10 – well, its number, sampling results; 11 – diamond occurrences, pcs; average grade of CPT; 12 – petrographic sampling; 13 – pyrope grade, CPT: a – 1000, б – 100–1000, в – 10–100, г – 0–10.

аргиллиты осипайской свиты с многочисленной карнийской фауной (“ракушняки”, см. рис. 3, 4). Туфоалевропесчаники и “ракушняки” до настоящего времени не были изучены и опробованы, хотя не исключалась их потенциальная алмазоносность (Граханов и др., 2022). Мощность туфов и ксенотUFFобрекчии варьирует от 0.1 до 2.2 м, туфоалевропесчаников – от 2.0 до 4.0 м.

КсенотUFFобрекчии темно-серые, серые, бежево-серые, коричневато-серые кристалло-витро-литокластические крупно-среднеобломочные, крупно-мелко-среднеобломочные породы образованы овальными, округлыми и угловатыми измененными литокластами, витро-литокластами (~80–90%) и кристаллокластами кварца, полевых шпатов, чешуй гидратированной слюды, псевдоморфоз по

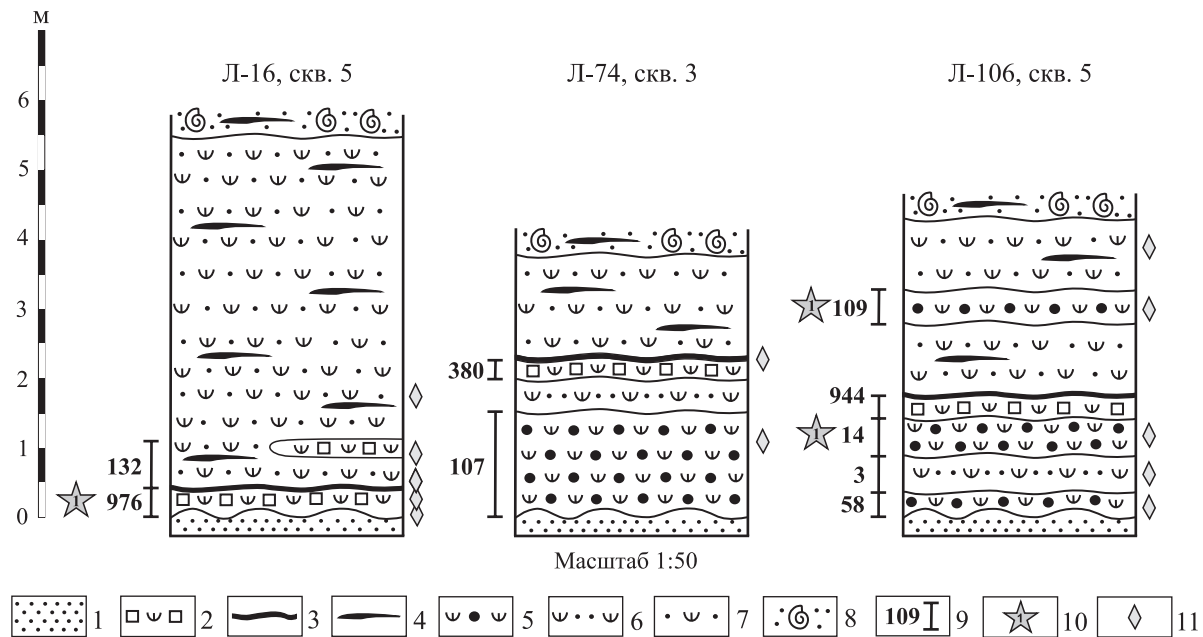


Рис. 4. Разрез осадочно-вулканокластических пород булкурской пачки основания карнийского яруса.

1 – песчаники ладинского горизонта; 2 – ксенотуфобрекчии; 3 – туфы; 4 – линзы пепловых туфов тонкообломочных; 5 – ортотуффиты; 6 – паратуффиты; 7 – туфоалевропесчаники; 8 – “ракушняк”; 9 – интервал kernового опробования, содержание пиропов, кар/т; 10 – находки алмазов, шт.; 11 – места отбора шлифов.

Fig. 4. Section of sedimentary volcanoclastic rocks of the Bulkur member of the Carnian base.

1 – sandstones of the Ladinian horizon; 2 – xenotuff breccias; 3 – tuffs; 4 – lens of fine ash tuffs; 5 – orthotuffites; 6 – paratuffites; 7 – tuff aleuro-sandstones; 8 – shell deposits; 9 – core sampling intervals, pyrope grade of CPT; 10 – diamond occurrences, pcs; 11 – section sampling sites.

оливины (?), чрезвычайно редкими биокластами, заключенными в основную массу, выполненную хлоритом, гидрослюдой, кальцитом (рис. 5, 6).

Преобладающие витро-литокласты имеют апогиалиновую и апокрипстокристаллическую структуру, массивную текстуру, сложены оливковым хлоритом, бежево-оливковым хлорит-гидрослюдистым агрегатом с микровкраплениями рудного минерала. Подобным редким округлым литокластам свойственно концентрически-зональное строение, обусловленное закономерным распределением рудных минералов. В ксенотуфобрекчии распространены бежево-коричневые и буровато-коричневые литокласты, в разной степени пропитанные пылеватым агрегатом лейкоксена и/или гидроксидов железа, подчеркивающим порфиновые и кристаллокластические структуры, брекчиевые и автолитовые текстуры, и насыщенные мелкими лейкоксенизированными железо-титанистыми минеральными фазами и рутилом. Встречаемые отдельные бурые округлые литокласты и их обломки с автолитовой текстурой, маркированной бежевыми и буровато-бежевыми тонкими кольцевыми зонами, в центре могут содержать кварц, пироп, хромшпинелид, преобразованные железомagneзиальные силикаты. В редких включениях с автоли-

товой структурой в центральной части наблюдаются обломки полностью хлоритизированных долеритов с апоофитовой структурой. В автолитовых литокластах может быть проявлена радиальная трещиноватость, происхождение которой является дискуссионным. В различных количествах рассмотренные литокласты могут содержать мелко-среднеобломочные осадочные зерна.

Наблюдаемая сопряженность двух приведенных разновидностей пород, а именно единичные включения бурых автолитов в хлоритизированных витрокластах или бурые оболочки с флюидальной текстурой, обрамляющие витрокласты, свидетельствует об их принадлежности к единому источнику, связанному с минералами-спутниками и алмазами.

В меньшем объеме в ксенотуфобрекчиях присутствуют овальные и угловатые обломки мелко- и среднекристаллических долеритов с офитовой структурой, замещенных хлоритом и хлорит-гидрослюдистым агрегатом, иногда до такой степени, что едва заметны контуры псевдоморфоз. Встречаются округлые обломки базальтов с апоинтерсертальной структурой, угловатые обломки порфириновых и афировых андезитов с пилотакситовой и микролитовой основной массой, оваль-

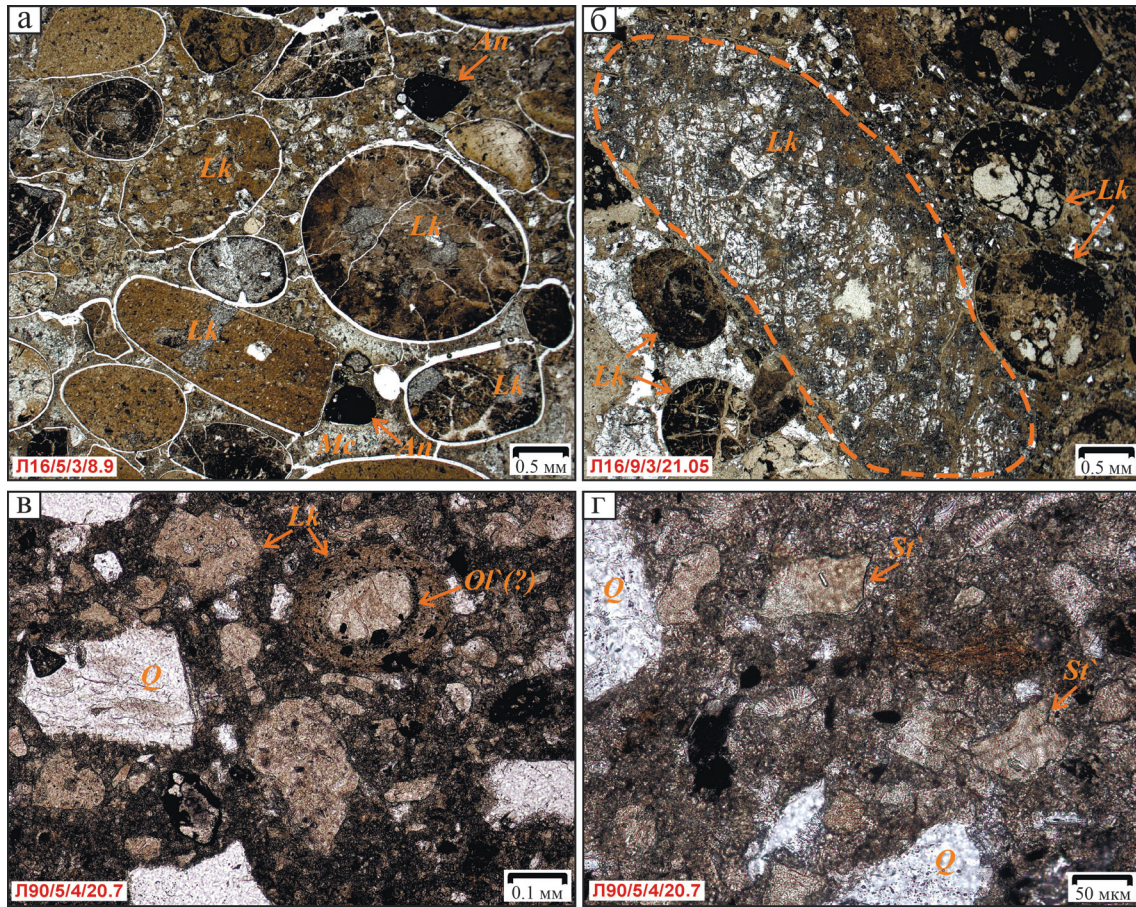


Рис. 5. Микрофотографии шлифов ксенотуфобрекчий и включений пепловых туфов.

а – типичная структура и неоднородная связующая масса ксенотуфобрекчий; б – в центре крупный карбонизированный обломок с реликтовой панидиоморфной структурой (дунит?); в, г – сидеритизированные пепловые туфы; шлифы без анализатора. *Lk* – литокласты; *St* – измененное стекло; *An* – анатаз; *Mc* – гидрослюда; *Ol*(?) – псевдоморфоза тонкочешуйчатого хлорита по оливину; *Q* – кварц.

Fig. 5. Photomicrographs of xenotuff breccia sections and enclaves of ash tuffs.

а – a typical structure and heterogenous binder mass of xenotuff breccias; б – a large carbonized fragment with relic panidiomorphic texture (dunite?); в, г – sideritized ash tuffs, sections without analyzers. *Lk* – lithoclasts; *St* – metamorphosed glass; *An* – anatase; *Mc* – hydromica; *Ol*(?) – pseudomorphosis of fine chlorite by olivine; *Q* – quartz.

ные обломки трахитов и слюдитов. Удлиненно-овальные обломки, нацело кальцитизированные, с реликтовой панидиоморфной структурой могут относиться к преобразованным дунитам (см. рис. 5б).

В породе распространены овальные и удлиненно-овальные буровато-кирпичные литокласты тонко-мелкообломочных, средне-тонко-мелкообломочных пепловых туфов лито-витро-кристаллокластических размером от 1.5×1.0 до 2×5 см, с типичной темно-серой тонкой оболочкой. Пепловые туфы сложены преобладающими обломками преобразованных магнезиально-железистых силикатных минералов (выполненными микрочешуйчатым хлоритом, хлорит-гидрослюдистым агрегатом) и хлоритизированных витрокластов, оскольчатого кварца (15%), чешуями светлой и темной слю-

ды, встречаются редкие осколки пироба и углефицированный растительный детрит (см. рис. 5в, г). Для некоторых округлых измененных включений характерна автолитовая текстура, обусловленная концентрически-зональным распределением микросталлов титаножелезистых оксидов, рутила и буровато-серого пылеватого лейкоксена. В центре автолита может находиться овальная псевдоморфоза хлорит-гидрослюдистого агрегата по оливину (?). Связующая масса и кластический материал пепловых туфов обычно замещены сидеритом (25–80%) в ассоциации с альбитом. В породе отмечаются рудные минералы – лейкоксенизированный рутил и мелкие псевдоморфозы преобразованного рутила по ильмениту с сохранившейся келифитовой каймой.

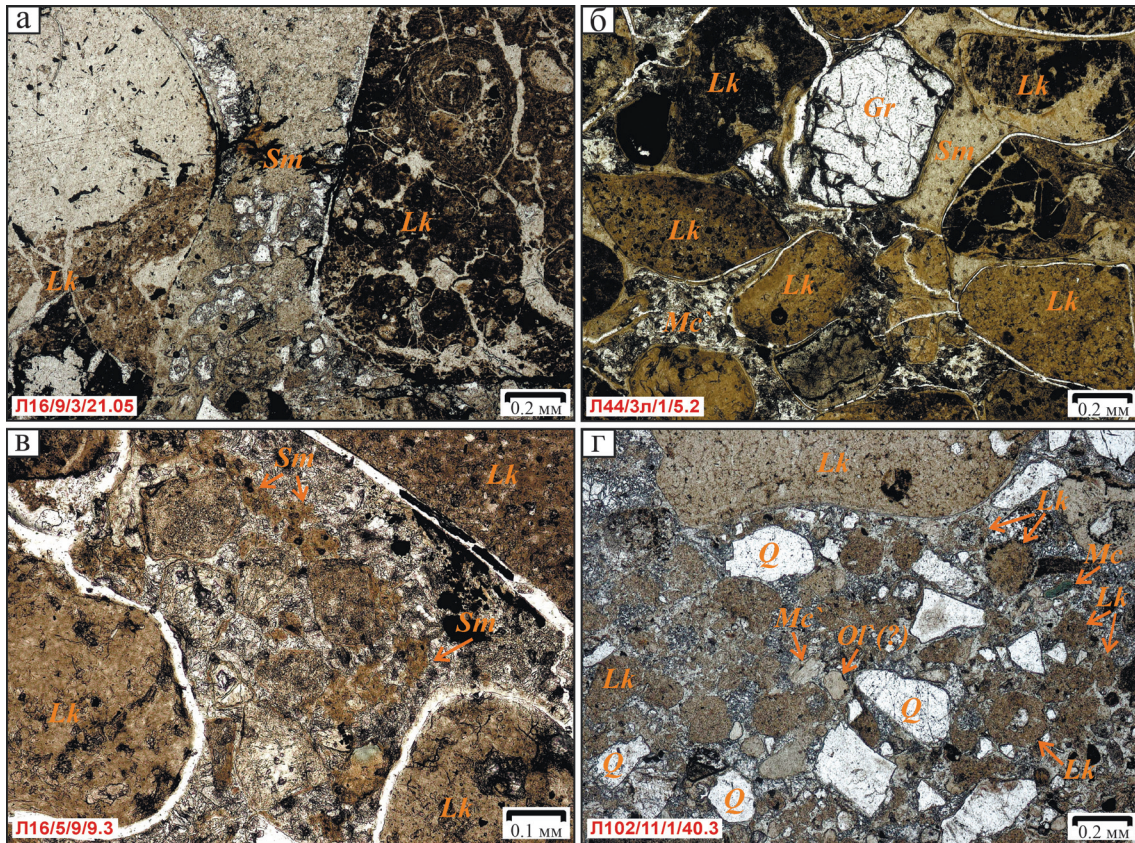


Рис. 6. Микрофотографии шлифов ксенотуфобрекчий.

а, б – преобразованные литокласты туфобрекчий, литокласты с апокриптокристаллической структурой и обломок граната, заключенные в апогиалиновую хлоритизированную основную массу, на отдельных участках гидрослюдистую; в – реликты связующей массы; г – сегрегационная текстура связующей массы, обособленные литокласты с включениями тонко раздробленных осадочных зерен; в крайней правой части показана зеленая фукситовая слюда; шлифы без анализатора. *Lk* – литокласты; *Mc* – слюда; *Mc'* – гидратированная слюда; *Gr* – гранат; *Ol*(?) – псевдоморфоза тонкочешуйчатого хлорита по оливины; *Q* – кварц; *Sm* – связующая масса.

Fig. 6. Photomicrographs of xenotuff breccia sections.

а, б – altered lithoclasts of tuff breccias, lithoclasts with apocryptocrystal structure and a garnet fragment confined in apohyaline chloritized ground mass, in some places – hydromicas; в – relics of the binder mass; г – segregated texture of the binder mass, separate lithoclasts with enclaves of finely divided sedimentary grains; the rightmost part demonstrates green fuchsite mica; sections without analyzers. *Lk* – lithoclasts; *Mc* – mica; *Mc'* – hydrated mica; *Gr* – garnet; *Ol*(?) – pseudomorphosis of fine chlorite by olivine; *Q* – quartz; *Sm* – binder mass.

Связующая масса ксенотуфобрекчий имеет неоднородное строение, главным образом полностью сложена хлоритом, гидрослюдой, кальцитом в ассоциации с анальцимом или альбитом. На отдельных участках представлена оливковой хлоритовой и бежево-оливковой хлорит-гидрослюдистой апостекловатой основной массой с реликтовыми гиалиновой или криптокристаллической структурами (см. рис. 6а, б). В области насыщения осадочными зернами в основной массе просматривается флюидальная текстура по ориентированному и потоковидному распределению чешуй вторичного хлорит-гидрослюдистого агрегата. При преобладании кальцита, пачек гидрослюды и светло-зеленоватого хлорита в связующей массе наблюда-

ются ее реликтовые фрагменты в виде амёбовидных участков, тонких оболочек вокруг зерен (см. рис. 6в), а также обособлений в качестве мелких округлых и овальных литокластов, иногда с ядерными автолитовыми текстурами (см. рис. 6г).

Акцессорные минералы ксенотуфобрекчий – циркон, хромшпинелид, пироп (табл. 1), лейкоксенизированные анатаз и рутил, турмалин.

В кровле ксенотуфобрекчий прослеживаются прослойки-линзы серых, коричнево-серых туфов среднеобломочных литокластических мощностью до 10 см. Породы образованы овальными и округлыми литокластами с реликтовой криптокристаллической структурой (рис. 7а, б). Основная масса литокластов полностью хлоритизирована

Таблица 1. Химический состав аксессуарных минералов из шлифов туфогенных пород основания карнийского яруса западного склона Булкурской антиклинали

Table 1. Chemical composition of accessory minerals from tufogenic rocks of the Carnian base the west flank of the Bulkur Anticline

Пироп										
№ п.п.	SiO ₂	TiO ₂	Al ₂ O ₃	FeO _{общ}	MnO	MgO	CaO	Cr ₂ O ₃	Сумма	
1	39.81	1.01	21.87	10.33	0.29	21.53	4.54	1.12	100.49	
2	42.55	1.05	21.81	8.86	0.32	20.66	4.01	0.67	99.94	
3	43.11	0.84	21.43	7.77	0.23	21.95	4.18	1.29	100.78	
4	42.88	0.24	22.71	6.35	0.26	22.9	3.77	0.89	100.00	
Шпинелиды										
№ п.п.	TiO ₂	Al ₂ O ₃	FeO _{общ}	MgO	V ₂ O ₅	Cr ₂ O ₃	Сумма			
5	4.56	7.36	25.42	15.87	–	46.39	99.60			
6	–	44.20	13.07	19.27	0.27	23.27	100.07			
Флогопит										
№ п.п.	SiO ₂	TiO ₂	Al ₂ O ₃	FeO _{общ}	MgO	Na ₂ O	K ₂ O	BaO	F	Сумма
7	38.85	5.93	11.04	9.33	18.77	0.70	7.13	2.81	4.09	98.67
8	40.63	4.27	12.22	8.27	20.76	1.21	7.50	–	6.48	101.34
Анальцим										
№ п.п.	SiO ₂	Al ₂ O ₃	CaO	Na ₂ O	Сумма					
9	54.87	21.05	0.12	12.39	88.42					
10	55.22	21.26	0.11	12.64	89.23					
Альбит										
№ п.п.	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Na ₂ O	Сумма						
11	61.19	24.22	14.55	99.96						
Хлоритовый и гидрослюдисто-хлоритовый агрегаты										
№ п.п.	SiO ₂	TiO ₂	Al ₂ O ₃	FeO _{общ}	MgO	CaO	K ₂ O	P ₂ O ₅	Cr ₂ O ₃	Сумма
12ц	25.09	–	22.76	34.47	5.12	–	–	–	–	87.44
13ц	27.87	–	24.70	31.93	4.02	–	0.28	–	–	88.80
14в	29.33	0.22	23.05	28.06	3.82	0.33	0.89	0.45	–	86.15
15в	31.56	0.40	22.16	30.86	3.93	0.42	0.75	0.26	–	90.34
16в	29.44	0.61	22.74	28.74	4.69	0.26	0.61	–	–	87.09
17в	25.34	1.39	19.91	26.10	4.27	0.26	0.48	–	0.25	77.99
Герсдорфит										
№ п.п.	Fe	Co	Ni	Sb	As	S	Сумма			
18	9.38	5.07	19.53	0.33	39.79	25.9	100.00			
19	13.22	4.24	16.10	–	38.38	28.06	100.00			
20	13.56	3.79	17.87	–	37.52	27.26	100.00			
Пирит										
№ п.п.	Fe	Ni	As	S	Сумма					
21	43.26	2.49	7.74	46.51	100.00					
22	44.20	–	0.48	55.33	100.00					
23	44.91	–	–	55.09	100.00					

Примечание. Туфы (№ 1, 12ц – обр. Л116/5/3/8.9); ксенотуфобрекчии (№ 2, 11, 14в–17в – обр. Л44/1/3/13.6); пепловые туфы (№ 3, 7, 8, 18–23 – обр. Л190/5/4/20.7); ортотуффиты (№ 4–6, 9, 10 – обр. Л106/3/1/18.67); паратуффиты (№ 13ц – обр. Л192/5/3/23.9); ц – цемент, в – литокласт. Прочерк – не обнаружено.

Note. Tuffs (No. 1, 12c – sample Л116/5/3/8.9); xenotuff breccias (No. 2, 11, 14v–17v – sample Л44/1/3/13.6); ash tuffs (No. 3, 7, 8, 18–23 – sample Л190/5/4/20.7); orthotuffites (No. 4–6, 9, 10 – sample Л106/3/1/18.67); paratuffites (No. 13c – sample Л192/5/3/23.9); c – cement, v – lithoclast. Dash – not found.

на и равномерно пропитана микрокристаллами сидерита, включает мелкие чешуи слюды, точечные вкрапления железотитанистых оксидов, спорадически встречаются алевроаргиллитовые зерна кварца, полевых шпатов, округлые псевдоморфозы хлорита по оливину (?) и раковины гастропод. Связую-

щая масса от литокластов слегка отличается чуть большим содержанием железотитанистых оксидов и может в значительном количестве концентрировать зерна, находящиеся на контакте алевропесчаников, подчеркивая контуры обломков. На контакте, в вышезалегающих алевропесчаниках, наблюда-

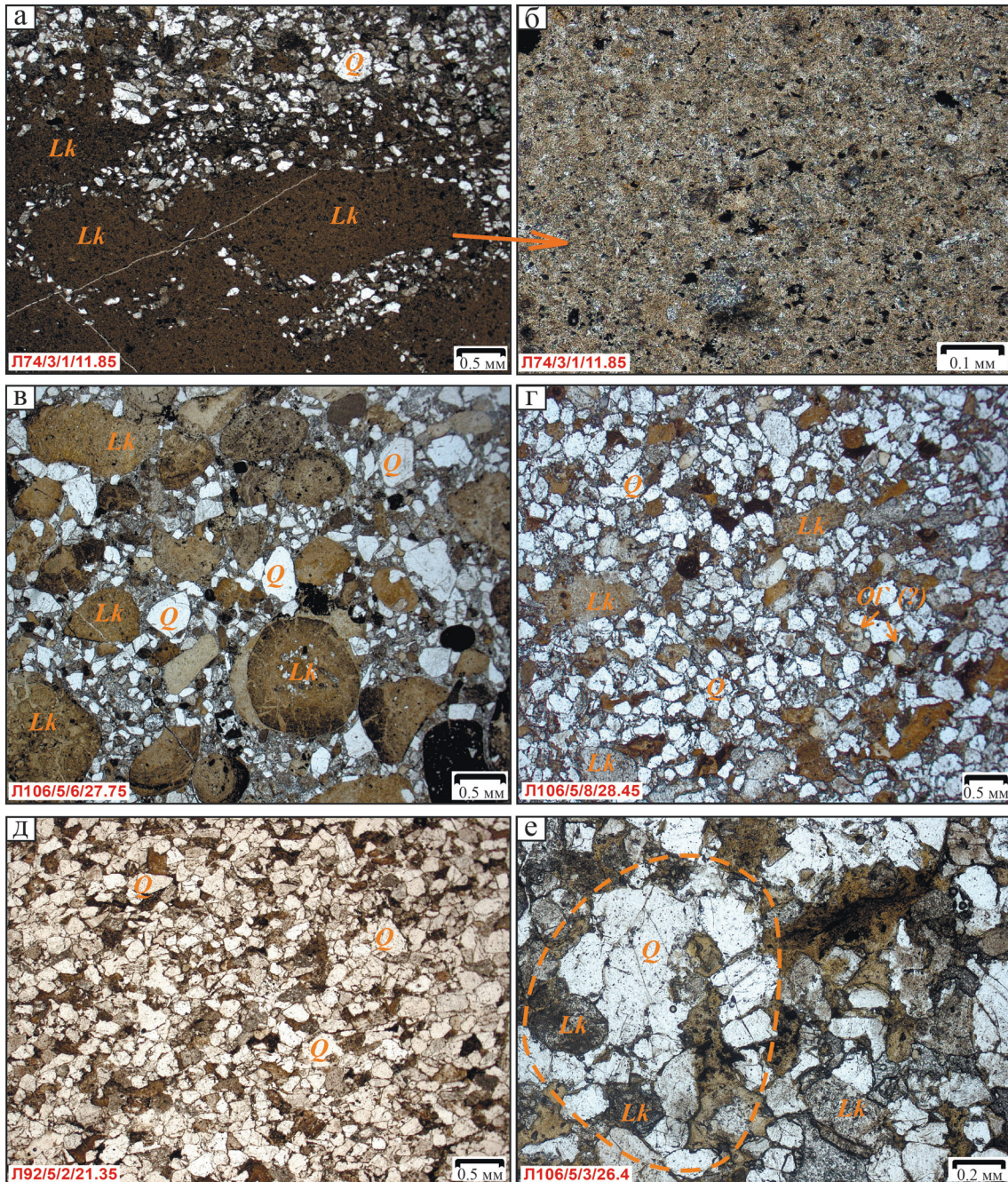


Рис. 7. Микрофотографии пород.

а – туфы на контакте с туфоалевропесчаниками; б – апокриптокристаллическая структура хлоритизированной основной массы туфов; в – ортотуффиты; г – паратуффиты; д, е – туфоалевропесчаники; е – штриховой линией выделен обломок частично дезинтегрированного песчаника с включениями андезибазальтов; прослеживается флюидальная текстура в хлоритизированной и лейкоксенизированной связующей массе; шлифы без анализатора. *Lk* – литокласты; *Q* – кварц; *Ol(?)* – псевдоморфоза тонкочешуйчатого хлорита по оливину.

Fig. 7. Photomicrographs of rocks.

а – tuffs at the interface with tuff aleuro-sandstones; б – apocryptocrystalline structure of chloritized ground mass of tuffs; в – orthotuffites; г – paratuffites; д, е – tuff aleuro-sandstones; е – dashed line highlights a fragment of a partly disintegrated sandstone with enclaves of andesite basalts; fluidal texture is traced in chloritized and leucoxenized binder mass; sections without analyzers. *Lk* – lithoclasts; *Q* – quartz; *Ol(?)* – pseudomorphosis of fine chlorite by olivine.

ются дезинтеграция и брекчиевая текстура за счет хаотичного распределения линз литокластов туфов согласно контакту либо в виде связующей массы, обрамляющей отдельные округлые обломки алевропесчаников и выполняющей в них межзерновое пространство.

В некоторых разрезах и канаве БГ-1 в приведенных породах отмечались линзы-прослои темно-коричнево-серых и темно-серых лапшилиевых туфов мощностью 0.3–0.7 м, отличающиеся выдержанным размером (0.1–0.3 см) округлых и овальных лапиллей (около 70%), образованных шамозитом и иллитом. Структура пород крупно-среднеобломочная литокластическая. Тип цемента – контактово-поровый карбонатный, может содержать терригенный материал (<5%). Лапилли подобны витро-литокластам из ксенотуфобрекчий по реликтовым структурно-текстурным особенностям, вторичным преобразованиям, количественному соотношению.

Ортофуффиты светло-бежево-серые, бежево-серые среднеобломочные, мелко-среднеобломочные и средне-мелкообломочные породы с кристалло-литокластической структурой и слоистой текстурой, сложены преобладающими обломками и включениями пирокластики (55–70%, редко 80–85%), осадочными зернами кварца, полевых шпатов, чешуями гидратированной слюды и углефицированным растительным детритом. Связующая масса либо отсутствует (контакт обломков соответствует типу соприкосновения), либо имеет магматическое происхождение, либо находится в сочетании с цементом пленочным гидрослюдистым и поровым хлоритовым с кальцитом, анальцитом и альбитом (см. табл. 1).

Пирокластический материал в основном присутствует в виде овальных, округлых и пламевидных включений пород, полностью замещенных тонко-чешуйчатым хлоритом, хлорит-гидрослюдистым агрегатом и различающихся реликтовыми структурами – гиалиновой, гиалопилитовой, криптокристаллической, порфировой, микролитовой, и текстурами – массивной, флюидальной, аволитовой и концентрически-зональной (см. рис. 7в). Структурно-текстурные особенности литокластов просматриваются благодаря разной степени концентрации пылеватого лейкоксена и по распределению мелких кристаллов лейкоксенизированных железотитанистых или титанистых оксидов (ильменит?, рутил), а также дифференцированному соотношению хлорита и гидрослюды. Особенности их строения и взаимоотношения подобны приведенным для литокласт из ксенотуфобрекчий. Границы данных литокласт неопределенные, могут иметь четкие контуры или теряться в осадочном материале в виде проникновения “расплава” по трещинам в осадочных зернах, представляя собой связующую массу, о чем свидетельствуют иногда

присущие им струйчатые, струйчато-флюидальные и флюидальные текстуры.

В значительно меньшем количестве (7–10%) в породе отмечаются овальные и угловатые обломки хлоритизированных долеритов с реликтовой офитовой структурой; угловатые и округлые обломки андезибазальтов с плагиофировой структурой и пилотакситовой основной массой, гиалопилитовых и порфирированных андезитов, порфирированных афировых дацитов с микрофельзитовой основной массой; оскольчатые и угловатые обломки риолитов с микрофельзит-вариолитовой и вариолитовой структурами; овальные обломки (порода/минерал?), образованные пачками гидрослюды. В породе встречаются ($\approx 1\%$) идеально овальные, реже округлые мелкие включения, выполненные относительно светло-зеленым тонкочешуйчатым хлоритом. Возможно, подобные включения являются псевдоморфозами по ранее серпентинизированному железомagneзиальному силикату (по оливину?).

Зерна осадочного материала угловатые, оскольчатые, реже оглаженные, обычно трещиноватые, зачастую раздроблены с характерными элементами деформационного угасания.

Акцессорные минералы ортофуффитов – гранат, хромшпинелид, рутил, анатаз, турмалин, циркон.

Паратуффиты светло-серые и светло-бежево-серые среднеобломочные, мелко-среднеобломочные (?) средне-мелкообломочные, мелкообломочные породы с лито-кристаллокластической структурой и слоистой текстурой (см. рис. 7г), сложены преобладающими осадочными зернами кварца (50–75%) и полевых шпатов ($\approx 10\text{--}15\%$) с примесью биотита, мусковита, гидрослюды и подчиненным количеством обломков вулканических пород (15–40%). Паратуффиты в разной степени насыщены углефицированным растительным детритом, иногда образующим частые тонкие прослои. В целом по морфологическим особенностям осадочных зерен, составу, структурно-текстурным особенностям, количественным соотношениям и преобразованиям обломков пирокластики, типу цемента и набору акцессорных минералов паратуффиты являются аналогом ортофуффитов.

Туфоалевропесчаники серые, светло-зеленовато-серые, зеленовато-серые неравномерно зернистые неяснослоистые с тонкой комковато-линзово-слоистой текстурой, образованы разновеликими (0.03–0.35 мм) осадочными зернами преобладающего кварца ($\approx 65\text{--}70\%$), плагиоклаза (альбита, серицитизированного олигоклаза-андезина), калиево-натриевого полевого шпата, микроклина, чешуями гидрослюды и темной слюды (биотит, флогопит?), редкими овальными псевдоморфозами хлорита и гидрослюды по железомagneзиальному минералу (оливину?), угловатыми обломками кремней, средних и кислых по составу вулканических пород (5–7%), обломками песчаника, раковин-

нами гастропод (см. рис. 7д). В породе тип цемента, поровый и соприкосновения, представлен хлоритом и кальцитом, также развитыми по пирокластике и отдельным осадочным зернам. Вблизи ксенотуфовых и туфовых линз в туфоалевропесчаниках наблюдается увеличение доли оливковой измененной апостекловатой или апокриптокристаллической основной массы ($\approx 10\%$) с флюидалной текстурой, хлорит-гидрослюдистым составом и микровключениями лейкоксенизированных железотитанистых минеральных фаз.

Обломки вулканических пород имеют оскольчатые и угловатые формы, по особенностям реликтовой структуры и вторичных преобразований могут относиться к андезибазальтам, андезитам, дацитам и риолитам. Подобные по составу включения средних и кислых вулканических пород отмечаются в уцелевших от дезинтеграции мелких обломках туфоалевропесчаника (см. рис. 7е).

В породе распространены буровато-рыжие линзы тонкообломочного пеплового туфа, преобразованного в лейкоксен-хлорит-гидрослюдистый агрегат либо замещенного микрокристаллическим сидеритом с характерными комковатой и струйчато-флюидалной текстурами. Подобные линзы содержат в разных количественных соотношениях алевролит-алевролитовые и песчаные осадочные зерна. Границы линз отчетливые или теряются, образуя связующую массу в приконтактовом осадочном материале.

Аксессуарными минералами туфоалевропесчаников являются циркон, лейкоксенизированные

анатаз и рутил, хромшпинелид (0.07×0.07 мм), турмалин.

На отдельных частях разреза в основании горизонтов туфоалевропесчаников присутствуют мало мощные (до 10 см) рыжевато-серые линзы пиритизированных, полностью преобразованных, кристалло-лито-витрокластических туфов крупно-среднеобломочных (рис. 8а), сложенных округлыми и овальными включениями с гиалиновой или криптокристаллической основной массой, превращенной в хлорит-гидрослюдистый агрегат. В литокластах прослеживаются измененные кристаллиты, редкие мелкие вкрапленники, микрокристаллы лейкоксенизированных железотитанистых оксидов. Более половины включений неравномерно пропитано пылеватым агрегатом лейкоксена, подчеркивающим флюидалную, брекчиевую, зонально-концентрическую и автолитоподобную текстуры пород. Связующая масса (5–7%) образована хлоритом и содержит осадочные зерна (2%). В данной породе обнаружены обломки трещиноватых пиропов (см. табл. 1, № 1) размером от 0.3×0.3 до 1.5×1.0 мм (рис. 8б).

“Ракушняк” обычно светло-зеленовато-серый, светло-бежево-серый с зеленоватым оттенком мелко-средне-крупнообломочный, образован в основном крупными обломками раковин двустворок (25–45%) и зачастую хаотично расположенными зеленовато-серыми, серыми и темно-серыми линзовидными, овальными и караваяобразными литокластами (0.5×0.5 до 3×5 см), заключенными в осадочно-пирокластический мат-

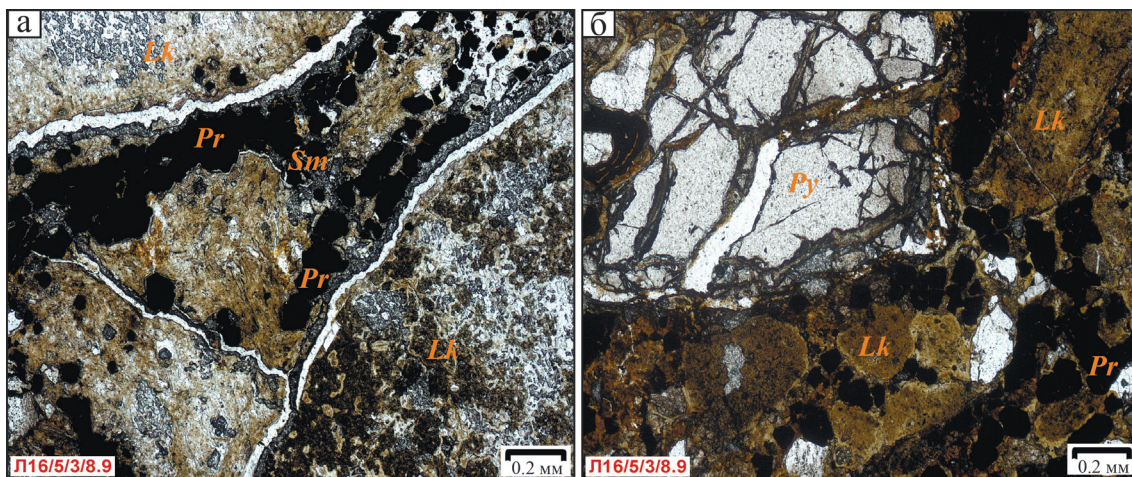


Рис. 8. Микрофотографии туфов.

а – хлоритизированные витро-литокласты и апостекловатая основная масса, неравномерно пиритизированная; б – кристаллокласт пироба (см. состав в табл. 1, № 1); шлифы без анализатора. *Lk* – литокласты; *Sm* – связующая масса; *Py* – пироп; *Pr* – пирит.

Fig. 8. Photomicrographs of tuffs.

а – chloritized vitroclasts and apovitic ground mass, heterogeneously pyritized; б – pyrope crystalloclast (composition in Tabl. 1, No. 1); sections without analyzers. *Lk* – lithoclasts; *Sm* – binder mass; *Py* – pyrope; *Pr* – pyrite.

рикс с мелко-среднеобломочной (рис. 9а), мелко-тонкообломочной, мелкообломочной структурами. Наблюдаемая по вертикали смена структур осадочно-пирокластического материала определяет слоистую текстуру, а на отдельных интервалах – хаотичное распределение крупных включений, иногда обрамленных створками раковин, и различная ориентировка створок по удлинению обуславливают брекчиевую текстуру “ракушняка”.

Исследованные серые крупные включения представлены туфом средне-крупнообломочным лито-витрокластическим андезитового (?) либо основного состава (?), неравномерно насыщенным отдельными зернами и обломками полевошпатовых кварцевых туфоалевропесчаников (см. рис. 9б), биокластической. Среди крупных включений также отмечаются пепловые туфы.

Мелко-среднеобломочный (0.01–2.00 мм) осадочно-пирокластический матрикс представлен обломками пирокластике (25%), оскольчатыми, угловатыми и оглаженными зернами кварца (10–20%), плагиоклаза, калиево-натриевого полевого шпата (первые проценты), раковинами гастропод (см. рис. 9а). Пирокластический материал определяется по реликтовым структурно-текстурным признакам, выделяются округлые и овальные обломки долеритов с офитовой структурой, вариолитовых базальтов (?), андезибазальтов, гиалопилитовых андезитов; оскольчатые и угловатые обломки дацитов (?) и риолитов. В небольшом количестве присутствуют обломки туфов с концентрически-зональными, автолитовыми структурами и мелкие идеально овальные хлоритизированные включения

(силикатный минерал либо измененное стекло?). Цемент поровый карбонатный, порой с мелкими идиоморфными кристаллами анальцима. Карбонатом замещена часть включений пирокластике и зерен осадочных пород.

Мелко-тонкообломочный (≤ 0.1 мм) осадочно-пирокластический матрикс (пепловый туф) имеет комковатую текстуру и состоит из аллотриоморфного альбита, чешуй мусковита и гидрослюды, преобразованного рудного минерала (титаномагнетит, ильменит?) и преобладающей болотно-оливковой основной массы хлорит-гидрослюдистого состава с реликтовой крипстокристаллической структурой, практически нацело сидеритизированной и неравномерно кальцитизированной. На отдельных интервалах пепловый туф приобретает тонкослоистую текстуру в связи с разной степенью обогащения мелко- и среднеобломочными зернами кварца и полевых шпатов, включениями пирокластике, чешуями мусковита, биокластами (створками, раковинами гастропод).

Акцессорные минералы “ракушняка” – циркон, осколки граната ($0.05 \times 0.05 - 0.1 \times 0.3$ мм), угловатые обломки хромшпинелида (0.3×0.15 мм), лейкоксенизированные рутил и анатаз.

В рассмотренных разновидностях пород основания карнийского горизонта элементом эруптивного воздействия является наблюдаемая трещиноватость осадочных зерен с характерными для них деформационными элементами угасания, вплоть до раздробленности на микроблоки, что наиболее проявлено в кварце как в крайне хрупком минерале. Магматическая природа отдельных участ-

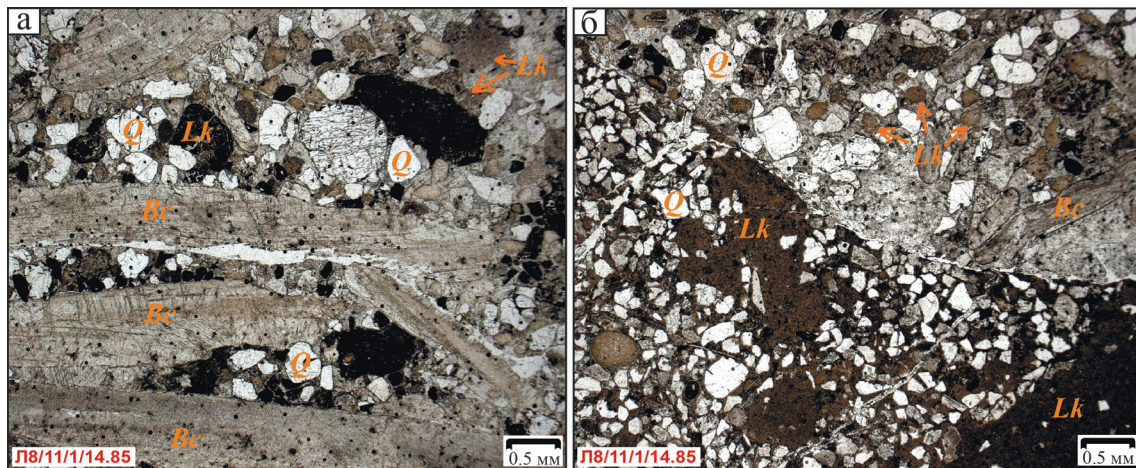


Рис. 9. Микрофотографии “ракушняка”.

а – обломки створок заключены в мелко-среднеобломочный осадочно-пирокластический матрикс; б – “ракушняк” (верху) на контакте с туфом; шлифы без анализатора. Lk – литокласты; Bc – биокласты; Q – кварц.

Fig. 9. Photomicrographs of shell deposits.

а – valve fragments are confined in fine-to-medium detrital sedimentary-pyroclastic matrix; б – shell deposits (top) at the interface with tuff; sections without analyzers. Lk – lithoclasts; Bc – bioclasts; Q – quartz.

ков связующей основной массы объясняется флюидальной текстурой, подчеркнутой пылеватым агрегатом лейкоксена и “обтеканием” зерен и включений, а также подтверждается проникновением расплава по трещинам и разьединением минералов, реже более ранних включений пирокластики на отдельные фрагменты. Данные признаки свидетельствуют о принадлежности пород к кратерной фации и близком расположении жерла.

Наиболее поздние преобразования охарактеризованных пород выражены в карбонатизации, пиритизации и глинизации. Карбонатом (> кальцит, сидерит, анкерит) спорадически замещаются основная масса, отдельные обломки пород и зерна. Пирит в виде изометричных кристаллов и сплошного выполнения отдельных участков основной массы прослеживается в породах вдоль напластования и преимущественно локализован в пирокластическом материале. В туфах и ксенотуфобрекчиях пирит маркирует внешние и внутренние границы включений, иногда полностью заполняя их и связующую массу, а также трассирует линейные зоны, пронизывающие породы. Глинизация наиболее типична для ксенотуфобрекчий, туфов и ортофуфитов, в результате породы приобретают рыжий и желтоватый оттенки и превращаются в сыпучий агрегат.

Аналитические исследования показали (см. табл. 1), что практически все разновидности содержат пироп, встречаются шпинелиды разного парагенезиса. Определенные фтористые и бариевые флогопиты по составу сопоставимы с флогопитами из лампроитов (Mitchell, Bergman, 1991). В цементе пород подтверждена ассоциация кальцита с анальцимом и альбитом, а также сидерита с альбитом (рис. 10а). Хлорит из цемента пород и литокласт однотипный железистый с относительно низким количеством оксида магния. Тонкие секущие прожилки в породах выполнены баритом и целестином (рис. 10б). Выявленная сульфидизация представлена пиритом и герсдорфитом (рис. 10в, г), состав и морфологические особенности которых подтверждают парагенезис пирит – герсдорфит и указывают на их гидротермальное происхождение.

ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

В результате изучения и частичного минералогического и петрографического опробования всего разреза булкурской пачки основания осипайской свиты установлено, что она вся в разной мере насыщена алмазоносным вулканокластическим материалом, естественно, от этого зависит и продуктивность слоя. При отборе керновых проб объективным методом является минералогическое опробование, по которому мы видим, что в наиболее продуктивном слое ксенотуфобрекчий содержание пиропов достигает 500–3000 кар/т, а в обогащенных

осадочным материалом ортофуфитах, паратуффи-тах и туфоалевропесчаниках – не превышает 5–450 кар/т, хотя и в них, непредставительных для опробования на алмазы керновых проб, встречаются кристаллы (см. рис. 3, скв. 1). Любопытно, что и в “ракушняках”, перекрывающих булкурскую пачку, содержатся пиропы от 0.0 до 9.7 кар/т, что свидетельствует об их потенциальной алмазоносности. При опробовании керна прослой ортофуфитов, паратуффи-тов и туфоалевропесчаников изучались не в полном объеме, поэтому в данный момент нельзя оконтурить в разрезе промышленный пласт и на разведочной стадии Арктической горной компании целесообразно провести крупнообъемное опробование с учетом литологических разностей пород. При этом важно начинать отбор проб из горных выработок со слоя “ракушняков”, который, являясь основанием карнийской трансгрессии, формировался за счет размыва подстилающей алмазоносной вулканогенно-осадочной булкурской пачки и может содержать алмазы в промышленных концентрациях.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. Установлено, что алмазоносные туфогенные породы Булкурской антиклинали по составу отличаются от таковых известных коренных месторождений алмазов (Граханов и др., 2010; Проскурнин и др., 2012), что, по-видимому, обусловлено их расположением в специфическом в тектоническом отношении регионе (складчатой окраинной части платформы) и своеобразным типом коренного источника.

2. Приведенные петрографические особенности подтверждают взрывно-обломочную и осадочно-вулканокластическую природу пород основания карнийского горизонта западного склона Булкурской антиклинали.

3. Сопряженность разных по структуре литокласт, приуроченность к ним пиропов, хромшпинелидов и преобразованных железомagneзиальных силикатов, а также алмазоносность исследованных пород указывают на их единый источник, содержащий минералы-спутники и алмазы.

4. Присутствие фтористых и бариевых флогопитов свидетельствует об участии в рассматриваемых образованиях минералов и пород щелочного магматизма, который, судя по составу слюд, соответствует лампроитовому.

5. Распространенные в породах сульфаты и сульфиды обусловлены избытком кислорода и серы в вулканогенной системе и являются продуктом гидротермального процесса.

6. По прогнозному потенциалу россыпных алмазов туфогенно-осадочные породы карния включают уникальные ресурсы. Даже для отработки только открытым способом (до глубины 10–20 м) их ре-

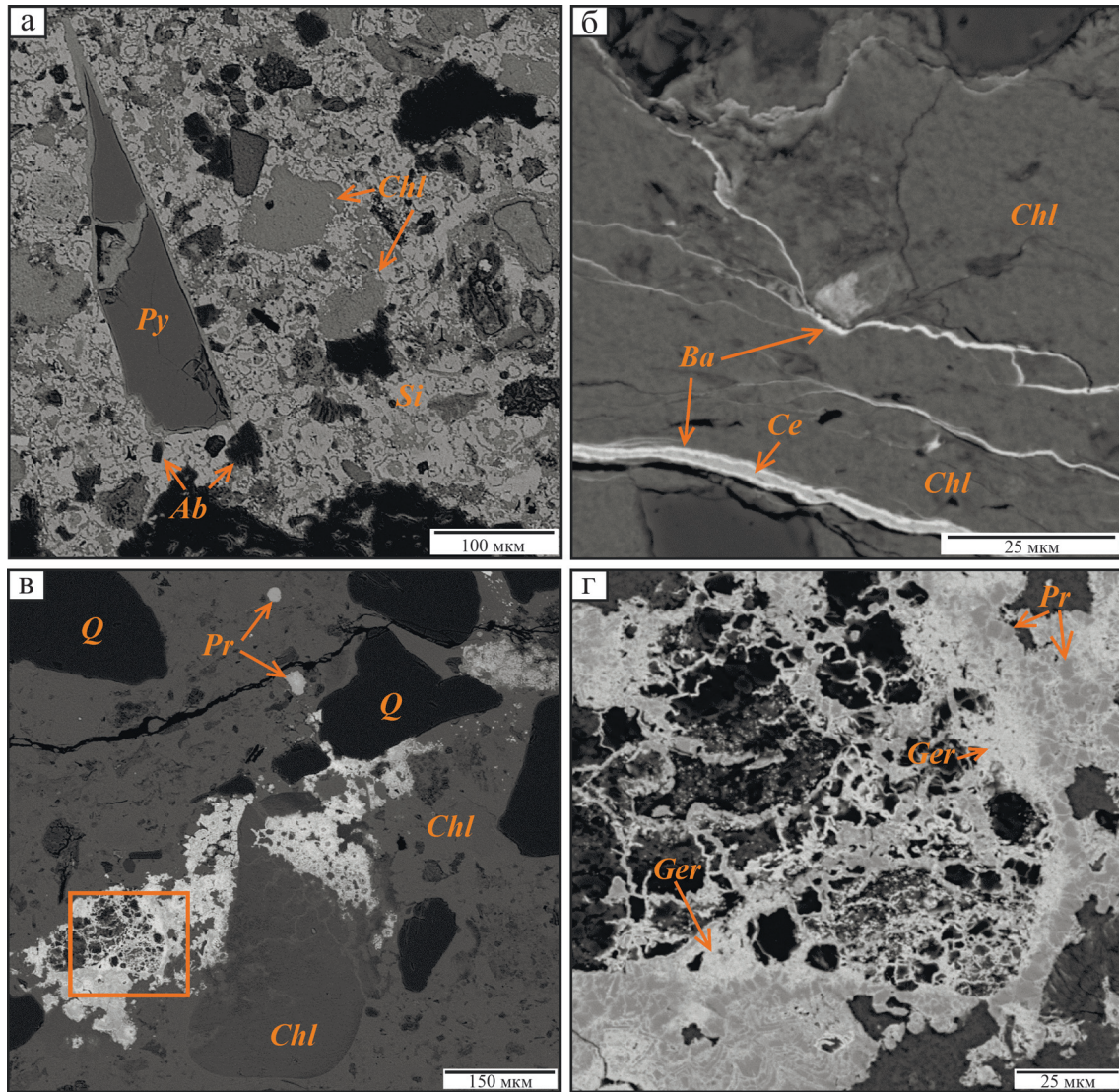


Рис. 10. BSE-изображения минералов пеплового туфа (обр. Л90/5/4/20.7).

Py – пироп; *Ab* – альбит; *Chl* – хлорит; *Q* – кварц; *Si* – сидерит; *Ba* – барит; *Ce* – целестин; *Pr* – пирит; *Ger* – герсдорфит. Изображение “г” обозначено квадратом. Остальные пояснения см. в тексте.

Fig. 10. BSE-images of ash tuff minerals (sample Л90/5/4/20.7).

Py – pyrope; *Ab* – albite; *Chl* – chlorite; *Q* – quartz; *Si* – siderite; *Ba* – barite; *Ce* – celestite; *Pr* – pyrite; *Ger* – gersdorffite. Square shows image “г”. See text for other explanations.

сурсы значительны и превосходят по объему многие четвертичные россыпи алмазов северо-востока Сибирской платформы.

7. Данной работой доказано, что мощность продуктивного пласта карнийской россыпи значительно больше, чем предполагалось ранее, включая перекрывающие туфы, ортотуффиты и частично паратуффиты. Это существенно увеличивает прогнозный потенциал. При оценке и разведке россыпи крупнообъемным опробованием, кроме туфов, целесообразно оценивать ортотуффиты, паратуффи-

ты, частично и “ракушняки”, которые в начале карнийской трансгрессии формировались за счет перемыва подстилающей алмазонасной булкурской пачки.

Благодарности

Авторы выражают благодарность А.В. Карху, А.В. Зудихину, В.И. Павлову, А.Ю. Попову, С.И. Этигасову, А.В. Черемкину, А.В. Ядренкину за совместную результативную работу в поле, а также Е.Л. Грузовой и А.В. Антонову за помощь при аналитических исследованиях.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Афанасьев В.П., Егоров А.Ю., Сибирцев Ю.М. (1986) О кимберлитовых минералах из древних прибрежно-морских коллекторов. *Изв. вузов. Геология и разведка*, (2), 15-19.
- Гогина Н.И. (1979) Находка алмаза в низовьях р. Лены. *Докл. АН СССР*, **239**(5), 1168-1169.
- Ван А.В., Казанский Ю.П. (1985) Вулканокластический материал в осадках и осадочных породах. Новосибирск: Наука, 126 с.
- Граханов С.А., Зарукин А.О., Богущ И.Н., Ядренкин А.В. (2009) Открытие верхнетриасовых россыпей алмазов в акватории Оленекского залива моря Лаптевых. *Отеч. геология*, (1), 53-61.
- Граханов С.А., Смелов А.П., Егоров К.Н., Голубев Ю.К. (2010) Осадочно-вулканогенная природа основания карнийского яруса – источника алмазов северо-востока Сибирской платформы. *Отеч. геология*, (5), 3-12.
- Граханов С.А., Смелов А.П. (2011) Возраст прогнозируемых коренных источников алмазов на севере Якутии. *Отеч. геология*, (5), 56-64.
- Граханов С.А., Молотков А.Е., Олейников О.Б., Павлушин А.Д. (2015) Типоморфизм и изотопия алмазов триасовых туффитов Булкурской антиклинали. *Отеч. геология*, (5), 16-22.
- Граханов С.А., Проскурнин В.Ф., Петров О.В., Соболев Н.В. (2022) Алмазоносные туфогенно-осадочные породы триаса арктической зоны Сибири. *Геология и геофизика*, **63**(4), 550-578. <https://doi.org/10.15372/GiG2021195>
- Летникова Е.Ф., Лобанов С.С., Похиленко Н.П., Изох А.Э., Николенко Е.И. (2013) Источники поступления обломочного материала в карнийский алмазоносный горизонт северо-востока Сибирской платформы. *Докл. АН*, **451**(2), 193-196. <https://doi.org/10.1134/S1028334X13070131>
- Малеев Е.Ф. (1980) Вулканиды: справочник. М.: Недра, 240 с.
- Натапов Л.М., Гогина Н.И., Сибирцев Ю.М. (1980) Новый промежуточный коллектор минералов-спутников алмаза на Сибирской платформе. *Кимберлитовый и базитовый магматизм района Оленекского поднятия*. (Отв. ред. В. В. Ковальский). Якутск: ЯФ СО АН СССР, 18-21.
- Николенко Е.И., Логвинова А.М., Изох А.Э., Афанасьев В.П., Олейников О.Б., Биллер А.Я. (2018) Ассоциация хромшпинелидов из верхнетриасовых гравелитов северо-востока Сибирской платформы. *Геология и геофизика*, **59**(10), 1680-1701. <https://doi.org/10.1016/j.rgg.2018.09.011>
- Орлов Ю.Л. (1984) Минералогия алмаза. 2-е изд. М.: Наука, 264 с.
- Павлушин А.Д., Граханов С.А., Смелов А.П. (2010) Парагенетические ассоциации минералов на поверхности кристаллов алмаза из отложений карнийского яруса северо-востока Сибирской платформы. *Отеч. геология*, (5), 45-51.
- Павлушин А.Д., Граханов С.А., Олейников О.Б., Новгородов А.Н. (2016) Находки алмазов III разновидности в карнийских туфах Булкурской антиклинали. *Геология и минерально-сырьевые ресурсы Северо-Востока России*. Мат-лы VI Всерос. науч.-практ. конф. (Отв. ред. Л.И. Полуфунтикова). Якутск: СВФУ, 255-258.
- Петрографический кодекс: магматические, метаморфические, метасоматические, импактные образования. (2009) (Отв. ред. Л.Н. Шарпенко). СПб.: ВСЕГЕИ, 200 с.
- Проскурнин В.Ф., Виноградова Н.П., Гавриш А.В., Наумов М.В. (2012) Признаки эксплозивно-обломочного генезиса алмазоносного карнийского горизонта Усть-Оленекского района (петрографо-геохимические данные). *Геология и геофизика*, **53**(6), 698-711. <https://doi.org/10.1016/j.rgg.2012.04.003>.
- Соболев Н.В., Логвинова А.М., Николенко Е.И., Лобанов С.С. (2013) Минералогические критерии алмазоносности верхнетриасовых россыпей северо-восточной окраины Сибирской платформы. *Геология и геофизика*, **54**(8), 1162-1178.
- Mitchell R.H., Bergman S.B. (1991) *Petrology of lamproites*. N. Y., Plenum Press., 472 p.

REFERENCES

- Afanas'ev V.P., Egorov A.Yu., Sibirtsev Yu.M. (1986) Kimberlite minerals from ancient littoral reservoirs. *Izv. vuzov. Geologiya i Razvedka*, (2), 15-19. (In Russ.)
- Gogina N.I. (1979) Finding of diamond in the lower reaches of the Lena River. *Dokl. AN SSSR*, **239**(5), 1168-1169. (In Russ.)
- Wan A.V., Kazansky J.P. (1985) Volcanoclastic material in sediments and sedimentary rocks. Novosibirsk, Nauka Publ., 126 p. (In Russ.)
- Grakhanov S.A., Zaruikin A.O., Bogush I.N., Yadrinkin A.V. (2009) Discovery of Upper Triassic diamond placers in the water area of the Olenek Bay of the Laptev Sea. *Otech. Geologiya*, (1), 53-61. (In Russ.)
- Grakhanov S.A., Smelov A.P., Egorov K.N., Golubev Yu.K. (2010) The sedimentary-volcanic nature of the base of the Carnian Stage, the source of diamonds in the north-eastern Siberian Platform. *Otech. Geologiya*, (5), 3-12. (In Russ.)
- Grakhanov S.A., Smelov A.P. (2011) The age of the predicted primary sources of diamond in northern Yakutia. *Otech. Geologiya*, (5), 56-64. (In Russ.)
- Grakhanov S.A., Molotkov A.E., Oleinikov O.B., Pavluшин A.D. (2015) Typomorphism and isotopy of diamonds in the Triassic tuffite of the Bulkur anticline. *Otech. Geologiya*, (5), 16-22. (In Russ.)
- Grakhanov S.A., Proskurnin V.F., Petrov O.V., Soboлев N.V. (2022) Diamondiferous Tuffaceous-Sedimentary Rocks in the Triassic of the Arctic zone of Siberia. *Geol. Geofiz.*, **63**(4), 550-578. (In Russ.) <https://doi.org/10.15372/GiG2021195>
- Letnikova E.F., Lobanov S.S., Pokhilenko N.P., Izokh A. E., Nikolenko E.I. (2013) Sources of clastic material in the Carnian diamondiferous horizon of the north-eastern part of the Siberian Platform. *Dokl. Akad. Nauk*, **451**(2), 193-196. (In Russ.) <https://doi.org/10.1134/S1028334X13070131>
- Maleev E.F. (1980) *Volcanites: Handbook*. Moscow, Nedra Publ., 240 p. (In Russ.)
- Mitchell R.H., Bergman S.B. (1991) *Petrology of lamproites*. N. Y., Plenum Press., 472 p.

- Natapov L.M., Gogina N.I., Sibirtsev Yu.M., Ogorodnikov V.D., Uflyand A.K. (1980) New intermediate reservoir of diamond satellite minerals on the Siberian platform. *Kimberlite and Basite magmatism in the Area of the Olenek Uplift*. (Ed. by V. Kovalsky). Yakutsk, SO AN USSR, 18-21. (In Russ.)
- Nikolenko E.I., Logvinova A.M., Izokh A.E., Afanas'ev V.P., Oleinikov O.B., Biller A.Ya. (2018) Cr-spinel assemblage from the Upper Triassic gritstones of the northeastern Siberian Platform. *Geol. Geofiz.*, **59**(10), 1680-1701. (In Russ.) <https://doi.org/10.1016/j.rgg.2018.09.011>
- Orlov Y.L. (1984) *Diamond mineralogy*. Moscow, Nauka Publ., 264 p. (In Russ.)
- Pavlushin A.D., Grakhanov S.A., Smelov A.P. (2010) Mineral assemblages on the surface of diamond crystals from the Carnian deposits of the northeastern Siberian Platform. *Otech. Geologiya*, (5), 45-51. (In Russ.)
- Pavlushin A.D., Grakhanov S.A., Oleinikov O.B., Novgorodov A.N. (2016) Findings of Diamond of Variety III in the Carnian Tuffs of the Bulkur Anticline. *Geology and mineral resources of the North-East of Russia*. Proc. VI All-Russian sci. and pract. conf. (Ed. by L.I. Polufantikova). Yakutsk, SVFU, 255-258. (In Russ.)
- Petrographic code: magmatic, metamorphic, metasomatic, impact rock-assemblages (2009). (Ed. by L.N. Sharpenok). St.Petersburg, VSEGEI, 200 p. (In Russ.)
- Proskurnin V.F., Vinogradova N.P., Gavrish A.V., Naumov M.V. (2012) Evidence for the volcanoclastic genesis of the Carnian diamondiferous bed in the Ust'-Olenek area (from petrographic and geochemical data). *Geolog. Geofiz.*, **53**(6), 698-711. (In Russ.) <https://doi.org/10.1016/j.rgg.2012.04.003>
- Sobolev N.V., Logvinova A.M., Nikolenko E.I., Lobanov S.S. (2013) Mineralogical criteria of diamond content of Upper Triassic placers of the northeastern margin of the Siberian platform. *Geolog. Geofiz.*, **54**(8), 1162-1178. (In Russ.)