

УДК 551.734:551.83:552.513:553.81
DOI: 10.18799/24131830/2024/6/4369
Шифр специальности ВАК: 1.6.1 (25.00.01)

Результаты изучения разреза «Южная Рассольная» такатинской свиты на территории Полюдово-Колчимского антиклинория Западно-Уральской зоны складчатости (Красновишерский район Пермского края)

Ю.Г. Пактовский¹, А.В. Плюснин²✉, Е.М. Томилина¹, Д.А. Староселец²,
И.В. Афонин³, Е.С. Рабцевич³, А.И. Сулима¹, В.А. Чуйко⁴

¹ Пермский Государственный национальный исследовательский университет им. А.М. Горького,
Россия, г. Пермь

² Тюменский Государственный университет, Россия, г. Тюмень

³ Национальный исследовательский Томский государственный университет, Россия, г. Томск

⁴ ООО «Алмайнинг», Россия, г. Пермь

✉ a.v.plyusnin@mail.ru

Аннотация. Актуальность. Заключается в связанности с такатинской свитой пород-коллекторов алмазов, ранее открытых, и наличии перспектив обнаружения новых месторождений в Западно-Уральской зоне внешней складчатости. **Цель:** реконструировать условия осадконакопления и состав пород, источник сноса терригенных пород такатинской свиты по результатам изучения разреза «Южная Рассольная». **Объекты:** терригенные породы такатинской свиты в разрезе «Южная Рассольная» (россыпное месторождение алмазов «Южная Рассольная») в Красновишерском районе Пермского края. **Методы:** литолого-фациальный анализ, петрографическое изучение шлифов в проходящем свете с использованием методов скрещенных николей, определение содержания породообразующих оксидов рентгенофлуоресцентным методом на спектрометре S8 Tiger (Bruker), анализ породообразующих элементов на стеклообразных дисках. Определение примесных и микропримесных элементов (с содержанием <5 %) проведено с использованием аттестованной методики изучения элементов методом масс-спектрометрии с индуктивно-связанной плазмой согласно методике СТО ТГУ 048-2012. Анализ выполнен методом ICP-MS на квадрупольном масс-спектрометре Agilent 7500cx (Agilent Technologies Inc., США) с использованием внутреннего (In Internal standard, Inorganic Ventures, США) и внешнего стандарта СГД-2А (ГСО 8670-2005). **Результаты.** Проведены литолого-фациальные, минералогические, петрографические, литогеохимические исследования такатинских терригенных отложений в разрезе «Южная Рассольная» в районе Полюдово-Колчимского антиклинория Западно-Уральской зоны складчатости, позволившие уточнить источники вещества и условия седиментации. Формирования отложений происходили в переходной обстановке осадконакопления. Снизу вверх наблюдается трансгрессивная последовательность. Терригенные породы такатинской свиты имеют в своем составе породы первого и второго циклов седиментации. Обрезались как за счет разрушения первично-магматических (кислого и основного составов) и метаморфических пород, так и за счет осадочных пород. Совокупность вещественных характеристик терригенных пород такатинской свиты, с учетом опубликованных данных, позволила предположить, что седиментация пород происходила на пассивной континентальной окраине, при поступлении обломочного материала за счет размыва внутренних приподнятых блоков фундамента Восточно-Европейской платформы, активизация которых произошла в эмское время при проявлении общелитосферной складчатости. При этом водные потоки, несущие продукты выветривания с Восточно-Европейской платформы, эродировали осадочные породы рифея, венда, ордовика и силура, чьи обломки мы наблюдаем в небольшом количестве при описании шлифов.

Ключевые слова: Полюдово-Колчимский антиклинорий, такатинская свита, эмский ярус, россыпи, алмазы, петрография, литогеохимия, условия формирования, состав источника сноса, геодинамика

Для цитирования: Результаты изучения разреза «Южная Рассольная» такатинской свиты на территории Полюдово-Колчимского антиклинория Западно-Уральской зоны складчатости (Красновишерский район Пермского края) / Ю.Г. Пактовский, А.В. Плюснин, Е.М. Томилина, Д.А. Староселец, И.В. Афонин, Е.С. Рабцевич, А.И. Сулима, В.А. Чуйко // Известия Томского политехнического университета. Инжиниринг георесурсов. – 2024. – Т. 335. – № 6. – С. 143–159. DOI: 10.18799/24131830/2024/6/4369

UDC 551.734:551.83:552.513:553.81
DOI: 10.18799/24131830/2024/6/4369

Results of the study of the section "Yuzhnaya Rassolnaya" of the Takata formation in the territory of the Poludovo-Kolchimsky anticlinorium of the Western-Ural folding zone (Krasnovishersky district, Perm territory)

Yu.G. Paktovsky¹, A.V. Plusnin²✉, E.M. Tomilina¹, D.A. Staroselets²,
I.V. Afonin³, E.S. Rabtsevich³, A.I. Sulima¹, V.A. Chuiko⁴

¹ A.M. Gorky Perm State National Research University, Perm, Russian Federation

² University of Tyumen, Tyumen, Russian Federation

³ National Research Tomsk State University, Tomsk, Russian Federation

⁴ Almayning LLC, Perm, Russian Federation

✉ a.v.plyusnin@mail.ru

Abstract. Relevance. Relationship with the Takata formation of diamond reservoir rocks and previously discovered deposits and the presence of prospects for discovering new ones in the zone of the forward folds of the Urals. **Aim.** To reconstruct the conditions of sedimentation and composition of rocks, the source of the removal of terrigenous rocks of the Takata formation based on the results of studying the "Yuzhnaya Rassolnaya" section. **Objects.** Terrigenous rocks of the Takata formation in the "Yuzhnaya Rassolnaya" section located in the western part of the alluvial diamond deposit "Yuzhnaya Rassolnaya" in the Krasnovishersky district of the Perm Territory. **Methods.** Lithofacies analysis, petrographic study of thin sections in transmitted light using crossed nicol methods, determination of the content of rock-forming oxides by X-ray fluorescence on an S8 Tiger (Bruker) spectrometer, analysis of rock-forming elements on glassy disks. Impurity and microimpurity elements (with a content of <5%) were determined using a certified method for defining elements by inductively coupled plasma mass spectrometry according to the method STO TGU 048-2012. The analysis was performed by ICP-MS on an Agilent 7500cx quadrupole mass spectrometer (Agilent Technologies Inc., USA) using an internal (In Internal standard, Inorganic Ventures, USA) and an external standard SGD-2A (GSO 8670-2005). **Results.** Lithological-facial, mineralogical, petrographic, lithochemical studies of Takata terrigenous deposits were carried out in the "Yuzhnaya Rassolnaya" section in the area of the Polyudovo-Kolchimsky anticlinorium of the Western Ural folding zone, which made it possible to clarify the sources of matter and sedimentation conditions. The formation of sediments occurred in a transitional sedimentation environment. A transgressive sequence is observed from bottom to top. Terrigenous rocks of the Takata formation include rocks of the first and second sedimentation cycles. They were cut off due to the destruction of primary igneous (acidic and basic compositions) and metamorphic rocks, as well as sedimentary rocks. The totality of the material characteristics of the terrigenous rocks of the Takata formation, taking into account the published data, allowed us to assume that sedimentation of the rocks occurred on the passive continental margin, with the supply of clastic material due to the erosion of internal raised blocks of the foundation of the East European Platform. The activation of the latter occurred in the Emsian time with the manifestation of general lithospheric folding. At the same time, water flows carrying weathering products from the East European Platform eroded sedimentary rocks of the Riphean, Vendian, Ordovician and Silurian, which fragments we observe in small quantities when describing thin sections.

Keywords: Polyudovo-Kolchimsky anticlinorium, Takata formation, Emsian Stage, placers, diamonds, petrography, lithochemistry, formation conditions, source composition, geodynamics

For citation: Paktovsky Yu.G., Plusnin A.V., Tomilina E.M., Staroselets D.A., Afonin I.V., Rabtsevich E.S., Sulima A.I., Chuiko V.A. Results of the study of the section "Yuzhnaya Rassolnaya" of the Takata formation in the territory of the Poludovo-Kolchimsky anticlinorium of the Western-Ural folding zone (Krasnovishersky district, Perm territory). *Bulletin of the Tomsk Polytechnic University. Geo Assets Engineering*, 2024, vol. 335, no. 6, pp. 143–159. DOI: 10.18799/24131830/2024/6/4369

Введение

Базальными отложениями верхнепалеозойского комплекса осадочного чехла, востока Восточно-Европейской платформы (ВЕП), конкретно территории Пермского края, является терригенная толща – такатинская свита эмского яруса нижнего отдела девонской системы. Она залегает со стратиграфическим несогласием на породах верхнего протерозоя и

нижнего палеозоя. Начало ее накопления связано с новым циклом седиментации, раннегерцинским этапом развития ВЕП. В такатинское время внутриплатформенное сжатие начинает спадать, и это событие отмечается возникновением изолированных интракратонных впадин, в которые происходил снос материала со слабо расчлененной равнины, которой являлась ВЕП, под действием гидросети, формиру-

ющей конусы выноса и обширные дельтовые системы на краю пассивной континентальной окраины.

Изучение такатинской свиты актуально, поскольку её отложения являются породами-коллекторами алмазов. С ней связаны как ранее открытые месторождения, так и перспективы обнаружения новых, приуроченных к Западно-Уральской зоне складчатости (ЗУЗС).

Целью работы является реконструкция условий осадконакопления и состава пород, источника сноса терригенных пород такатинской свиты по результатам изучения разреза «Южная Рассольная». Для достижения цели авторами выполнен следующий комплекс анализов: литолого-фациальный, петрографический и литогеохимический.

Фактический материал и методы исследования

Основанием работы послужило опробование терригенных пород такатинской свиты в разрезе «Южная Рассольная», расположенном на восточном фланге россыпного месторождения алмазов «Южная Рассольная» (N 60°23'13.2", E 57°39'29.9") в Красновишерском районе Пермского края. Тектонически разрез приурочен к Полюдово-Колчимскому антиклинорию Западно-Уральской зоны складчатости. Разрез представляет собой искусственную экскаваторную выработку, выполненную в коренных породах такатинской свиты. Снизу вверх по разрезу отобрано пять проб, послуживших материалом для исследования. Подробное описание разреза представлено на рис. 1.

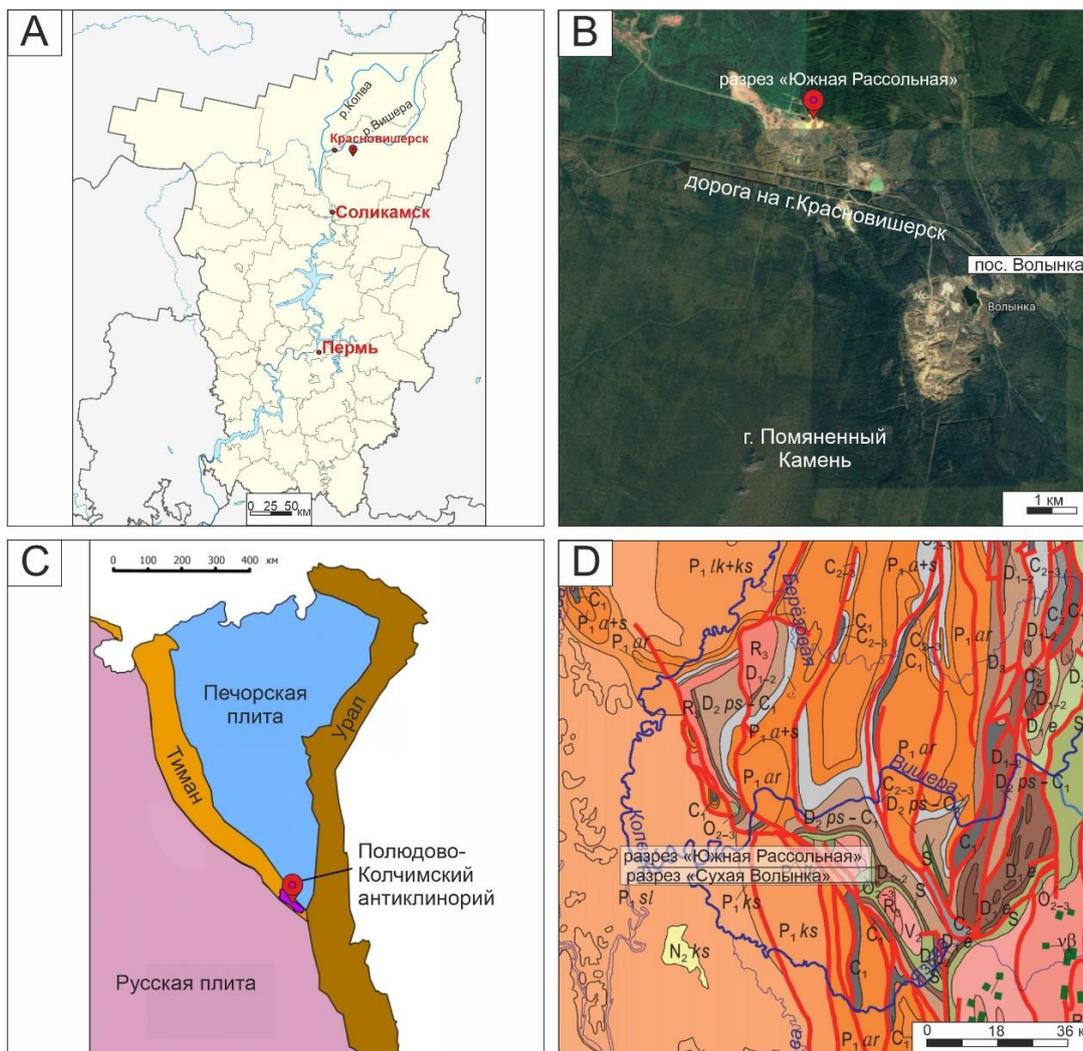


Рис. 1. Местоположение района исследований. Разрез «Южная Рассольная» на карте Пермского края (А); разрез «Южная Рассольная» на космоснимке (В); Полюдово-Колчимский антиклинорий в составе Тимано-Североуральского региона (С), разрез «Южная Рассольная» и «Сухая Волынка» на фрагменте геологической карты Пермского края (D), легенду смотри в [11]

Fig. 1. Location of the study area. Position of the "Yuzhnaya Rassolnaya" section on the map of the Perm Territory (A); the "Yuzhnaya Rassolnaya" section on the satellite image (B), location of the Polyudovo-Kolchimsky anticlinorium in the Timano-Severouralsk region (C), position of the section on a fragment of the geological map of the Perm Territory (D), see the legend in [11]

При литолого-фациальном анализе авторы руководствовались наработками О.С. Черновой [1] и Н.Е. Reading [2], а также подходами, представленным в [3–8].

Петрографическое изучение шлифов проведено на поляризационном микроскопе Olympus BX51 (Япония) в проходящем свете с использованием методов скрещенных николей. Кроме этого, сделаны снимки шлифов в проходящем свете и в скрещенных николях при увеличении 50х и 100х (аналитик Е.М. Томила).

Содержание породообразующих оксидов определено рентгенофлуоресцентным методом на спектрометре S8 Tiger (Bruker) (аналитик И.С. Федотов) [9]. Для анализа породообразующих элементов изготавливались стеклообразные диски путем плавления гомогенизированной смеси порошка из прокаленного материала пробы с боратами лития при температуре 1100 °С в платиновых тиглях в печи индукционного плавления.

Выявление примесных и микропримесных элементов (с содержанием <5 %) проведено посредством аттестованной методики определения элементов методом масс-спектрометрии с индуктивно-связанной плазмой согласно подходу СТО ТГУ 048-2012 [10] (аналитик Е.С. Рабцевич). Пределы обнаружения следовых количеств элементов составляют 0,001 г/т. Анализ выполнен методом ICP-MS на квадрупольном масс-спектрометре Agilent 7500cx (Agilent Technologies Inc., США) с использованием внутреннего (In Internal standard, Inorganic Ventures, США) и внешних стандартов СГД-2А (ГСО 8670-2005).

История изученности

В 1930-е гг. коллектив геологов Башкирского геологического управления (Г.В. Вахрушев, Э.Х. Алкснэ, А.П. Тяжева, А.И. Олли) зарисовал на Южном Урале базальную толщу девонской системы, залегающую с угловым и стратиграфическим несогласием на комплексе более древних пород [12]. По сообщению Б.М. Келлера [13], именно А.П. Тяжева описывала разрез в нижнем течении р. Таката (левый приток р. Зилим), по названию которой позднее была названа терригенная свита, распространенная на всем западном склоне Урала в ЗУЗС. Б.М. Келлер ввел термин «такатинская свита» в геологическую литературу в 1935 г. Позднее термин «такатинская свита, слои» появился и в Стратиграфическом словаре СССР [14]. На Северном Урале, в Колво-Вишерском крае, во время работ экспедиции ВНИГРИ (1949–1955 гг.) термином «такатинская свита» пользовался Н.Г. Чочиа с коллегами [15], по своему опыту работы на Южном Урале. Сотрудники экспедиции впервые выделили тринадцать разрезов такатинской свиты, в которых базальные

отложения девона залегают на породах верхнего протерозоя – нижнего палеозоя. Особенное значение свита приобрела в первой половине 1960-х гг., когда в результате работ Съёмочно-тематической экспедиции Пермского геологоразведочного треста под руководством А.Д. Ишкова было доказано, что базальные отложения такатинской свиты являются промежуточным коллектором алмаза и определяют алмазоносность аллювия современных рек и мезокайнозойских депрессий [16, 17].

С этого времени начинается планомерное научное изучение такатинской свиты как ведущими и региональными геологическими институтами и университетами (ВСЕГЕИ, ЦНИГРИ, Пермский политехнический институт, Пермский государственный университет и др.), так и производственными геологическими коллективами (Вишерагеология, Яйвагеология, Пермская геологоразведочная экспедиция и др.). Геологические сведения о такатинской свите, известные по фондовым и опубликованным работам, обобщены в статье. На этой основе проведено сопоставление уже известных фактов с новыми данными авторов, которые публикуются впервые.

Краткие сведения о такатинской свите

Такатинская свита эмского яруса нижнего отдела девонской системы развита в Бельско-Елецкой структурно-формационной зоне западного Урала. Свита трансгрессивно залегает на верхнерифейских, вендских, ордовикских, силурийских отложениях. Трансгрессивный цикл начинается с грубообломочной толщи в основании разреза, не выдержанной по мощности и простиранию. Выделяются три типа такатинских отложений: западный, центральный (промежуточный) и восточный, различающиеся фациально. Заметим, что граница между западным (континентальным) и восточным (прибрежно-морским) типами разреза, по сути, фиксирует зоны высокой и низкой алмазоносности.

Палеогеографический план современного Красновишерского алмазоносного района в нижнем девоне следующий: 1) на северо-западе – крупная река с дельтовой субаэральной субаквальной частью, ориентированной на юго-восток; 2) фациальные переходы от аллювиальной равнины к морю таковы: субаэральная часть дельты – субаквальная часть дельты – осадки открытого шельфа, – эти фации прослеживаются на расстоянии первых десятков километров; 3) увеличение мощности осадков осуществляется по направлению с запада и северо-запада на восток и юго-восток, то есть от континентальной суши к палеобассейну такатинского времени. Алмазы тяготеют к базальным грубообломочным аллювиальным отложениям на палеоконтиненте или к самой кромке суши и моря. Отмечена аналогия с западным побережьем современной Намибии [18, 19].

Наиболее полный разрез такатинской свиты представлен на месторождении «Сухая Волынка», расположенном в 6 км юго-восточнее «Южной Рассольной». В этой же зоне расположено наиболее известное месторождение алмазов, приуроченное к базальной части такатинских отложений, – «Ишковский карьер», на котором в 2005 г. был получен самый крупный уральский алмаз – 35,4 карат. Разрез «Сухая Волынка» является типовым для всего Вишерского алмазоносного района, поэтому на нем следует остановиться несколько подробнее.

Типовой разрез такатинской свиты.

Месторождение «Сухая Волынка»

Впервые разрез такатинской свиты на месторождении «Сухая Волынка» (N 60°20'56.6", E 57°40'02.8") описан в 2007 г. и публикуется впервые. Он представляет собой типичный трансгрессивный цикл терригенных отложений – от базальных грубообломочных пород (конгломераты и гравелиты) до алевролитов и аргиллитов. Рассмотрим их снизу вверх (рис. 2).

Слой 1. Доломиты светло-серые, мелкокристаллические. Относятся к колчимской свите лландовери (S_1kl), подстилающей такатинскую свиту. Контакт с вышележащими терригенными отложениями нижнего девона отчетливый, резкий.

Слой 2. Конгломераты и гравелиты, частично расцементированные, общего желто-серого цвета, участками ожелезненные. Порода тектонически дезинтегрирована во фронтальной части надвига северо-восточной экспозиции, слабоглинистая, песчано-гравийно-галечная. Мощность 0,8 м.

Слой 3. Конгломераты, гравелиты, гравелито-песчаники светло-серые, кварцевые с редкими «окатышами» аргиллитов светло-зеленого цвета (0,5 м). Порода крепко сцементированная (рис. 2, В); гальки аллювиального генезиса. Матрикс пород мелкогравийно-песчаный кварцевый, сходный с петрографическим описанием вышележащих песчаников в этом же разрезе.

Слой 4. Песчаники светло-серые, мелкозернистые, кварцевые, средне-слоистые, очень крепкие (3,0 м).

Слой 5. Песчаники с примесью гравия, светло-желтовато-серые, кварцевые, тонкослоистые (1,0 м), частично дезинтегрированные.

Слой 6. Песчаники светло-серые, мелкозернистые, кварцевые, средне-тонко-слоистые, трещиноватые, в нижней половине слоя с линзами (0,4–0,6 м) слабосцементированных гравелитов и гравийных песчаников (3,0 м).

Слой 7. Песчаник красновато-серый, розовато-красный, мелкозернистый, кварцевый, тонкослоистый, трещиноватый, участками и по трещинам ожелезненный (2,5 м).

Слой 8. Аргиллит светло-зелёный, тонкослоистый, плотный, частично глинизированный, во влажном состоянии пластичный и вязкий, как глина (1,5 м).

Слой 9. Песчаники зеленоватые, мелкозернистые, кварцевые, тонкослоистые, трещиноватые, с прослоями зеленоватых алевролитов (2,5 м).

Слой 10. Элювий по песчаникам такатинской свиты, представленный щебнем и глыбками песчаников в песчаном, с гравием и галькой кварца, заполнителе; общий цвет породы желто-коричневый за счет пропитки гидроксидами железа; реликты тонкой слоистости сохраняются редко (0,5–1,5 м).

Слой 11. Глина делювиальная с песком, гравием, галькой, щебнем и глыбами коренных пород (0,5–1,5 м).

В 80-е гг. прошлого века базальные отложения такатинской свиты на участке «Сухая Волынка» были опробованы на алмазы геологоразведочным предприятием «Вишерагеология» (отв. исп. В.Я. Колобянин) [20, 21]. Результат оказался положительным, однако промышленное их значение установлено только в 2010 г. геологической службой ЗАО «Уралалмаз» (отв. исп. Н.Г. Калашников). Предшественники отмечали, что базальные конгломераты залегают в виде маломощных невыдержанных линз. Гранулометрический и минеральный состав конгломератов подтверждают наши собственные исследования, проведенные в последние годы. Грансостав конгломератов таков: галечного материала – 10–30 %, гальки средней и хорошей степени окатанности, эллипсоидные, яйцеобразные, реже изометричные; судя по морфологии, аллювиального генезиса. Петрографический состав галечного материала: белый непрозрачный жильный кварц, кварцевые песчаники, реже полевошпат-кварцевые песчаники. Галечный материал происходит из более древних толщ (верхнего рифея и венда, а также полюдовской свиты верхнего ордовика). Матрикс конгломератов – гравийно-песчаный, цемент глинистый и гидрослюдисто-железистый. Наибольшая мощность конгломератов наблюдается в восточной части Колчимской антиклинали Полюдово-Колчимского антиклинория, где расположены месторождения «Сухая Волынка» и «Южная Рассольная». Сравнительно хорошая окатанность галек сопоставлена с дальностью переноса 40–50 км [22]. Питающая провинция представляется там, откуда поступал обломочный материал, перенесенный такатинскими реками, то есть с Русской плиты к северо-западу от Полюдово-Колчимского антиклинория (Волго-Уральский кратон Восточно-Европейской платформы). Примечательно, что предшественниками в базальных конгломератах такатинской свиты определены минералы кимберлитовых пород (минералы-спутники алмаза), встречающиеся очень редко. Минералы-спутники часто сильно изменены [23]; диагностика их в настоящее время требует заверки прецизионными методами.

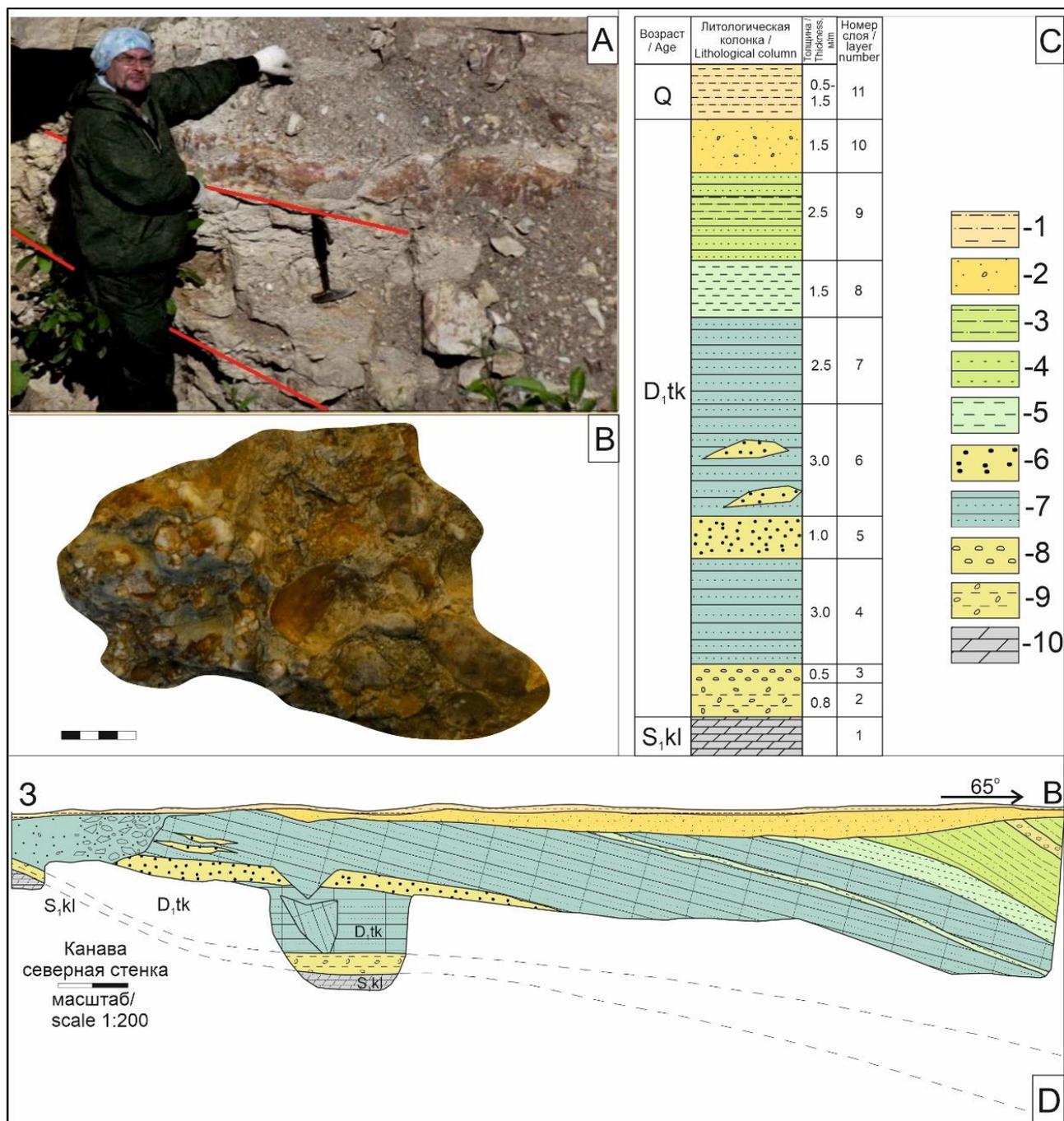


Рис. 2. Разрез «Сухая Волынка»: А – фото выхода горных пород на поверхность, базальные слои такатинской свиты; В – литифицированные конгломераты такатинской свиты, слой 3; С – литологическая колонка разреза; D – зарисовка разреза. Условные обозначения литологии: 1 – глина дельвиальная с песком; 2 – песок с гравием и галькой; 3 – прослои зеленоватых алевролитов; 4 – песчаники зеленоватые; 5 – глина светло-зелёная; 6 – гравийный песок; 7 – песчаники светло-серые мелкозернистые; 8 – конгломераты, гравелиты, гравелито-песчаники светло-серые; 9 – дезинтегрированные конгломераты и гравелиты; 10 – доломиты светло-серые мелкокристаллические

Fig. 2. «Sukhaya Volynka» section: A – photo of the outcrop of rocks on the surface, basal layers of the Takata formation; B – lithified conglomerate of the Takata formation, layer 3; C – lithological column of the section; D – sketch of the section. Lithology symbols: 1 – deluvial clay with sand; 2 – sand with gravel and pebbles; 3 – interlayers of greenish siltstones; 4 – greenish sandstones; 5 – light green clay; 6 – gravel sand; 7 – light gray, fine-grained sandstones; 8 – light gray conglomerates, gravelstones, gravelite-sandstones; 9 – disintegrated conglomerates and gravelstones; 10 – light gray dolomites, finely crystalline

Расположенные выше по разрезу кварцевые плохо сортированные гравелиты также встречаются в виде прослоев и линз. Крупнообъемное опробование гравелитов в разрезе «Сухая Волянка», проведенное ЗАО «Уралалмаз» в 2007 г., дало отрицательные результаты.

Покрывающие конгломераты и гравелиты песчаники являются кварцевыми светло-серыми мелко-среднезернистыми, равномерно- и неравномернозернистыми. Цемент песчаников регенерационный кварцевый, реже поровый, железистый и гидрослюдистый. Кроме кварца в незначительных количествах присутствуют обломки аргиллитов, кремневых пород и кварцитов. Разнозернистые и гравийные песчаники нередко содержат плоскую гальку («окатыши») зеленоватых аргиллитов, предположительно, из нижележащих отложений. Отличительной чертой некоторых разновидностей песчаников западного типа разреза такатинской свиты является присутствие в них обломков щелочных эффузивов [24]. Из аллотигенных минералов в основном присутствуют исключительно устойчивые к выветриванию. Характеристика минералов тяжелой фракции в основных типах пород такатинских слоев (песчаников, гравелитов и конгломератов) показывает в аутигенной части преобладание лимонита (8,0–37,3 %), а в аллотигенной – циркона (30,1–62,0 %), турмалина (4,0–13,4 %), лейкоксена (4,6–18,2 %), рутила (1,2–6,0 %). Очень редки моноклинные и ромбические пироксены, гранат-альмандин и пироп, монацит [25].

Алевролиты в такатинском разрезе «Сухой Волянки» светло-серые кварцевые с глинисто-хлоритовым порово-пленочным, в сочетании с базальным, цементом.

Завершается разрез аргиллитами зеленовато-серыми, нередко выветрелыми до глины гидрослюдистого состава [20, 26]. Залегают, как и алевролиты, в виде линз мощностью около 2,0 м.

Алмазоносными породами в разрезе «Сухая Волянка» являются базальные конгломераты такатинской свиты, как и во многих других разрезах Полудово-Колчимского антиклинория: в Ишковском карьере и по р. Илья-Вож. Сюда же необходимо добавить разрезы в нижнем течении р. Большой Колчим, в верхнем течении р. Ефимовки и р. Северный Колчим [27]. Здесь они залегают со стратиграфическим и угловым несогласием, осложненным эпигерцинским тектоническим нарушением надвиговой природы, на доломитах колчимской свиты лландовери (нижнего отдела силура). Береговая линия размываемой палеосуши реконструируется по линии рр. Большой Колчим и Южная Рассольная (в современных координатах).

Такатинский возраст пород доказывается палинологическими данными, полученными по пробам из лигнитов базальной части такатинской свиты правобережья среднего течения р. Ухтым [28]. Здесь определен комплекс миоспор удовлетворительной сохранности: *Retusotriletes cf. sterlibasch-evensis* Tschibr., *R. styliifer* Tschibr., *Azonomonoletes tuberculatus* Tschibr. Помимо данных комплексов такатинская свита содержит спорово-пыльцевые комплексы с *Retusotriletes absurdus* Tschibr. b., *R. microaculeatus* Tschibr. b., *Hymenozonotriletes endemicus* var. *Vanjaschkiensis* Tschibr. b., характерные для такатинского горизонта Среднего и Северного Урала [29].

Описание разреза «Южная Рассольная»

Исследуемый разрез такатинской свиты вскрыт северо-западнее от посёлка Волянка, входящего в Красновишерский район Пермской области, где представлен в виде искусственной выработки (слив плотины), пройденной ЗАО «Уралалмаз». Местность, где породы выходят на поверхность, характеризуется значительной залесённостью и задернованностью (рис. 3). Геологическое описание составлено авторами в 2015 и 2022 гг., публикуется впервые.

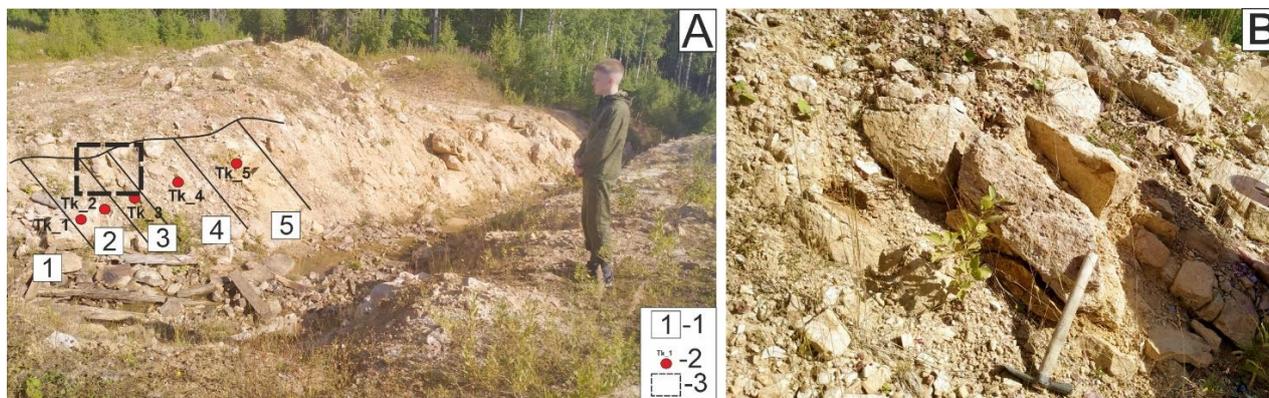


Рис. 3. Разрез «Южная Рассольная»: А, В – фото искусственного обнажения пород такатинской свиты. Условные обозначения: 1 – номер слоя; 2 – точка отбора пробы и ее номер; 3 – фрагмент обнажения (гравелиты такатинской свиты), увеличенный на рис. 2, В

Fig. 3. «Yuzhnaya Rassolnaya» section: А, В – photo of the outcrop of rocks on the surface. Legend: 1 – layer number; 2 – sampling point and its number; 3 – fragment corresponding to the Fig. 2, В

Экскаваторная траншея шириной по верху несколько метров прорезана на глубину до 2 м, заужаясь на конус до 0,5 м. Общая длина искусственного обнажения до 50 м, однако большая его часть представляет собой трудно разборные осыпи, затянутые делювиальной глиной, нанесенной дождевыми потоками. Однако наиболее важная базальная часть разреза, откуда отобраны образцы пород, достаточно хорошо обнажена. Азимут падения слоев – СВ 70–80°, угол падения – 39°. Разворот такатинских пластов достаточно круто на восток говорит о том, что это фрагмент северо-восточного периклиналиального замыкания Колчимской антиклинали. В обычном для района моноклинальном залегании слои падают в северо-восточных румбах (20–50°) и более полого. Базальные такатинские отложения в данном обнажении представлены кварцевыми песчаниками и гравелитами, в основном крепкими скальными разностями. Контакты между слоями такатинских пород ровные, четкие, без следов размыва и перерыва. По сравнению с типовым разрезом такатинских пород, приведенным выше, в разрезе «Южная Рассольная» наблюдаются два отличия: 1) базальные слои подстилаются здесь отложениями нижнего девона (нерасчлененный лоховский и пражский ярусы), которые выделены предшественниками условно; мощность этих отложений – первые метры, они отвечают времени перерыва в геологической летописи региона на границе позднего силура и раннего девона; подстилающими породами для них, по данным бурения, являются доломиты силурийской системы; 2) базальными породами являются песчаники и гравелиты, а не конгломераты, как на «Сухой Волынке»; различия эти фациальные, зависящие от соответствующих аллювиальных отложений, в основном русловых или пойменных.

Послойное описание разреза «Южная Рассольная» дается снизу вверх.

Слой 1. Аргиллиты светлоокрашенные зеленовато-серые, голубовато-светло-серые выветрелые до глинистого состояния. В толще рассеяны небольшие стяжения (бобовины) гидрогетита. В кровле слой ожелезнен и приобретает ржаво-желтые тона (1,0 м). Аргиллиты залегают согласно с вышележащими породами – редкогалечными, гравийно-мелкогалечными конгломератами (гравелитами) и песчаниками. Условно относятся к нижнему девону [26]. Эти условно нижнедевонские отложения описываются как пачка голубовато-серых и желтых глин с примесью алевритового материала (от 10 до 50 %), а также пестроцветных и белых алевритов, нередко содержащих овоиды гетита размером 1,5 см.

Слой 2. Песчаники кварцевые, светло-серые, желтовато-серые, тонкая слоистость подчеркнута ржаво-желтыми полосами ожелезнения (0,6 м).

Слой 3. Гравелиты (редкогалечные, мелкогалечно-гравийные конгломераты) кварцевые. В подошве (0,2 м) конгломераты частично дезинтегрированы. Каркас пород составляют редкие гальки кварцевых песчаников и жильного кварца гравийной и мелкогалечной размерности (около 30 %), окатанность галек по пятибалльной шкале средняя и хорошая. Наблюдаются характерные для древних конгломератов глубокие «ямки-вдавливания». Матрикс пород мелкогравийно-песчаный кварцевый, по петрографическому описанию, сходный с описанием песчаников этого же разреза. Мощность около 0,3 м.

Слой 4. Гравийные песчаники светло-серые, желтовато-серые, кварцевые, тонкослоистые, ожелезненные (1,0 м). Слой, по сути, является переходным от гравелитов к песчаникам.

Слой 5. Крепкие кварцевые песчаники светло-желтовато-серые мелко-среднезернистые, тонко-среднеслоистые. Элементы залегания нижележащего слоя гравелитов и вышележащего слоя песчаников пространственно совпадают, хотя и несколько «играют», учитывая, что они находятся в северо-восточном периклиналиальном замыкании Колчимской антиклинали (азимуты падения 70–80°, углы падения 25–39°). Мощность 0,7 м.

Литологическое описание разреза такатинской свиты в пределах Красновишерского района ранее выполнялось также Ю.Р. Беккером с соавторами [25]. Описанные ими разрезы в основании свиты представлены слоем песчаников тонкозернистых кварцевых с прослоями алевритов, однако гравий и галька в составе отсутствуют, а сами породы залегают на темно-бурых глинах (1,6 м) – продуктах выветривания силурийских доломитов. Описанные Ю.Р. Беккером слои характеризуют еще одну фациальную разновидность пород такатинской свиты в ее основании. Данный разрез обладает значительно большей мощностью, чем сходные по литологии интервалы разреза «Южная Рассольная», что объясняется прибрежно-морскими и морскими условиями осадконакопления.

Петрографическая характеристика

Минеральный состав терригенных пород такатинской свиты в соответствии с классификацией по Н.В. Лонгвиненко отвечает полевошпат-кварцевым и граувакковым песчаникам (рис. 4). Для полевошпат-кварцевых песчаников характерна псаммитовая структура с размерами зерен 0,1–0,8 мм. Преобладают 0,2–0,26 мм (рис. 5, А). Степень сортировки средняя. Зерна неправильной, субизометричной, слабоудлиненной формы. Среди обломков различаются полуокатанные (70–80 %), окатанные обломки (15–20 %) отмечаются неокатанные (5 %) (рис. 5, В). Для пород характерен кварцевый регенерационный цемент (рис. 5, С).

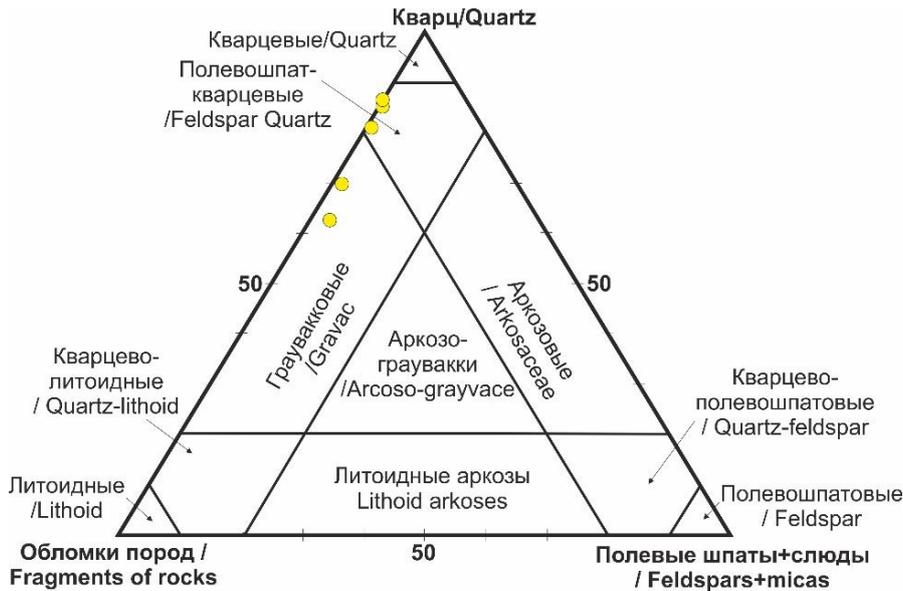


Рис. 4. Классификационная диаграмма для терригенных пород такатинской свиты, по [30]
Fig. 4. Classification diagram for terrigenous rocks of the Takata formation according to [30]

В единичных случаях в отдельных порах развивается каолинит, плохо раскристаллизованный, с примесью гидрослюды. Обломочный материал представлен зернами кварца (83 %), зернами полевых шпатов (1 %), обломками пород различного генезиса (16 %): преобладают обломки кварцитов, единичные обломки кремневых пород, алевролитов и пород глинистого состава. В породах диагностированы минералы, характерные для магматических пород кислого и среднего составов: циркон, сфен, лейкоксен (рис. 6). Аутигенные минералы: единичные чешуйки гидрослюды размером менее 0,05 мм, гематитизированный пирит размером 0,006–0,03 мм. Постседиментационные преобразования: структура вдавливания и образование конформных структур за счет регенерации кварца и уплотнения обломков.

Для гравякковых песчаников характерна псаммитовая структура с размерами зерен 0,1–0,8 мм. Единичные зерна размером 1,6–2,0 мм. Преобладают 0,2–0,25 мм. Зерна неправильной, субизометричной, слабоудлиненной формы. Среди обломков различаются полуокатанные (70–80 %), окатанные обломки (15–20 %) отмечаются неокатанные (5 %). Сортировка средняя. Для пород характерен смешанный тип цементации. Во-первых, регенерационный кварцевый цемент и бесцементное контактное соединение зерен кварца и обломков пород, которое характеризуется конформной структурой (рис. 5, D). Во-вторых, пленочно-поровый глинистый цемент, преимущественно гидрослюдистый (рис. 5, E). Неравномерно в отдельных порах развивается каолинит, плохо и средне- раскристаллизованный, с примесью гидрослюды. Обломочный

материал представлен зернами кварца (68 %), зернами полевых шпатов (1 %), обломками пород различного генезиса (31 %): обломки кварцитов (рис. 5), кремневых пород, единичные обломки алевролитов, глинистых пород и пород кремнисто-слюдистого состава. В породах диагностированы минералы, характерные для магматических пород кислого состава: циркон (рис. 6), титанит, лейкоксен. Аутигенные минералы: минералы цемента, изометричный пирит размером 0,01 мм и единичные неправильные скопления микрокристаллического пирита размером 0,25 мм, распределенные неравномерно по площади шлифа. Постседиментационные преобразования: редкие крустификационные каемки на обломках и на зернах, структура вдавливания и образование конформных структур за счет регенерации кварца и уплотнения обломков.

Петрогенные оксиды

Содержания петрогенных оксидов и рассчитанные значения основных химических индексов CIA [31] и ICV [32] приведены в таблице.

Такатинская свита. Содержания оксидов в терригенных породах варьируется в пределах: SiO₂=94,0–96,6, TiO₂=до 0,08, Al₂O₃=0,7–1,1, Fe₂O₃=0,3–1,9, MgO=0,1–0,2, CaO=0,1–0,3, Na₂O=до 0,1, K₂O=до 0,2 мас. % (таблица). На классификационной диаграмме Ф. Петтиджона фигуративные точки состава песчаников располагаются в поле кварцевых аренитов (рис. 7, А). На диаграмме (рис. 7, В) видно, что фигуративные точки составов песчаников расположены в поле значений характерных для незрелых слабо выветрелых пород CIA (53–65) и ICV (1,46–2,74).

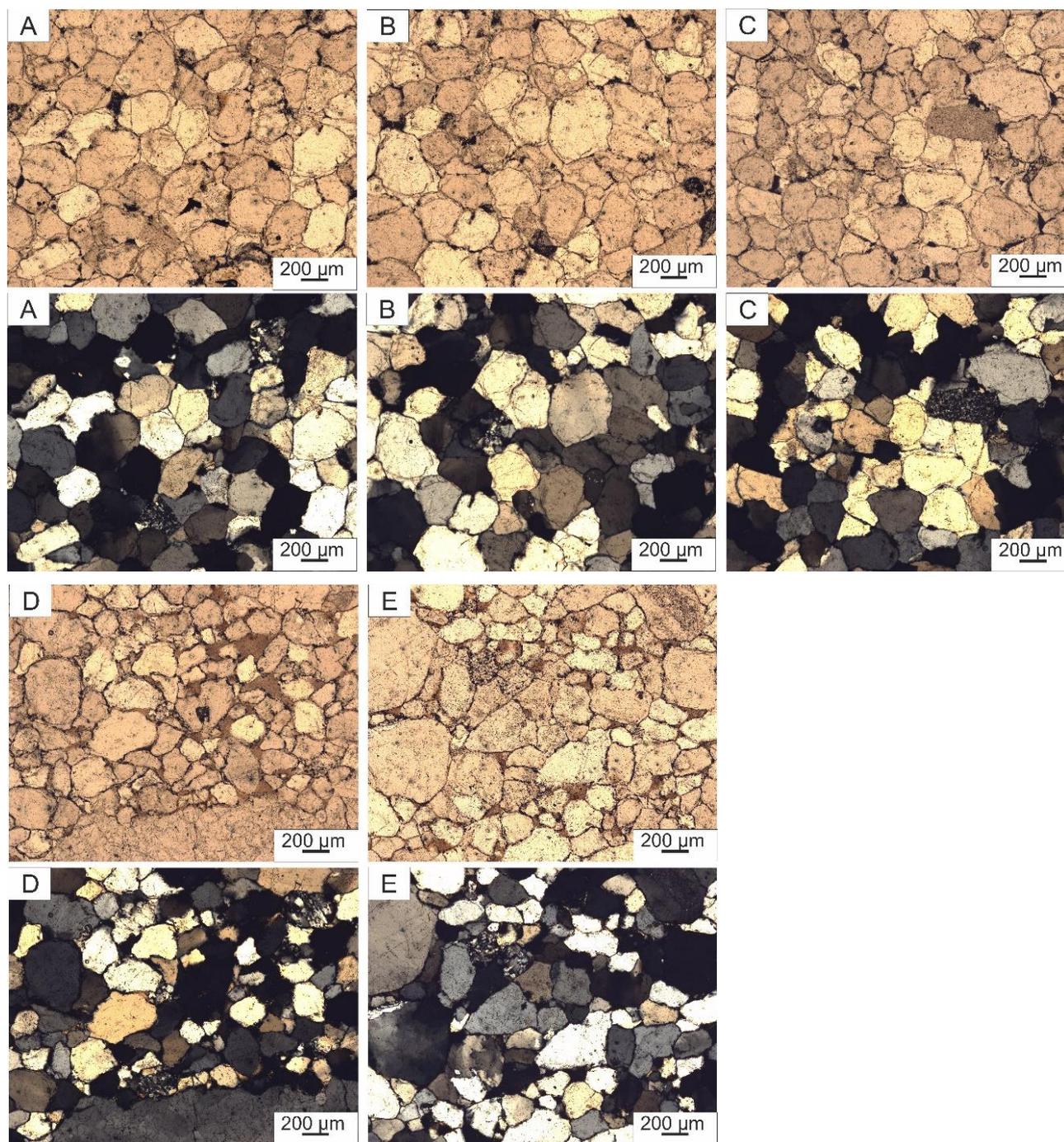


Рис. 5. Микрофотографии шлифов терригенных пород такатинской свиты: А – псаммитовая структура с преобладающими размерами зерен 0,2–0,26 мм, фрагмент шлифа без анализатора; В – песчаник разномзернистый с зернами кварца и обломками пород разной степени окатанности, преобладают полуокатанные, реже окатанные, неокатанные, фрагмент шлифа без анализатора; С – кварцевый регенерационный цемент, фрагмент шлифа без анализатора; D – бесцементное контактное соединение зерен кварца и обломков пород, которое характеризуется конформной структурой; единичное зерно циркона, фрагмент шлифа с анализатором; E – пленочно-поровый глинистый цемент, преимущественно гидрослюдястый; обломки кварцитов, фрагменты шлифов без анализатора. Первый ряд николи прямые, второй ряд николи скрещенные

Fig. 5. Micrographs of thin sections of terrigenous rocks of the Takata formation: A – psammite structure with prevailing grain sizes of 0.2–0.26 mm, section fragment without analyzer; B – inequigranular sandstone with quartz grains and fragments of rocks of different degrees of roundness; C – quartz regeneration cement, section fragment without analyzer; D – cementless contact connection of quartz grains and rock fragments, which is characterized by a conformal structure; a single grain of zircon, a fragment of a thin section with an analyzer; E – film-pore clayey cement, predominantly hydromicaceous; fragments of quartzites, fragments of thin sections without analyzer. The first row of nicolis are straight, the second row of nicolis are crossed

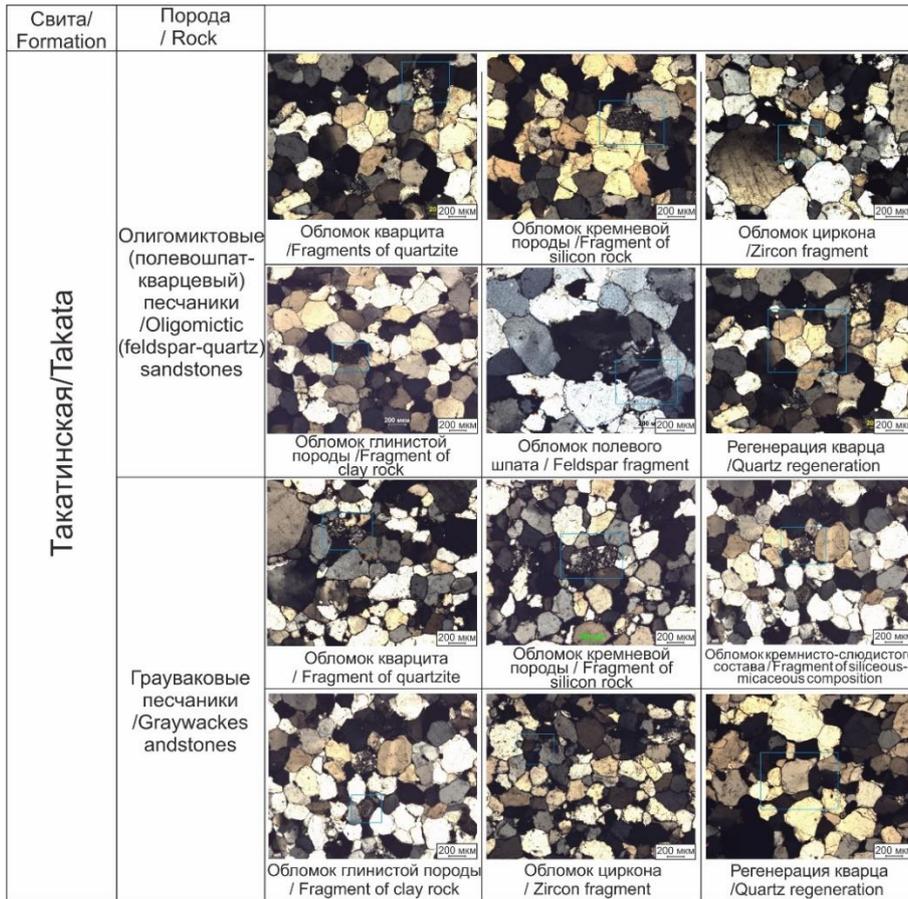


Рис. 6. Фототаблица микрофотографий шлифов терригенных пород такатинской свиты
Fig. 6. Phototable of micrographs of thin sections of terrigenous rocks of the Takata formation

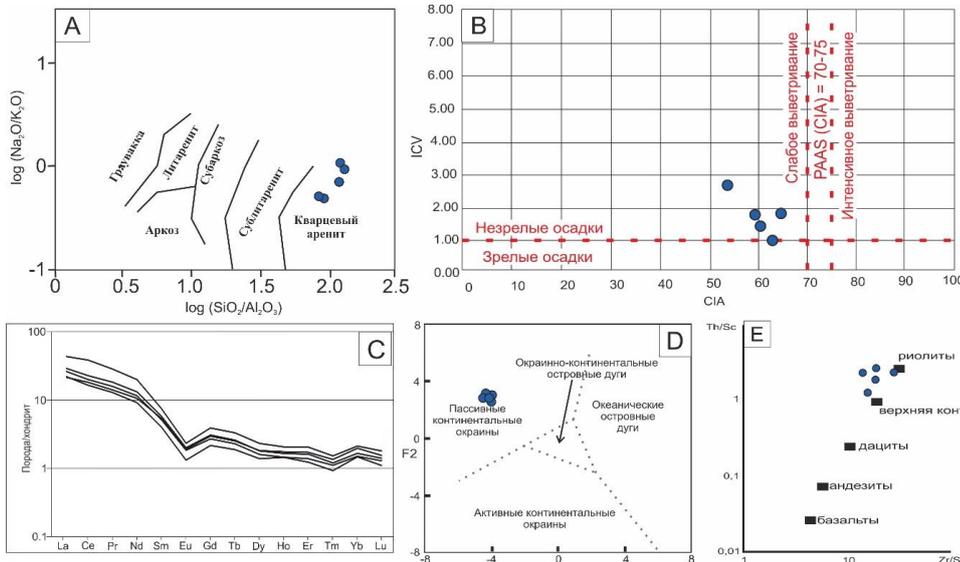


Рис. 7. Положение фигуративных точек на диаграммах Ф. Петтиджона (А) [34]; Диаграмма CIA (индекс химического выветривания) [31]/ICV (индекс зрелости осадков) (В) [32]; Спектры распределения РЗЭ (С), нормированные по хондриту [33]; Палеогеодинамическая дискриминационная диаграмма F1–F2 М. Бхатиа (D) [35]; Дискриминационные диаграммы для определения состава источника сноса; (E) – диаграмма Zr/Sc–Th/Sc [36]
Fig. 7. Position of figurative points on F. Pettijohn's diagrams (A) [34]; Chart CIA (Chemical Weathering Index) [31]/ICV (Precipitation Maturity Index) (B) [32]; REE distribution spectra (C) normalized to chondrite [33]; Paleogeodynamic discrimination diagram F1–F2 of M. Bhatia (D) [35]; Discrimination diagrams for determining the composition of the drift source; (E) Zr/Sc–Th/Sc diagram [36]

Редкоземельные элементы

Содержание редких и редкоземельных элементов (РЗЭ) в изученных образцах такатинской свиты представлено в таблице. Для наглядного представления особенностей распределения этих элементов проведено их нормирование на хондрит [33].

Таблица. Петрохимический состав и содержания редких и редкоземельных элементов в терригенных породах такатинской свиты

Table. Petrochemical composition and content of rare and rare earth elements in terrigenous rocks of the Takata formation

№ пробы Sample no.	Tkt-1	Tkt-2	Tkt-3	Tkt-4	Tkt-5
Литология Lithology	Песчаник Sandstone				
Компонент, мас. % Component, wt %	Такатинская свита Takata formation				
SiO ₂	95,78	95,76	96,63	94,08	95,31
TiO ₂	0,05	0,06	0,05	0,09	0,08
Al ₂ O ₃	0,82	0,81	0,77	1,04	1,14
Fe ₂ O ₃	0,91	1,01	0,30	1,97	0,82
MnO	0,10	0,10	0,08	0,09	0,07
MgO	0,17	0,16	0,17	0,22	0,24
CaO	0,21	0,14	0,15	0,32	0,16
Na ₂ O	0,06	0,07	0,06	0,08	0,12
K ₂ O	0,09	0,07	0,07	0,17	0,24
P ₂ O ₅	0,04	0,04	0,03	0,04	0,04
п.п.п/р.р.р.	0,58	0,64	0,40	0,71	0,55
Сумма/Sum	98,79	98,85	98,73	98,82	98,79
SiO ₂ /Al ₂ O ₃	116,80	117,93	125,65	90,20	83,31
K ₂ O/Na ₂ O	1,47	0,99	1,14	2,10	2,04
СIA	59,18	64,58	62,68	53,50	60,18
ICV	1,80	1,86	1,05	2,74	1,46
ppm					
Sc	0,90	0,68	0,44	0,84	1,12
Zr	16,65	14,36	14,34	18,61	17,67
Th	1,13	1,26	1,06	2,30	2,66
La	9,28	8,42	7,08	6,81	13,67
Ce	18,45	16,14	13,38	14,72	31,14
Pr	2,23	1,94	1,58	1,71	3,48
Nd	7,88	6,93	5,50	6,35	11,95
Sm	1,13	1,01	0,79	1,05	1,46
Eu	0,15	0,14	0,10	0,14	0,17
Gd	0,80	0,70	0,56	0,77	1,01
Tb	0,12	0,11	0,09	0,12	0,16
Dy	0,58	0,52	0,45	0,59	0,75
Ho	0,12	0,11	0,10	0,13	0,15
Er	0,34	0,29	0,26	0,36	0,43
Tm	0,04	0,04	0,03	0,04	0,05
Yb	0,35	0,31	0,31	0,41	0,44
Lu	0,05	0,04	0,04	0,05	0,06
Eu/Eu*	0,48	0,49	0,45	0,48	0,43
(La/Yb) _n	17,96	18,04	15,48	11,09	20,72
(La/Sm) _n	5,18	5,26	5,67	4,08	5,90
(Gd/Yb) _n	1,85	1,80	1,47	1,49	1,84

Примечания/Notes:

$CIA = [Al_2O_3 / (Al_2O_3 + CaO + Na_2O + K_2O)] \times 100$;

$ICV = (TiO_2 + Fe_2O_3 + MnO + MgO + CaO + K_2O + Na_2O) / Al_2O_3$;

$Eu/Eu^* = (Eu_n) / ((Sm_n) \times (Gd_n))^{1/2}$;

$(La/Yb)_n, (La/Sm)_n, (Ga/Yb)_n$ – отношения,

нормированные по хондриту/ratios normalized

by chondrite [22].

Для пород такатинской свиты обнаруживаются фракционированные спектры распределения РЗЭ ($La_n/Yb_n = 11,09–20,72$) и обогащение легкими лантаноидами ($La_n/Sm_n = 4,08–5,09$) относительно тяжелых ($Gd_n/Yb_n = 1,47–1,85$). На спектрах распределения РЗЭ для пород такатинской свиты фиксируется ярко выраженная отрицательная европиевая аномалия ($Eu/Eu^* = 0,43–0,49$) (рис. 7, С).

Обсуждение результатов

Перед обсуждением результатов авторы работы считают необходимым изложить свою точку зрения на первоисточник алмазов.

Первоисточники алмазов на Урале не установлены, однако известно, что сами алмазы кимберлитового генезиса. По-прежнему актуальным остается вопрос о месте и времени кимберлитового магматизма. Вслед за большинством уральских геологов, начиная с А.Д. Ишкова [16], мы считаем, что гипотетические кимберлитовые трубки имеют докембрийский возраст и внедрялись на северо-восточной (в современных координатах) окраине Русской плиты. По материалам бурения параметрических скважин известно, что кристаллический фундамент Волго-Уральской кратонизированной части Восточно-Европейской платформы представлен разнообразными гранитами, амфиболитами, гнейсами, зеленокаменными породами основного состава (метабазальтами) и т. д. Именно эти горные породы размывались в позднем протерозое и в раннем палеозое, поставляя обломочный материал для формирующихся на стадии седиментогенеза палеозойских пород. По известному правилу Клиффорда, кратонизированные части древних платформ являются благоприятными областями для кимберлитового магматизма в периоды тектоно-магматической активизации. Устанавливая питающую провинцию для палеозойских осадочных комплексов, мы можем предполагать и первоисточники алмазов для уральских алмазоносных россыпей. Таким образом, можно констатировать, что кимберлитовый генезис уральских алмазов установлен по самим алмазам, а место и время кимберлитового магматизма предполагаются по косвенным данным, в число которых входит и изучение алмазоносных промежуточных коллекторов.

Генетическая типизация терригенных пород такатинской свиты, проведенная с использованием системы индексов CIA/ICV [31, 32, 37, 38], позволила аттестовать песчаники как незрелые осадки. При этом образец Tkt-3 с показаниями ICV (1,05) близок к оси разделения осадков на зрелые и незрелые.

Песчаники такатинской свиты, которые характеризуются в целом средней степенью сортировки и окатанности, преимущественно полевошпат-

кварцевого и грауваккового состава, содержание обломков пород достигает 31 %. Помимо кварцитов и кремнисто-сланцевых пород присутствуют обломки алевролитов и кремнистых пород, что свидетельствует о поступлении продуктов выветривания нижележащих осадочных пород протерозоя и раннего палеозоя.

В публикации [39] авторами проведен количественный минералогический анализ тяжелой фракции пробы Тк_1, который выполнен по двум granulometricким классам: 0,5–0,25 и 0,25–0,1 мм. Выход тяжелой фракции низкий: 0,09 и 0,56 мас. %, соответственно. Преобладающим минералом является лейкоксен 83,1/78,7 %, затем идет циркон 2,9/6,7 %, турмалин 7,2/2,5 %, ильменит 5/2,5 %, анатаз 0,4/8,3 % и др. минералы. Анализ обломочной части и аксессуарных минералов, полученных по результатам петрографии и количественного минералогического анализа, показал, что в области источника разрушались преимущественно метаморфические и магматические породы кислого состава, при этом существовал источник пород основного состава.

Для пород фиксируется наличие отрицательной европиевой аномалии. Характер распределения спектров РЗЭ подтверждает сделанные выводы по результатам петрографических и минералогических исследований о преимущественно кислом составе пород в области источника сноса.

Присущие в терригенных породах значения отношений Zr/Sc и Th/Sc указывают, в соответствии с представлениями [37], на то, что в их составе доминирует материал первого цикла седиментации, источником которого были магматические породы преимущественно кислого состава (рис. 7, Е).

Полученный результат не противоречит имеющимся представлениям о происхождении терригенных пород такатинской свиты. В настоящее время основным источником сноса терригенного материала считаются внутренние районы ВЕП.

В конце раннего девона в западноуральский бассейн сносился терригенный материал за счет разрушения древних (>1,9 млрд лет) комплексов магматических и метаморфических пород приподнятых блоков фундамента, в строении которых участвовали только архейские и палеопротерозойские кристаллические комплексы [40, 41]. Временной интервал между формированием пород такатинской свиты и U-Pb изотопным возрастом самого молодого циркона, выделенного из них, составляет около 1,5 млрд лет [42].

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Чернова О.С. Научные основы построения геостатических моделей и геометризации юрско-меловых природных резервуаров Западной Сибири на базе петрофизических и седиментологических исследований керн: дис. ... д-ра геол.-минерал. наук. – Томск, 2018. – 522 с.
2. Reading H.G. Sedimentary environments and facies. – Boston: Blackwell, 1990. – 615 p.

Накопления пород шло в обстановках пассивной континентальной окраины, что подтверждается расположением фигуративных точек на палеогеодинамической диаграмме М. Бхатиа [35] (рис. 7, D).

Рассматриваемый стратиграфический интервал приурочен к тракту низкого стояния уровня моря такатинско-койвинского суперсеквенса. В такатинское время фиксируется региональный локальный минимум относительного уровня моря, сопряженный с континентальными и переходными обстановками осадконакопления [43, 44].

Заключение

В результате исследования авторами приведено детальное геологическое описание разреза «Южная Рассольная», который сопоставлен с типовым разрезом такатинских пород. В результате сопоставления отмечено, что базальными отложениями разреза «Южная Рассольная» являются гравелиты, а не конгломераты, как в типовом разрезе «Сухая Волынка». Оба разреза презентуются в печати впервые.

Формирование отложений происходило в переходной обстановке осадконакопления. Снизу вверх наблюдается трансгрессивная последовательность.

Терригенные породы такатинской свиты имеют в своем составе породы первого и второго циклов седиментации. Образовались за счет разрушения как первично-магматических (кислого и основного состава) и метаморфических, так и осадочных пород.

Совокупность вещественных характеристик терригенных пород такатинской свиты, с учетом опубликованных данных, позволила предположить, что седиментация пород происходила на пассивной континентальной окраине, при поступлении обломочного материала за счет размыва внутренних приподнятых блоков фундамента ВЕП, активизация которых произошла в эмское время при проявлении общелитосферной складчатости. Анализируемый песчаный материал преодолел значительное расстояние от источника сноса до бассейна седиментации. При его транспортировке водными потоками происходила эрозия в первую очередь осадочных пород дотакатинского времени, а именно верхнего протерозоя и раннего палеозоя. Именно в составе обломков конгломератов наблюдаются продукты разрушения «местных» осадочных пород.

Комплекс прецизионных исследований коренных пород такатинской свиты на месторождении «Южная Рассольная» выполнен авторами впервые.

3. Selim S.S. Sedimentology and stratigraphic evolution of fluvial-tidal transition reservoirs: an outcrop analog for the hydrocarbon-bearing Bahariya Formation, Western Desert, Egypt // *Journal of Sedimentary Research*. – 2023. – Vol. 93. – № 1. – P. 50–70.
4. Paleoenvironmental evolution of an Early Devonian section from Paraná Basin (South of Brazil) based on a multiproxy approach / R.M.A. Gama, K.B. Costa, D.E.S. dos Reis, E. Pereira // *J. Sediment. Environ.* – 2022. – Vol. 7. – P. 111–123.
5. Bonev N., Chiaradia M., Moritz R. Strontium isotopes reveal Early Devonian to Middle Triassic carbonate sedimentation in the Sakar-Strandzha Zone, SE Bulgaria // *Int J Earth Sci (Geol Rundsch)*. – 2022. – Vol. 111. – P. 1307–1314.
6. The proto-type basin and tectono-paleogeographic evolution of the Tarim basin in the Late Paleozoic / J. Xia, Z. Zhong, S. Huang, C. Luo, H. Lou, H. Chang, X. Li, L. Wei // *Front. Earth Sci.* – 2023. – Vol. 11. – P. 1–17.
7. Proterozoic–Phanerozoic tectonic evolution of the Qilian Shan and Eastern Kunlun Range, northern Tibet / Ch. Wu, J. Li, A.V. Zuza, P.J. Haproff, X. Chen, L. Ding // *GSA Bulletin*. – 2021. – Vol. 134. – № 9–10. – P. 2179–2205.
8. Waters J., Ausich W. *Gennaeocrinus tariatensis*, a new Emsian (Devonian) monobathrid crinoid from the Tarvagatay Terrane of Mongolia // *Journal of Paleontology*. – 2022. – Vol. 96. – № 3. – P. 631–637.
9. Thomsen V. Basic fundamental parameters in X-ray fluorescence May Spectroscopy // *Springfield then Eugene then Duluth*. – 2007. – Vol. 22. – № 5. – P. 46–50.
10. Хрущева М.О., Тишин П.А., Чернышов А.И. Геохимическая характеристика рассолов и современных эвапоритов урочища Талое Озеро (Республика Хакасия) // *Известия Иркутского государственного университета. Серия Науки о Земле*. – 2019. – № 30. – С. 130–140.
11. Атлас Пермского края / под ред. С.А. Бузмакова и др. – Пермь: ПГНИУ, 2012. – 124 с.
12. Олли А.И. Древние отложения западного склона Урала. – Саратов: Изд-во СГУ, 1948. – 413 с.
13. Келлер Б.М. Такатинская свита Башкирии // *Известия АН СССР. Серия геологическая*. – 1947. – № 2. – С. 137–139.
14. Марковский Б.П. Такатинские слои, свита. Стратиграфический словарь СССР. – М.: Гос. науч.-тех. изд-во литературы по геологии и охране недр, 1956. – 904 с.
15. Чочия Н.Г. Геологическое строение Колво-Вишерского края. – Л.: Госгеолтехиздат, 1955. – 407 с.
16. Ишков А.Д. Источники алмазов Уральских россыпей на примере Красновишерского района // *Совещание по геологии алмазных месторождений (тезисы докладов)*. – Пермь: Изд-во «Звезда», 1966. – С. 32–35.
17. Diamond accessory minerals in the Rassolninskoe and Volynka deposits (Perm' Oblast, Russia) / A.B. Makeev, B.M. Osovetskii, E.N. Cherepanov, V.A. Naumov // *Geology of Ore Deposits*. – 1999. – Vol. 41. – № 6. – P. 478–494.
18. Шмаков И.И. Геолого-генетические модели алмазных россыпей Африки (Намибия и Конго) и России (западного склона Урала): автореф. дис. ... канд. геол.-минерал. наук. – М., 2008. – 26 с.
19. Шмаков И.И., Божко Е.Н. Происхождение морских россыпей алмазов Намибии // *Вестник ВГУ, серия: Геология*. – 2008. – № 1. – С. 116–126.
20. Ветчанинов В.А. Такатинская свита среднего девона – источник алмазов уральских россыпей // *Геология и геофизика*. – 1987. – № 4. – С. 137–141.
21. Колобянин В.Я., Васильев С.И., Чумаков А.М. Отчет по поискам первоисточников алмазов на Колчимском поднятии в Красновишерском районе Пермской области за 1980–1984 гг. – Пермь, 1984. – P-40-XXXIV.
22. Конев П.Н., Чалов Б.Я. Условия образования и продуктивность такатинской свиты Колво-Вишерского края // *Геология и полезные ископаемые Урала: Материалы к II уральской конференции молодых геологов. Ч. I*. – Свердловск, 1969. – С. 63–65.
23. Колобянин В.Я., Погорелов Ю.И., Васильев С.И. Отчет по поискам первоисточников алмазов в бассейне р. Большой Колчим Вишерского алмазоносного района (участки Больше-Колчимский и Буркочимский), проведенным в 1976–1979 гг. – Набережный, 1979. – 251 с.
24. Конев П.Н., Чалов Б.Я. Изучение обломочного кварца такатинской свиты Колво-Вишерского края для палеогеографических реконструкций // *Литология и полезные ископаемые*. – 1972. – № 5. – С. 21–25.
25. Беккер Ю.Р., Бекасова Н.Б., Ишков А.Д. Алмазоносные россыпи в девонских отложениях Северного Урала // *Литология и полезные ископаемые*. – 1970. – № 4. – С. 65–77.
26. Литология, условия образования и алмазоносность такатинской свиты Колво-Вишерского края (Отчет Эйфельского отряда Поисково-Прогнозной партии за 1966–1967 гг.) / П.Н. Конев, Б.Я. Чалов, Г.И. Лучников, В.П. Шуйский. – Набережный: ВГФ, УГФ, ВСЕГЕИ, 1968. – P-40-XXVII–XXIX, XXXIII–XXXV.
27. Чуйко В.А., Синкин В.А. Путеводитель геологической экскурсии «Россыпные месторождения алмазов Красновишерского района». – Красновишерск; Пермь: Перм. ун-т; ЗАО «Уралалмаз», 2005. – 28 с.
28. Харитонов Т.В. О такатинской свите Пермского края. Проблемы минералогии, петрографии и металлогении // *Научные чтения памяти П.Н. Чирвинского*. – 2021. – № 24. – С. 266–273.
29. Государственная геологическая карта Российской Федерации. Масштаб 1:1000000 (третье поколение). Серия Уральская. Лист P-40 – Североуральск. Объяснительная записка. – СПб.: Картографическая фабрика ВСЕГЕИ, 2005. – 332 с.
30. Логвиненко Н.В. Петрография осадочных пород (с основами методики исследования). – М.: Высшая школа, 1974. – 400 с.
31. Nesbitt H.W., Young G.M. Early Proterozoic climates and plate motions inferred from major element chemistry of lutites // *Nature*. – 1982. – Vol. 299. – P. 715–717.
32. Cox R., Lowe D.R.A. Conceptual review of regional-scale controls on the composition of clastic sediment and the co-evolution of continental blocks and their sedimentary cover // *Journal of Sedimentary Research*. – 1995. – Vol. 1. – P. 1–12.
33. Boynton W.V. Geochemistry of the rare earth elements: meteorite studies // *Rare earth element geochemistry* / Ed. by P. Henderson. – New York: Elsevier, 1984. – P. 63–114.
34. Pettijohn F.I., Potter P.E., Siever R. Sand and sandstone. – New York: Springer, 1972. – 618 p.
35. Bhatia M.R. Plate tectonics and geochemical composition of sandstones // *J. Geol.* – 1983. – Vol. 91. – P. 611–627.
36. Cullers R.L. Implications of elemental concentrations for provenance, redox conditions, and metamorphic studies of shales and limestones near Pueblo, CO, USA // *Chem Geol.* – 2002. – Vol. 191. – P. 305–327.

37. Geochemical approaches to sedimentation, provenance and tectonics / S.M. McLennan, S. Hemming, D.K. McDaniel, G.N. Hanson // *Processes Controlling the Composition of Clastic Sediments. Special Papers, Geological Society of America* / Eds. M.J. Johnsson, A. Basu. – Massachusetts: Geological Society of America, 1993. – Vol. 284. – P. 21–40.
38. Fedo C., Nesbitt H.W., Young G.M. Unraveling the effects of potassium metasomatism in sedimentary rocks and paleosols, with implications for paleoweathering conditions and provenance // *Geology*. – 1995. – Vol. 23. – P. 921–924.
39. Пактовский Ю.Г., Томилина Е.М. Новые данные о базальных отложениях такатинской свиты на Южнорассольнинском месторождении алмазов (Пермский край) // *Проблемы минералогии, петрографии и металлогении. Научные чтения памяти П.Н. Чирвинского*. – 2023. – № 26. – С. 207–214.
40. Первые U/Pb-данные о возрастах детритных цирконов из песчаников верхнеэмской такатинской свиты Западного Урала (в связи с проблемой коренных источников уральских алмазоносных россыпей) / Н.Б. Кузнецов, Т.В. Романюк, А.В. Шаццло, С.Ю. Орлов, В.М. Горожанин, Е.Н. Горожанина, Е.С. Серегина, Н.С. Иванова, Дж. Меерт // *Доклады Академии Наук*. – 2014. – Т. 455. – № 4. – С. 427–432.
41. Пыжова Е.С., Попова Н.С. Результаты изотопного (U/Pb) датирования обломочных (детритных) цирконов из песчаников алмазоносной эмской (нижний девон) такатинской свиты западного Урала // *Вестник РУДН. Инженерные исследования*. – 2015. – № 1. – С. 45–51.
42. О некоторых общих особенностях формирования терригенных отложений Западного Урала: синтез данных изотопного U–Pb датирования обломочных цирконов и геохимических исследований глинистых пород / А.В. Маслов, Г.А. Мизенс, Г.М. Вовна, В.И. Киселёв, Ю.Л. Ронкин // *Литосфера*. – 2016. – № 3. – С. 27–46.
43. Строение и этапы развития осадочного бассейна северо-востока Восточно-Европейской платформы в протерозое и палеозое на основе многолетних наблюдений геологических разрезов и исследований глубоких скважин / А.И. Сулима, А.В. Плюснин, Л.Д. Плешков, Я.С. Трубин, В.Д. Тимофеев // *Известия Томского политехнического университета. Инжиниринг георесурсов*. – 2021. – Т. 332. – № 11. – С. 141–160.
44. Snedden J.W., Liu C. A compilation of Phanerozoic sea level change, coastal onlaps, and recommended sequence designations // *American Association of Petroleum Geologists Search and Discovery Article*. – 2010. – 3 p.

Информация об авторах

Юрий Германович Пактовский, кандидат геолого-минералогических наук, доцент кафедры минералогии и петрографии Пермского Государственного национального исследовательского университета им. А.М. Горького, Россия, 614990, г. Пермь, ул. Букирева, 15. urijpaktovskij65@gmail.com

Алексей Владимирович Плюснин, кандидат геолого-минералогических наук, старший научный сотрудник лаборатории седиментологии и эволюции палеобиосферы Тюменского Государственного университета, Россия, 625003, г. Тюмень, ул. Ленина, 23. a.v.plusnin@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-2386-0287>

Елена Михайловна Томилина, старший преподаватель кафедры минералогии и петрографии Пермского Государственного национального исследовательского университета им. А.М. Горького, Россия, 614990, г. Пермь, ул. Букирева, 15. tomilinaelena.psu@yandex.ru

Дмитрий Андреевич Староселец, аспирант, лаборант-исследователь лаборатории седиментологии и эволюции палеобиосферы Тюменского Государственного университета, Россия, 625003, г. Тюмень, ул. Ленина, 23. d_star1997@mail.ru

Игорь Викторович Афонин, кандидат геолого-минералогических наук, старший научный сотрудник научно-исследовательской лаборатории структурной петрологии и минерогении, Национальный исследовательский Томский государственный университет, Россия, 634050, г. Томск, пр. Ленина, 36. heaven05@list.ru

Евгения Сергеевна Рабцевич, кандидат химических наук, инженер-исследователь испытательного центра «Томский региональный центр коллективного пользования», Национальный исследовательский Томский государственный университет, Россия, 634050, г. Томск, пр. Ленина, 36. evgenia882-a@mail.ru

Александр Иванович Сулима, соискатель кафедры региональной и нефтегазовой геологии, Пермский государственный национальный исследовательский университет им. А.М. Горького, Россия, 614000, г. Пермь, ул. Букирева, 15. super.sulima2013@yandex.ru

Виталий Анатольевич Чуйко, главный геолог ООО «Алмайнинг», Россия, 614081, г. Пермь, ул. Кронштадтская, 35. vchujko@mail.ru

Поступила: 01.09.2023

Прошла рецензирование: 20.09.2023

Принята к публикации: 23.05.2024

REFERENCE

1. Chernova O.S. *Scientific bases of construction of geostatic models and geometry of Jurassic-Cretaceous natural reservoirs of Western Siberia on the basis of petrophysical and sedimentological researches of core*. Dr. Diss. Tomsk, 2018. 522 p. (In Russ.)
2. Reading H.G. *Sedimentary environments and facies*. Boston, Blackwell, 1990. 615 p.

3. Selim S.S. Sedimentology and stratigraphic evolution of fluvial–tidal transition reservoirs: an outcrop analog for the hydrocarbon-bearing Bahariya Formation, Western Desert, Egypt. *Journal of Sedimentary Research*, 2023, vol. 93, no. 1, pp. 50–70.
4. Gama R.M.A., Costa K.B., Dos Reis D.E.S., Pereira E. Paleoenvironmental evolution of an Early Devonian section from Paraná Basin (South of Brazil) based on a multiproxy approach. *J. Sediment. Environ.*, 2022, vol. 7, pp. 111–123.
5. Bonev N., Chiaradia M., Moritz R. Strontium isotopes reveal Early Devonian to Middle Triassic carbonate sedimentation in the Sakar-Strandzha Zone, SE Bulgaria. *Int J Earth Sci (Geol Rundsch)*, 2022, vol. 111, pp. 1307–1314.
6. Xia J., Zhong Z., Huang S., Luo C., Lou H., Chang H., Li X., Wei L. The proto-type basin and tectono-paleogeographic evolution of the Tarim basin in the Late Paleozoic. *Front. Earth Sci*, 2023, vol. 11, pp. 1–17.
7. Wu Ch., Li J., Zuza A.V., Haproff P.J., Chen X., Ding L. Proterozoic–Phanerozoic tectonic evolution of the Qilian Shan and Eastern Kunlun Range, northern Tibet. *GSA Bulletin*, 2021, vol. 134, no. 9–10, pp. 2179–2205.
8. Waters J., Ausich W. *Gennaecrinus tariatensis*, a new Emsian (Devonian) monobathrid crinoid from the Tarvagatay Terrane of Mongolia. *Journal of Paleontology*, 2022, vol. 96, no. 3, pp. 631–637.
9. Thomsen V. Basic fundamental parameters in X-ray fluorescence May Spectroscopy. *Springfield then Eugene then Duluth*, 2007, vol. 22, no. 5, pp. 46–50.
10. Khrushcheva M.O., Tishin P.A., Chernyshov A.I. Geochemical characteristics of brines and modern evaporites of the Taloe Ozero tract (Republic of Khakassia). *Bulletin of the Irkutsk State University. Earth Science Series*, 2019, no. 30, pp. 130–140. (In Russ.)
11. *Atlas of the Perm Territory*. Ed. by S.A. Buzmakov. Perm, PGNIU Publ., 2012. 124 p.
12. Ollie A.I. *Ancient deposits of the western slope of the Urals*. Saratov, SGU Publ., 1948. 413 p. (In Russ.)
13. Keller B.M. Takata Formation of Bashkiria. *News of the Academy of Sciences of the USSR. Geological series*, 1947, no. 2, pp. 137–139. (In Russ.)
14. Markovsky B.P. *Takata layers, suite. Stratigraphic Dictionary of the USSR*. Moscow, State sci.-tech. publishing house of literature on geology and protection of mineral resources, 1956. 904 p. (In Russ.)
15. Chochia N.G. *Geological structure of the Kolvo-Vishera region*. Leningrad, Gosgeoltekhizdat Publ., 1955. 407 p. (In Russ.)
16. Ishkov A.D. Sources of diamonds in the Ural placers on the example of the Krasnovishersky region. *Meeting on the geology of diamond deposits (abstracts)*. Perm, Zvezda Publ. House, 1966. pp. 32–35. (In Russ.)
17. Makeev A.B., Osovetskii B.M., Cherepanov E.N., Naumov V.A. Diamond Accessory Minerals in the Rassolninskoe and Volynka Deposits (Perm' Oblast, Russia). *Geology of Ore Deposits*, 1999, vol. 41, no. 6, pp. 478–494.
18. Shmakov I.I. *Geological and genetic models of diamond placers in Africa (Namibia and Congo) and Russia (western slope of the Urals)*. Cand. Diss. Abstract. Moscow, 2008. 26 p. (In Russ.)
19. Shmakov I.I., Bozhko E.N. Origin of marine diamond placers in Namibia. *Bulletin of VSU, series: Geology*, 2008, no. 1, pp. 116–126. (In Russ.)
20. Vetchaninov V.A. Middle Devonian Takatin Formation as a source of diamonds in the Ural placers. *Geology and geophysics*, 1987, no. 4, pp. 137–141. (In Russ.)
21. Kolobyani V.Ya., Vasiliev S.I., Chumakov A.M. *Report on the search for primary sources of diamonds on the Kolchim uplift in the Krasnovishersky district of the Perm region for 1980–1984*. Perm, 1984. R-40-XXXIV. (In Russ.)
22. Konev P.N., Chalov B.Ya. Conditions of formation and productivity of the Takatin Formation of the Kolvo-Vishera Territory. *Geology and Minerals of the Urals. Materials for the II Ural Conference of Young Geologists. Part I*. Sverdlovsk, 1969. pp. 63–65. (In Russ.)
23. Kolobyani V.Ya., Pogorelov Yu.I., Vasiliev S.I. *Report on the search for primary sources of diamonds in the basin of the river. Bolshoi Kolchim of the Vishera diamondiferous region (Bolshekolchimsky and Burkochimsky sections), carried out in 1976–1979*. Naberezhny, 1979. 251 p. (In Russ.)
24. Konev P.N., Chalov B.Ya. Study of detrital quartz of the Takatinsky formation of the Kolvo-Vishera region for paleogeographic reconstructions. *Lithology and minerals*, 1972, no. 5, pp. 21–25. (In Russ.)
25. Becker Yu.R., Bekasova N.B., Ishkov A.D. Diamond-bearing placers in the Devonian deposits of the Northern Urals. *Lithology and minerals*, 1970, no. 4, pp. 65–77. (In Russ.)
26. Konev P.N., Chalov B.Ya., Luchnikov G.I., Shuisky V.P. *Lithology, conditions of formation and diamond content of the Takatinskaya suite of the Kolvo-Vishera region (Report of the Eifel team of the Poiskovoprognoznoy party for 1966–1967)*. Naberezhny, VGF, UGF, VSEGEI Publ., 1968. P-40-XXVII–XXIX, XXXIII–XXXV. (In Russ.)
27. Chuiko V.A., Sinkin V.A. *Guide of the geological excursion "Alluvial diamond deposits of the Krasnovishersky district"*. Krasnovishersk, Perm, Perm University Publ.; CJSC "Uralalmaz" Publ., 2005. 28 p. (In Russ.)
28. Kharitonov T.V. On the Takata Formation of the Perm Territory. Problems of mineralogy, petrography and metallogeny. *Scientific readings in memory of P.N. Chirvinsky*, 2021, no. 24, pp. 266–273. (In Russ.)
29. *State geological map of the Russian Federation. Scale 1:1000000 (third generation). Ural series. Sheet P-40 – Severouralsk. Explanatory letter*. St. Petersburg, Cartographic factory VSEGEI Publ., 2005. 332 p. (In Russ.)
30. Logvinenko N.V. *Petrography of sedimentary rocks (with the basics of research methodology)*. Moscow, Vysshaya Shkola Publ., 1974. 400 p. (In Russ.)
31. Nesbitt H.W., Young G.M. Early Proterozoic climates and plate motions inferred from major element chemistry of lutites. *Nature*, 1982, vol. 299, pp. 715–717.
32. Cox R., Lowe D.R.A. Conceptual review of regional-scale controls on the composition of clastic sediment and the co-evolution of continental blocks and their sedimentary cover. *Journal of Sedimentary Research*, 1995, vol. 1, pp. 1–12.
33. Boynton W.V. Geochemistry of the rare earth elements: meteorite studies. *Rare earth element geochemistry*. Ed. by P. Henderson. New York, Elsevier, 1984. pp. 63–114.
34. Pettijohn F.I., Potter P.E., Siever R. *Sand and sandstone*. New York, Springer, 1972. 618 p.
35. Bhatia M.R. Plate tectonics and geochemical composition of sandstones. *J. Geol.*, 1983, vol. 91, pp. 611–627.

36. Cullers R.L. Implications of elemental concentrations for provenance, redox conditions, and metamorphic studies of shales and limestones near Pueblo, CO, USA. *Chem Geol*, 2002, vol. 191, pp. 305–327.
37. McLennan S.M., Hemming S., McDaniel D.K., Hanson G.N. Geochemical approaches to sedimentation, provenance and tectonics. *Processes Controlling the Composition of Clastic Sediments. Special Papers, Geological Society of America*. Eds. M.J. Johnsson, A. Basu. Massachusetts, Geological Society of America, 1993. Vol. 284, pp. 21–40.
38. Fedo C., Nesbitt H.W., Young G.M. Unraveling the effects of potassium metasomatism in sedimentary rocks and paleosols, with implications for paleoweathering conditions and provenance. *Geology*, 1995, vol. 23, pp. 921–924.
39. Paktovsky Yu.G., Tomilina E.M. New data on the basal deposits of the Takatin Formation at the Yuzhnorassolninskoye diamond deposit (Perm Territory). *Problems of mineralogy, petrography and metallogeny. Scientific readings in memory of P.N. Chirvinsky*, 2023, no. 26, pp. 207–214. (In Russ.)
40. Kuznetsov N.B., Romanyuk T.V., Shatsillo A.V., Orlov S.Yu., V.M., Gorozhanina E.N., Seregina E.S., Ivanova N.S., Meert J.J. The first U/Pb data on the ages of detrital zircons from sandstones of the Upper Emskaya Takatin Formation of the Western Urals (in connection with the problem of primary sources of Ural diamondiferous placers). *Reports of the Academy of Sciences*, 2014, vol. 455, no. 4, pp. 427–432. (In Russ.)
41. Pyzhova E.S., Popova N.S. Results of isotope (U/Pb) dating of clastic (detrital) zircons from sandstones of the diamond-bearing Ems (Lower Devonian) Takatin Formation of the Western Urals. *Bulletin of RUDN University. Engineering research*, 2015, no. 1, pp. 45–51. (In Russ.)
42. Maslov A.V., Mizens G.A., Vovna G.M., Kiselev V.I., Ronkin Yu.L. On some general features of the formation of terrigenous deposits of the Western Urals: synthesis of U–Pb isotopic dating of detrital zircons and geochemical studies of clayey rocks. *Lithosphere*, 2016, no. 3, pp. 27–46. (In Russ.)
43. Sulima A.I., Plyusnin A.V., Pleshkov L.D., Trubin Ya.S., Timofeev V.D. The structure and stages of development of the sedimentary basin of the northeast of the East European Platform in the Proterozoic and Paleozoic based on long-term observations of geological sections and research of deep wells. *Bulletin of the Tomsk Polytechnic University. Geo assets Engineering*, 2021, vol. 332, no. 11, pp. 141–160. (In Russ.)
44. Snedden J.W., Liu C. A compilation of Phanerozoic sea level change, coastal onlaps, and recommended sequence designations. *American Association of Petroleum Geologists Search and Discovery Article*, 2010, 3 p.

Information about the authors

Yury G. Paktovsky, Cand. Sc., Associate Professor, A.M. Gorky Perm State National Research University, 15, Bukirev street, Perm, 614990, Russian Federation. urijpaktovskij65@gmail.com

Aleksey V. Plusnin, Cand. Sc., Senior Researcher, University of Tyumen, 23, Lenin street, Tyumen, 625003, Russian Federation. a.v.plyusnin@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-2386-0287>

Elena M. Tomilina, Senior Lecturer, A.M. Gorky Perm State National Research University, 15, Bukirev street, Perm, 614990, Russian Federation. tomilinaelena.psu@yandex.ru

Dmitry A. Staroselets, Postgraduate Student, University of Tyumen, 23, Lenin street, Tyumen, 625003, Russian Federation. d_star1997@mail.ru

Igor V. Afonin, Cand. Sc., Senior Researcher, National Research Tomsk State University, 36, Lenin avenue, Tomsk, 634050, Russian Federation. heaven05@list.ru

Evgenia S. Rabtsevich, Cand. Sc., Research Engineer, National Research Tomsk State University, 36, Lenin avenue, Tomsk, 634050, Russian Federation. evgenia882-a@mail.ru

Alexander I. Sulima, Applicant, A.M. Gorky Perm State National Research University, 15, Bukirev street, Perm, 614990, Russian Federation. super.sulima2013@yandex.ru

Vitaly A. Chuiko, Chief Geologist, Almayning LLC, 35, Kronstadtskaya street, Perm, 614081, Russian Federation. vchujko@mail.ru

Received: 01.09.2023

Revised: 20.09.2023

Accepted: 23.05.2024