

## Сылвенский комплекс флюидолитов Юрюзано-Сылвенской депрессии (Свердловская область)

Владимир Александрович ДУШИН\*

Денис Игоревич ПРОКОПЧУК\*\*

Сергей Геннадьевич СУСТАВОВ\*\*\*

Артем Константинович ТРУТНЕВ\*\*\*\*

Евгений Александрович ЖУКЛИН\*\*\*\*\*

Уральский государственный горный университет, Екатеринбург, Россия

### Аннотация

**Объект исследования.** В статье приводится характеристика впервые закартированного алмазодержащего Сылвенского комплекса флюидолитов, установленного в области сочленения восточного крыла Юрюзано-Сылвенской депрессии и Западно-Уральской надвиговой зоны (истоки р. Сылва).

**Материалы и методы.** Работа основана на результатах собственных исследований, обобщении материалов по геологии и петрографии вмещающих породных комплексов, их структурно-тектонической позиции в зоне влияния Главного Западно-Уральского надвига. В статье использованы результаты исследований на сканирующем электронном микроскопе VEGA LMS фирмы TESCAN с энергодисперсионной приставкой Xplore 30 фирмы Oxford Instruments и рентгеновской установке УРС-55 в камере РКД в лаборатории УГГУ, а также на дифрактометре XRD-7000 и спектрометре СРМ-35 и EDX-8000 фирмы Shimadzu в ЦКП «Геоаналитик» Института геологии и геохимии УрО РАН.

**Результаты.** Авторами проведено минералого-петрографическое изучение продуктивных на алмазы грубообломочных пород, идентифицированных как флюидолиты, показан их вероятный флюидно-магматический генезис, на что указывают как структурно-текстурные, так и минералогические особенности вулканокластитов, включая акцессорные минералы-индикаторы алмазоносности, а также присутствие каплевидных, эллипсообразных выделений вулканического стекла, пульпообразный, тонкодисперсный характер основной массы, несортированные, слабоокатанные до остроугольных обломки магматических и осадочных пород. Показан химический состав флюидолитов, определяющий их геодинамическую принадлежность и близость к алмазоносным туффизитам Вишерского района. Дано рентгеновское определение как алмаза, так и вмещающего Сылвенского комплекса.

**Выводы.** Полученные данные свидетельствуют о вероятном проявлении фреатического вулканизма, приведшего к транспортировке флюидолитами алмаза и его спутников в ослабленную активизированную зону перед фронтом Главного Западно-Уральского надвига.

**Ключевые слова:** алмаз, нижняя пермь, туфобрекчии, флюидолиты, микросферулы, Юрюзано-Сылвенская депрессия, Главный Западно-Уральский надвиг, Сылвенский комплекс.

### Введение

Основной минерально-сырьевой базы уральской алмазодобывающей отрасли до настоящего времени считаются современные и погребенные россыпи, первоисточниками сырья в которых предполагаются груботерригенные толщи федоровской ( $RF_3$ ), основания колчимской ( $S_1$ ) и такатинской ( $D_2$ ) свит, кимберлиты или лампроиты восточного обрамления Русской платформы [1, 2]. Не исключается и вклад щелочно-базит-ультрабазитового магматизма Урала, включая кимберлиты (хартесский комплекс), лампроиты (сертынтинский и шарьюский (MZ), шеинский, ахмеровский комплексы), перидотиты (косьвинский комплекс). Отдельные исследователи предполагают метаморфоген-

ный (кумдыкольский тип) либо ударно-метаморфогенный (попигайский тип) коренных источников алмазов [3].

Важной вехой в вопросе выявления местных коренных источников кристаллосырья и значительного усиления геологических и тематических работ вызвало появление в 1995–1996 гг. «туффизитовой» концепции, предложенной пермскими геологами В. Г. Остроумовым и А. Я. Рыбальченко [4, 5], поддержанной геологами ВСЕГЕИ и ВНИИОкеангеологии Л. И. Лукьяновой, В. В. Жуковым и Федеральным агентством по недропользованию «Роснедра» (А. Ф. Морозов) и другими для объектов Красновишерского узла [6]. С этого времени актив-

✉ Vladimir.Dushin@m.ursmu.ru

 <https://orcid.org/0000-0002-9657-6324>

\*\*uva9090@mail.ru

\*\*\*Sustavov.s@ursmu.ru

\*\*\*\*tema.trutnev@yandex.ru

\*\*\*\*\*zhuklin7@gmail.com

но началась переработка и переосмысление материалов предшествующих работ, в которой участвовали геологи Пермьгеолодобыча и АО «Уралалмаз», ВСЕГЕИ, ПГГ СП Геокарлат, ИГЕМ, ТОО «Прогноз Д», УКГСЭ, ИГ и М (Миасс), ЦНИГРИ, ИГ Коми ФАН, СНИГЭ (УГГУ), ПГУ (г. Пермь) и др. [7–10]. Как показали проведенные исследования, алмазы из уральских россыпей весьма своеобразны и отличаются от кристаллосырья других провинций своей морфологией (округлые формы), повышенным средним весом, изотопным составом, высоким ювелирным качеством и т. д., что наряду с исследованием вероятных областей питания и тенденцией переноса материала указывало на местный источник формирования известных месторождений Красновишерского района [11]. Этот вывод был дополнен материалами о присутствии в районе своеобразного фреатического вулканизма и особенностями глубинного строения Западно-Уральской надвиговой мегазоны. Последняя представляет собой окраину сложнопостроенной палеорифтовой структуры, сформированной на гетерогенном архейско-раннепротерозойском основании [6, 12, 13].

В настоящее время в Западно-Уральской минерагенической мегазоне выделяют следующие рудно-россыпные районы: Ныробский, Вишерский, Яйвинский, Нижнеусьвенский, Горнозаводской, Чусовской, Березовский, Велсовский, Койвинский и Бисертский. При этом только в Вишерском, Яйвинском, Горнозаводском районах установлены месторождения и проявления алмазов [6], которые послужили полигоном создания «туффизитовой» модели [14].

Алмазонасные туффизиты и ксенотуффизиты западного склона Урала предлагаются в качестве наиболее важного коренного источника алмазов эруптивно-эксплозивной природы, нередко претерпевших коровые процессы [10]. Наряду с пластообразными формами данные породы образуют трубчатые и дайково-жильные тела, что позволяло геологам считать их магматическими образованиями, близкими к трубкам взрыва. По мнению Г. Н. Кузовкова, эти породы следует относить к аллогенным, импактным образованиям, являющимся аналогами бразильских филлитов [3].

Таким образом, судя по литературным источникам [3, 6], включая наши исследования по Полярному и Приполярному Уралу [15], вопросы происхождения первоисточников алмазов остаются до настоящего времени дискуссионными. В связи с этим находка нами алмаза в своеобразных кластогенных экструзивных породах (флюидолитах), прорывающих нижнепермские отложения, позволяет уточнить понимание проблемы первоисточников алмазов.

#### Методика исследований

Данная публикация посвящена геологическому строению восточного крыла Юрюзано-Сылвенской депрессии Предуральского прогиба и характеристике экструзивного тела Сылвенского комплекса как возможного источника обнаруженного алмаза. Работы проводились в рамках геологического доизучения листа О-40-XXIX (Шалинская площадь) масштаба 1:200 000 (ГДП-200/2) и программы «Приоритет 2030 ФГБОУ ВО УГГУ на 2021–2030 гг.». Исследования включали широкий круг задач – от изучения литологии, петрографии, петрохимии пород до выяснения их геохимического, минералогического составов, а также геологического строения, тектонических и геоморфологических особенностей территории.

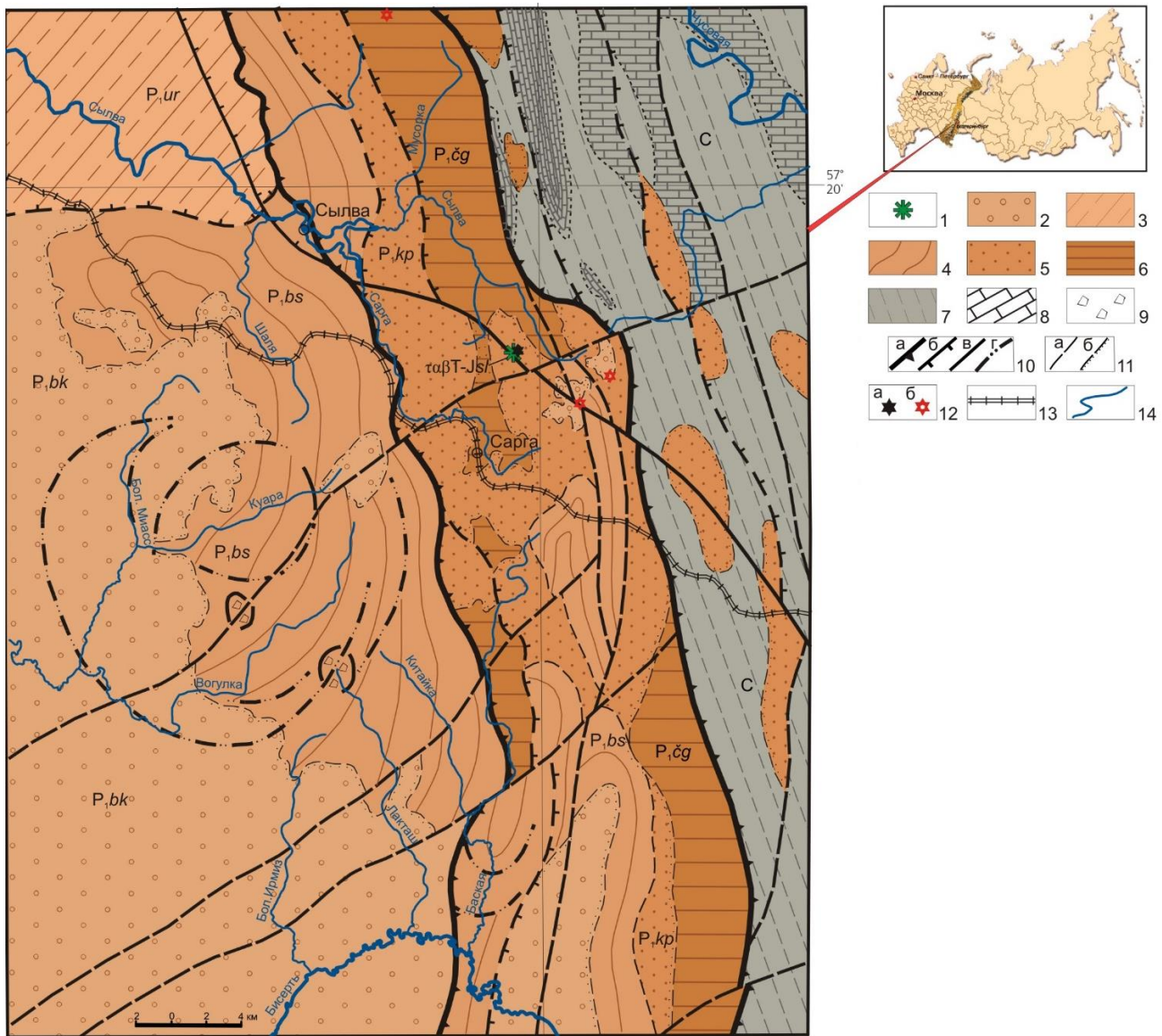
Изучение морфологии, внутреннего строения, химического состава как алмаза, так и вмещающих породных комплексов осуществлено в лабораториях ФГБОУ ВО УГГУ. Морфологическое изучение кристалла было проведено с помощью сканирующего электронного микроскопа VEGA LMS фирмы TESCAN с энергодисперсионной приставкой Xplore 30 фирмы Oxford Instruments, при определении состава использовался BSE детектор  $U = 20$  kV,  $I = 3$  nA (аналитик И. А. Власов, ФГБОУ ВО УГГУ). Рентгенографическое исследование выполнено методом монокристалла на установке УРС-55 в камере РКД, излучение  $Fe\alpha + \beta$ ,  $U = 40$  kV,  $I = 10$  mA (аналитик С. Г. Сустанов, ФГБОУ ВО УГГУ) и с помощью рентгеновского дифрактометра XRD 7000 (Shimadzu) в области углов  $\theta$  от 3 до 70 град, режим работы трубки 40 kV, 30 Ma, рентгенофлуоресцентный энергодисперсионный метод на спектрометрах CPM-35 и EDX-8000 (Shimadzu) в лаборатории Института геологии и геохимии УрО РАН. Петрографические работы проведены на микроскопах DM2700P, S9i, M205C фирмы Leica.

#### Объект исследования

В геологическом строении рассматриваемой территории, расположенной в истоках р. Сылвы, принимают участие осадочные отложения восточной приконтактной части Юрюзано-Сылвенской депрессии Предуральского прогиба и западные фрагменты Западно-Уральской структурно-формационной мегазоны, представленные породами Язьвенско-Чусовской складчато-надвиговой зоны. Данные комплексы расчленены на ряд стратиграфических подразделений, почти повсеместно перекрытых маломощным чехлом четвертичных осадков. Наиболее древними породами района, слагающими Западно-Уральский сегмент, являются песчано-алевролит-карбонатные отложения уткинской свиты верхнего карбона, принадлежащие к глинисто-известково-доломитовой формации. Данные осадки локализованы в субпараллельных тектонических пластинах шириной 2–5 км (рис. 1).

При этом карбонатные отложения рифогенной природы, скорее всего, являются олистоплаками наряду с терригенными останцами нижнепермских осадков чигишанской и капысовской свит. Отложения Предуральской мегазоны в Юрюзано-Сылвенской депрессии представлены терригенными комплексами чигишанской ( $P_1\check{c}g$ ), капысовской ( $P_1kp$ ), бисертской ( $P_1bs$ ) и белокатайской ( $P_1bk$ ) свит гжелского, ассельского, сакмарского и артинского ярусов, содержащих широкий спектр фораминифер, миоспор, фузулинид, кораллов, мшанок и брахиопод. Основные перерывы в осадконакоплении установлены в основании капысовской и белокатайской свит. При этом последняя наряду с развитием псаммито-псефитовых осадков молассоидного типа, как правило, имеет нередко тектонические взаимоотношения с нижележащими комплексами. Обращает также на себя внимание проявление мезозойской линейной коры выветривания по отдельным швам Главного Западно-Уральского надвига [16].

В районе высоты 404,5 м в донной части карьера размером 40 × 120 м нами закартирован Сылвенский комплекс флюидогенно-эксплозивный ( $\tau\beta T-Jsl$ ), прорывающий нижнепермские терригенные образования капысовской свиты ( $P_1kp$ ) в пределах восточного крыла



**Рисунок 1. Геологическая карта междуречья Бисерты и Чусовой (составил В. А. Душин [16]):** 1 – Сылвенский комплекс (таβТ–Jsl), флюидогенно-эксплозивные (флюидолиты) породы; 2 – белокатайская свита (P<sub>1</sub>bk): алевролиты, песчаники, разногальчатые конгломераты, в том числе вулканомиктовые; 3 – урминская свита: алевролиты, прослои песчаников, мергелей, разногальчатые конгломераты; 4 – бисертская свита (P<sub>1</sub>bs): алевролиты, аргиллиты, песчаники, прослои вулканомиктовых песчаников, конглобрекций; 5 – капысовская свита (P<sub>1</sub>kp): алевролиты, песчаники, конгломераты, прослои аргиллитов, алевропесчаников, конглобрекций; 6 – чигишанская свита (P<sub>1</sub>čg): полимиктовые песчаники, алевропесчаники, алевролиты, прослои и линзы известняков; 7 – нерасчлененные каменноугольные образования (C): известняки, алевролиты, алевропесчаники, прослои песчаников; 8 – известняки; 9 – брекчии глыбовые; 10 – тектонические нарушения: а – основной шов Главного Западно-Уральского надвига (ГЗУН), б – второстепенные швы ГЗУН, в – тектонические нарушения различной морфологии, г – элементы кольцевых структур; 11 – границы вещественных комплексов: а – согласные, б – несогласные; 12 – места находок алмазов в коренных (а) и аллювиальных (б) отложениях; 13 – железная дорога; 14 – реки

**Figure 1. Geological map of the interfluvium of the Biserka and Chusovaya rivers (compiled by V. A. Dushin [16]):** 1 – Sylvensky complex (таβТ–Jsl), fluidogenic-explosive (fluidolites) rocks; 2 – Belokatai suite (P<sub>1</sub>bk): siltstones, sandstones, mixed-pebble conglomerates, including volcanomictic ones; 3 – Urma suite: siltstones, interlayers of sandstones, marls, mixed-pebble conglomerates; 4 – Biserka suite (P<sub>1</sub>bs): siltstones, mudstones, sandstones, interlayers of volcanic sandstones, conglobreccias; 5 – Kapysovskaya Formation (P<sub>1</sub>kp): silt-stones, sandstones, conglomerates, prolayers of mudstones, silty sandstones, conglobreccias; 6 – Chigishan suite (P<sub>1</sub>čg): polymictic sandstones, silty sandstones, siltstones, limestone interlayers and lenses; 7 – undivided Carboniferous formations (C): limestones, silt-stones, silty sandstones, sandstone interlayers; 8 – limestones; 9 – blocky breccias; 10 – tectonic faults: a – main suture of the Main West Ural Thrust (MWUT), b – minor sutures of the GZUN, c – tectonic faults of different morphology, d – elements of ring structures; 11 – boundaries of real complexes: a – conformable, b – non-conformable; 12 – sites of diamond finds in bedrock (a) and alluvial (b) deposits; 13 – railway; 14 – rivers

Юрюзано-Сылвенской депрессии в зоне влияния Главного Западно-Уральского надвига (ГЗУН). Он локализован в узле пересечения Верхнебисертского и Сылвенского разломов (сателлиты ГЗУН) и их оперяющих трещин, активизированных в мезозое. Тело наиболее массивных флюидолитов мощностью 0,4–0,8 м сложной «крабообразной»

морфологии прослежено по простиранию на 30 м в виде отдельных щупальцеподобных сегментов мощностью до 0,1 м. Оно импрегнирует мелко-грубообломочный конгломерато-гравелито-песчанистый вмещающий комплекс пород капысовской свиты по субширотной зоне трещиноватости, образуя плосковершинный останец размером

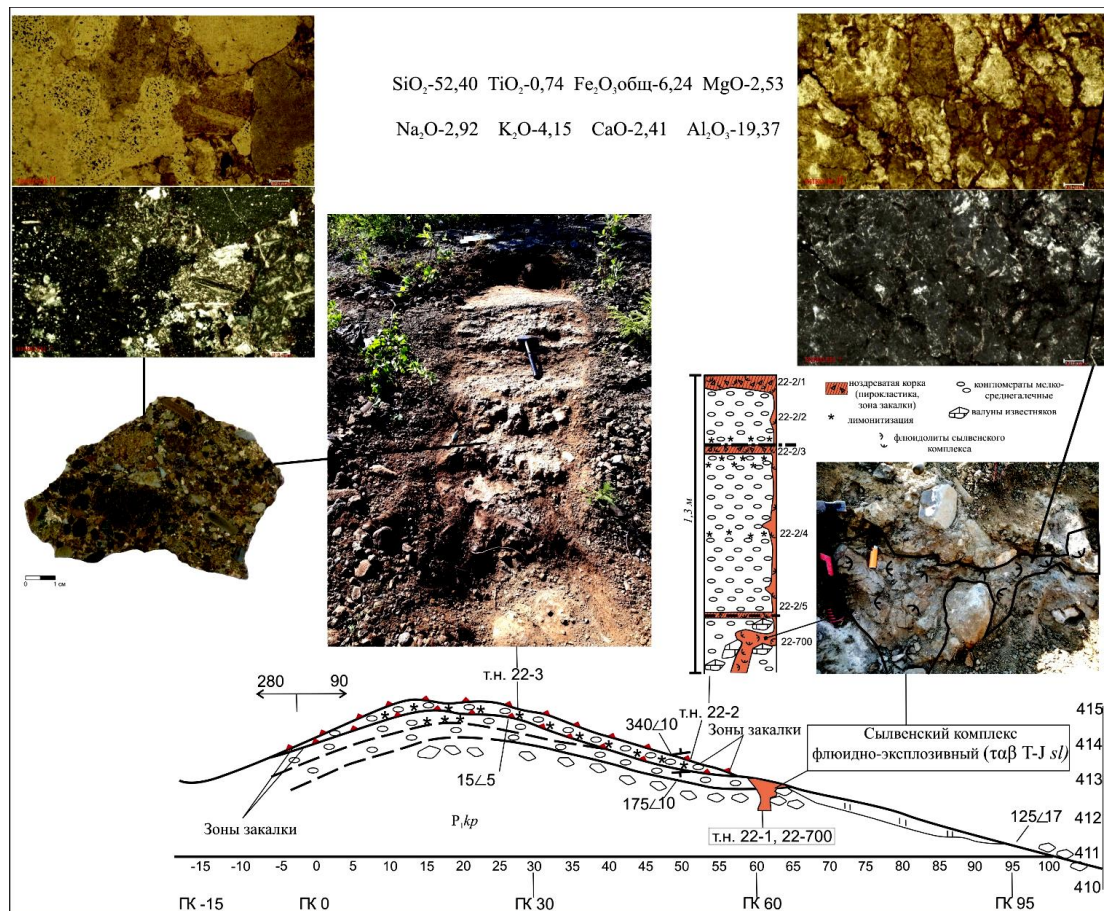


Рисунок 2. Геологическое строение и петрографическая характеристика Сылвенского комплекса (αβT-Js)  
 Figure 2. Geological structure and petrographic characteristics of the Sylvensky Complex (αβT-Js)

120 × 70 м и высотой до 5 м, напоминающий экструзивное тело (рис. 2).

Порода имеет зеленовато-серую окраску, массивную до брекчиевой текстуру, излом неровный, в шлифах микроструктура неравномернозернистая, текстура обломочная, брекчиевая, наблюдаются редкие порфирированные выделения. Минеральный состав: изотропные обломки анальцима, реже вулканического стекла с просечками и редкими прожилками кварц-карбонатного, карбонатного и хлоритового состава.

Рентгеновская диагностика порошковой пробы (рентгенофазовый анализ) показала наличие анальцима 27 %, около 62 % низкого санидина (рис. 3). Оптическими методами установлены стекло, гидрослюды (вермикулит) и лимонит. Аксессуарные минералы (по данным минералогического анализа) – магнетит, лейкоксен, рутил, апатит, лимонит, циркон. Кроме того, в протолочке обнаружены биотит, хлорит, амфибол, карбонат, плагиоклаз.

Анальцим (в шлифе) слабо окрашен в зеленовато-бурый цвет, изотропный, шагреневая поверхность отчетливая, неправильной формы, образует сравнительно крупные зерна размерами 0,1–0,3 мм. Показатели преломления ниже канадского бальзама.

Санидин (калишпат) окрашен в буровато-серые цвета из-за пелитизации, двупреломление колеблется от 0,006 до 0,007 Ng–Np, Ng – 1,530–1,531; Np – 1,524–1,527; обломки неправильной формы, часто в ассоциации с альбитом (Np – 1,528; Ng – 1,534; отмечены реликты двойников,

представленные альбит-олигоклазом Ng – 1,543–1,546; Np – 1,535–1,537).

Биотит, судя по показателям преломления Nm 1,610–1,620, относится к мероксену-лепидомелану (только в протолочках).

Амфибол отвечает роговой обманке Np – 1,655, Ng – 1,678 обнаружен только в протолочках.

По химическому составу, согласно TAS-диаграмме, порода, вероятнее всего, относится к трахиандезитобазальтам (рис. 4). Ее в основном анальцим-калишпатовый (низкий санидин) минералогический состав, содержащий стекло, биотит-вермикулит и амфибол, позволяет отнести породу к анальцимовым шошонитам, возможно, санидиновым анальцимитам (табл. 1).

Вопросы диагностики весьма затруднительны из-за брекчиевых текстур, приводящих к искажению истинного состава флюидолитов.

Согласно дискриминационным диаграммам, магматиты соответствуют образованиям, сформированным при континентальном рифтогенезе либо в условиях надспрединговых островов (рис. 4).

Геохимические особенности проявляются в повышенных содержаниях (Кк): Li, Be, Sc, As, U, Ag, Ce, а остальные элементы находятся на нижекларковых значениях. Для более полной характеристики комплекса следует несколько слов сказать о его взрывчатой фации, которая представлена пирокластической

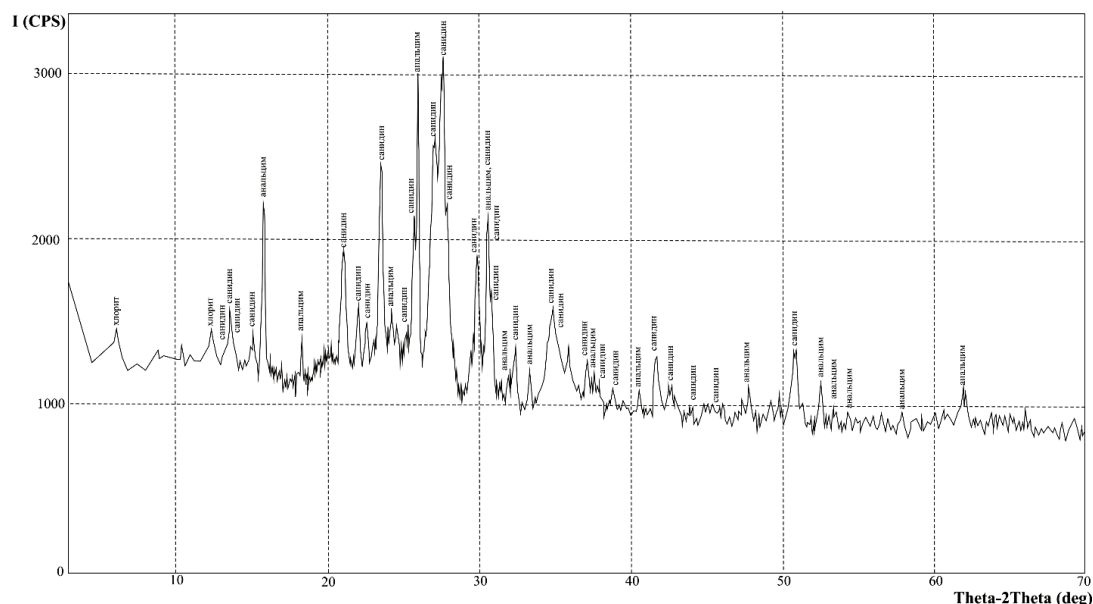


Рисунок 3. Дифрактограмма образца 22-1 (флюидолит), Сылвенский комплекс  
Figure 3. X-ray diffraction pattern of sample 22-1 (fluidolite), Sylvensky complex

Таблица 1. Содержание петрогенных оксидов в туффиитах Вишерского района (1–3) [16] и флюидолитах верховья р. Сылвы (4–6), мас. %

Table 1. Content of petrogenic oxides in tuffizites of the Vishersky region (1–3) [16] and fluidolites of the upper reaches of the river Sylva (4–6), wt %

Оксиды	Участки*			Верховья р. Сылвы**		
	Волынка № 3	Южная Рассольная	Чурочная	18–50 цемент	18–205 цемент	22–700 порода
	1	2	3	4	5	6
SiO <sub>2</sub>	63,15	65,8	61,5	65,95	61,34	52,40
TiO <sub>2</sub>	0,82	0,70	0,73	0,552	0,693	0,74
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	16,25	16,30	18,90	13,12	16,94	19,37
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> *	4,21	4,80	5,10	4,28	6,12	6,24
FeO	0,1	2,0	0,56	–	–	–
MnO	0,0044	0,016	0,033	0,08	0,125	0,177
MgO	1,65	2,2	1,5	1,65	1,81	2,63
CaO	1,54	0,38	0,58	3,25	1,19	2,41
Na <sub>2</sub> O	0,04	1,1	1,2	3,36	3,94	2,92
K <sub>2</sub> O	4,15	2,1	3,3	3,12	2,97	4,15
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0,05	0,072	0,28	0,238	0,498	0,219
П.п.п.	6,35	4,0	6,4	4,2	4,4	8,32
Сумма	100,3	99,5	100,1	100,9	100,06	100,09

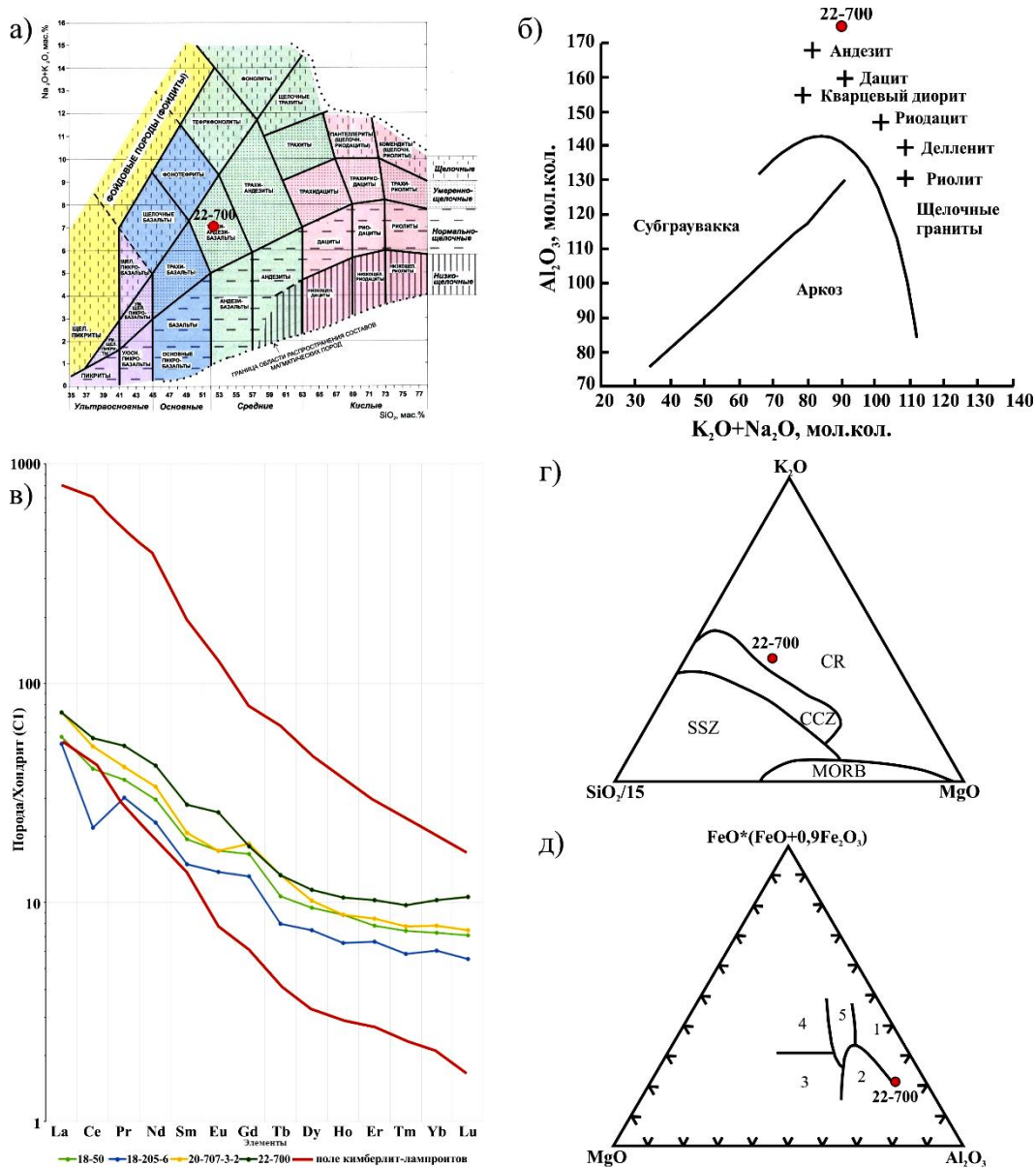
Примечание: \*рентгеноспектральный анализ выполнен в лабораториях ВСЕГЕИ (1–3) и ЦКП «Геоаналитик» УрО РАН (4–6); \*\* Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> общее.

массой, пронизывающей вмещающие гравелито-конгломераты, участвующие, по-видимому, в едином эруптивном процессе. Мощности отдельных прослоев 0,5–1,2 м. Они залегают плащеобразно (аз. пад. 340° Ð 10°, 15° Ð 5°) и обнажаются к северу от субширотного линейного центра эрупции, сложенного собственно брекчиевыми флюидолитами, описанными ранее (рис. 2).

Это породы серо-светло-желтого цвета от крупно-мелкогалечной до галечно-щебнистой обломочной структуры и неяснослоистой брекчиевой текстуры.

В шлифах наблюдается неравномернозернистая, среднезернистая микроструктура и от массивной до брекчиевой текстура. В породах отсутствует сортировка по раз-

меру, и ксенолиты характеризуются различной степенью окатанности. Содержание обломков составляет от 80–85 до 90 %. Они обладают остроугольной, изометричной либо призматической формой. Наиболее крупные обломки (от 2–4 до 10 см) представлены кварцитами, кремнями, базальтами, трахитами, риолитами, известняками и алевролитами. Псаммитовая фракция сложена обломками кварцита, алевролита, песчаника, молочно-белого кварца, халцедона, опала, кавернозного известняка. Связующее вещество (матрица) составляет 7–10 % от объема породы и представлена лейстами плагиоклазов (25–30 %) от альбита до андезина, изометричными включениями кварца (20 %), чешуйками гадингсита (10 %), парагасита (5–



**Рисунок 4. Классификационные диаграммы пород Сылвенского комплекса:** а – TAS-диаграмма; б – диаграмма  $Al_2O_3 - K_2O + Na_2O$  (молекулярное количество) для отличия обычных субграувак и аркозов от средних и кислых магматитов; в – хондрит-нормализованные спектры РЗЭ для пород Сылвенского комплекса; г – тройная дискриминационная диаграмма для вулканитов с использованием  $K_2O, SiO_2, MgO$  [17]. Поля составов вулканитов: CR – континентальных рифтов, CCZ – областей межконтинентальной коллизии, MORB – срединно-океанических хребтов, SSZ – зон субдукции; д – тройная дискриминационная диаграмма для пород базальтового и андезитового состава  $MgO - FeO - Al_2O_3$  (Pearce et al., 1977) [18]. Поля составов базальтов: 1 – надспрединговых островов, 2 – островных дуг, 3 – срединно-океанических хребтов, 4 – океанических островов, 5 – континентальных

**Figure 4. Classification diagrams for rocks of the Sylvensky complex:** a – TAS-diagram; b – diagram  $Al_2O_3 - K_2O + Na_2O$  (molecular amount) to distinguish ordinary subgraywackes and arkoses from intermediate and felsic magmatites; c – chondrite-normalized REE spectra for rocks of the Sylvensky complex; d – triple discrimination diagram for volcanics using  $K_2O, SiO_2, MgO$  [17]. Volcanic composition fields: CR – continental rifts, CCZ – continental collision zones, MORB – mid-ocean ridges, SSZ – subduction zones; e – triple discrimination diagram for rocks of basaltic and andesitic composition  $MgO - FeO - Al_2O_3$  [18]. Basalt composition fields: 1 – supra-spreading islands, 2 – island arcs, 3 – mid-ocean ridges, 4 – oceanic islands, 5 – continental

%), Mg-Fe слюды флогопита (10 %), мусковита (5–7 %), а также изотропным каплевидной и эллипсоидальной формы вулканическим стеклом (10–20 %). В шлифах встречаются округлые (оплавленные по краям?) сферические стеклофазы кварца и алюмосиликатов размером 0,1–0,2 до 0,4 мм. Основная масса – цемент (10–15 %) от контурного, смешанного до закрытого порового типа кварц-полевошпат-глинистого состава. Часто наблюдается распад и дробление обломков и зерен с проникновением в них цемента. Химический состав последнего (табл. 1) характери-

зуется повышенными концентрациями кремнезема, глинозема и щелочей. Рентгеновская диагностика (фазовый анализ) тонкой фракции основной массы свидетельствует о присутствии в пробе кварца, кислого плагиоклаза с примесью калиевого полевого шпата, либо лейцита, анальцима, а также значительного количества монтмориллонита. Подобная характеристика позволяет более-менее достоверно идентифицировать породу с учетом обломочной (брекчиевой) текстуры как брекчию флюидолитов, аналогичную во многом породам Вишерского района (табл. 1).

Анализ содержаний редкоземельных элементов (РЗЭ) в пирокластическом цементе и породе в целом свидетельствует о преобладании легких лантаноидов над тяжелыми при общем содержании РЗЭ 51,6–85,7 г/т (рис. 4). При этом концентрации РЗЭ в целом соответствуют составам кимберлитов-лампроитов при некотором возрастании тяжелых лантаноидов [6]. Изучение проб-протолок показало наличие в них следующих акцессорных минералов: магнетита, апатита, титанита, лейкоксена, циркона, эпидота, пирита, рутила, гематита. В единичных пробах встречаются золото, молибденит, ильменит, монацит, алмаз, корунд, вулканическое стекло, серпентин, муассанит, магнитные и стеклянные сферулы, хромшпинелиды. Определение акцессорных минералов из протолок было произведено оптическими методами, а монокристалл алмаза диагностирован с привлечением рентгеноструктурного анализа. Для последнего был рассчитан дифракционный спектр, в котором присутствуют следующие  $K\alpha$ -линии: 2,05 (10)–1,263 (7)–1,077 (10), что однозначно идентифицирует его как алмаз [16].

По своим петрографическим и петрохимическим параметрам породы комплекса относятся к умеренно щелочным вулканическим породам, близким к анальцимовым шошонитам либо санидиновым анальцимитам, свойственным областям эпиплатформенных рифтов, проявившимся на Урале в раннем мезозое. Триас-юрский возраст принят на основании внедрения флюидолитов в нижнепермские отложения с учетом находок анальцимсодержащей пирокластике в верхней перми и корреляции с мезозойским рифтогенезом Урало-Сибирского сегмента Евразии [15] и проявлением Сибирского суперплюма.

#### Выводы

Впервые в пределах восточной Юрюзано-Сылвенской депрессии Предуральского прогиба в зоне влияния Главного

Западно-Уральского надвига (ГЗУН) установлен и закартирован Сылвенский комплекс флюидогенно-эксплозивный, прорывающий терригенные породы нижней перми. Это explosивно-эруптивные породы, состоящие из санидина, анальцима, вулканического стекла, биотит-вермикулита, с учетом химического и минералого-геохимического составов принадлежат к семейству трахиандезитобазальтов, конкретнее – к анальцимовым шошонитам (санидиновым анальцимитам). Они характеризуются повышенными концентрациями Li, Be, Sc, As, U, Ag, Ce, содержат алмаз, хромшпинелиды, золото, магнетит, апатит, рутил, монацит, циркон, магнитные и стеклянные сферулы. Последние совместно с каплевидными и эллипсообразными выделениями вулканического стекла можно рассматривать, судя по публикациям [19], в качестве индикаторов флюидно-магматического процесса при проявлении фреатического вулканизма на изучаемой территории [20]. На основании имеющихся материалов данный комплекс брекчированных флюидолитов имеет, по-видимому, весьма широкое распространение и полифазное развитие в пределах области сопряжения ГЗУН и Предуральского прогиба. Эта активная зона в раннем мезозое проявилась функционированием сосредоточенного фреатического вулканизма, доставляя к поверхности не только алмазоносные парагенезисы, но и оливин, серпентин, андалузит, ставролит, кианитовые ассоциации минералов AR-PR фундамента. Ареалы развития подобных парагенезисов совпадают с геохимическими аномалиями Li, Ce, Ag, проявлениями нефтегазовых объектов и минерализованных источников напорных вод, зон дезинтеграции и флюидизации, выявленных геофизическими методами [21], а также районов распространения глыбовых конглобрекций. Становление комплекса происходило при окраинно-континентальном рифтогенезе, по-видимому, в мезозойский эмерсивный триас-юрский этап развития территории.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Ваганов В. И. Алмазные месторождения России и мира (основы прогнозирования). М.: Геоинформмарк, 2000. 371 с.
2. Ветчанинов В. А. К вопросу об источниках алмазов уральских россыпей // Геология и геофизика. 1980. № 9. С. 164–168.
3. Рапопорт М. С., Кузовков Г. Н. Ожидаемые типы коренной алмазоносности Урала // Известия УГГА. 2000. Вып. 10. С. 93–99.
4. Остроумов В. Р., Морозов А. Ф., Киреев А. С., Магадеев Б. Д. Открытие коренных источников уральских алмазов (к 50-летию прииска «Уралалмаз») // Геологическое изучение и использование недр: науч.-техн. информ. сб. М.: Геоинформмарк, 1996. Вып. 6. С. 3–13.
5. Рыбальченко А. Я., Колобянин В. Я., Рыбальченко Т. М. О новом типе магматизма как возможном источнике уральских алмазов // Моделирование геологических систем и процессов: материалы регион. конф. Пермь: Изд-во Перм. ун-та, 1996. С. 111–113.
6. Лукьянова Л. И., Остроумов В. Р., Рыбальченко А. Я. Алмазоносные флюидо-эксплозивные образования Пермского Приуралья; ред. А. Ф. Морозов. М.: СПб, ГЕОКАРТ, ГЕОС, ВСЕГЕИ, 2011. 240 с.
7. Гневушев М. А., Шеманина Е. И. Некоторые особенности уральских алмазов и их возможные первоисточники // Минералы изверженных горных пород и руд Урала. Л., 1967. С. 27–40.
8. Малахов И. А. Алмазы Урала и их спутники // Известия вузов. Горный журнал. 1993. № 11. С. 57–60.
9. Чайковский И. И. Петрология и минералогия интрузивных алмазоносных пирокластитов Вишерского Урала. Пермь: Изд-во Перм. ун-та, 2001. 324 с.
10. Шурубор Ю. В. Инициативная экспертиза сообщений об открытии магматических источников алмаза на Урале // Отечественная геология. 1999. № 9. С. 42–45.
11. Ишков В. Д. Источники алмазов уральских россыпей на примере Красновишерского района // Тезисы докл. II Всесоюз. совещ. по геологии алмазных месторождений. 1966. С. 35–37.
12. Тектоническое районирование и минерагения Урала / К. К. Золоев [и др.]. М.: ГЕОС, 2006. 179 с.
13. Коротеев В. А., Нечеухин В. М., Душин В. А., Волчек Е. Н. Особенности формирования и геодинамическая карта Урало-Тимано-Палеоазиатского сегмента Евразии // Литосфера. 2020. Т. 20. № 5. С. 607–629. <https://doi.org/10.24930/1681-9004-2020-20-5-607-629>
14. Шарпенко Л. Н., Лукьянова Л. И., Петров О. В. Геолого-петрологическая модель формирования алмазоносных флюидоэксплозивных брекчиевых структур (уральский тип) // Литосфера. 2018. Т. 18. № 5. С. 743–757. <https://doi.org/10.24930/1681-9004-2018-18-5-743-757>
15. Потенциальная алмазоносность Полярного Урала / В. А. Душин [и др.]. Екатеринбург: Изд-во УГГУ, 2014. 200 с.
16. Душин В. А., Суставов С. Г., Прокопчук Д. И., Трутнев А. К., Козьмин В. С. Первая находка алмаза из нижнепермских отложений в районе истоков р. Сылва (Свердловская область) // Региональная геология и металлогения. 2022. № 91. С. 68–78. [https://doi.org/10.52349/0869-7892\\_2022\\_91\\_68-78](https://doi.org/10.52349/0869-7892_2022_91_68-78)
17. Демина Л. И., Симонов Д. А. Вулканыты как индикаторы процесса континентальной коллизии // Докл. АН. 1999. Т. 366. № 6. С. 793–796.
18. Pearce T. H., Gorman B. E., Birkett T. C. The Relationship between Major Element Chemistry and Tectonic Environment of Basic and Intermediate Volcanic Rocks // Earth and Planetary Science Letters. 1977. Vol. 36. Issue 1. P. 121–132. [https://doi.org/10.1016/0012-821X\(77\)90193-5](https://doi.org/10.1016/0012-821X(77)90193-5)
19. Рычагов С. Н., Главатских С. Ф., Сандимирова Е. И. Рудные и силикатные магнитные шарики как индикаторы структуры, флюидного режима и минералорудообразования в современной гидротермальной системе Баранского (о-в Итуруп) // Геология рудных месторождений. 1996. Т. 38. № 1. С. 31–40.
20. Суставов С. Г., Душин В. А., Власов И. А., Трутнев А. К., Жуклин Е. А., Прокопчук Д. И. Металлические и стеклянные сферулы в рыхлых отложениях истоков реки Путь (Средний Урал) // Литосфера. 2021. Т. 21. № 2. С. 273–282. <https://doi.org/10.24930/1681-9004-2021-21-2-273-282>
21. Чурсин А. В., Ставроти В. И., Кудряшов А. М. Валообразные поднятия дорифейского фундамента Западного склона Урала, их отражение в геофизических полях и связь с алмазоносностью // Проблемы геодинамики, сейсмичности и минерагении подвижных поясов и платформенных областей литосферы: материалы Междунар. конф. Екатеринбург: УрО РАН, 1998. С. 215–217.

Статья поступила в редакцию 20 января 2023 года

# Sylvensky fluidolite complex of the Yuryuzano-Sylven depression (Sverdlovsk region)

Vladimir Aleksandrovich DUSHIN\*

Denis Igorevich PROKOPCHUK\*\*

Sergey Gennad'evich SUSTAVOV\*\*\*

Artem Konstantinovich TRUTNEV\*\*\*\*

Evgeniy Aleksandrovich ZHUKLIN\*\*\*\*\*

Ural State Mining University, Ekaterinburg, Russia

## Abstract

**The object of the study.** The article presents the characteristics of the first mapped diamond-bearing Sylva complex of fluidolites, established in the area of the junction of the eastern wing of the Yuryuzano-Sylva depression and the West Ural thrust zone (the sources of the Sylva River).

**Materials and methods.** The work is based on the results of our own research, generalization of materials on the geology and petrography of the host rock complexes, their structural and tectonic position in the zone of influence of the Main West Ural thrust. The article uses the results of studies on the VEGA LMS scanning electron microscope by TESCAN with the Xplore 30 energy dispersion prefix by Oxford Instruments and the URS-55 X-ray unit in the RCD chamber in the URSMU laboratory, as well as on the XRD-7000 diffractometer and the CPM-35 and EDX-8000 spectrometer by Shimadzu at the Geoanalyst Research Center of the Institute of Geology and Geochemistry of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences.

**Results.** The authors conducted a mineralogical and petrographic study of rough-clastic rocks productive for diamonds identified as fluidolites, their probable fluid-magmatic genesis is shown, which is indicated by both structural-textural and mineralogical features of volcanoclastites, including accessory minerals-indicators of diamond content, as well as the presence of teardrop-shaped, ellipsoid volcanic glass secretions, pulpy, finely dispersed nature of the bulk, unsorted, slightly rolled to sharp-angled fragments of igneous and sedimentary rocks. The chemical composition of fluidolites is shown, which determines their geodynamic affiliation and proximity to diamond-bearing tuffites of the Vishersky district. X-ray determination of both the diamond and the enclosing Sylven complex is given.

**Conclusions.** The data obtained indicate the probable manifestation of phreatic volcanism, which led to the transportation of diamond and its satellites by fluidolites to the weakened activated zone in front of the front of the Main West Ural thrust.

**Keywords:** diamond, Lower Perm, tufobreccia, fluidolites, microspherules, Yuryuzano-Sylven depression, Main West Ural thrust, Sylven complex.

## REFERENCES

1. Vaganov V. I. 2000, Diamond deposits in Russia and the world (basics of forecasting). Moscow, 371 p. (In Russ.)
2. Vetchaninov V. A. 1980, On the issue of the sources of diamonds in the Ural placers, *Geologiya i geofizika* [Geology and geophysics], no. 9, pp. 164–168. (In Russ.)
3. Rapoport M. S., Kuzovkov G. N. 2000, Expected types of primary diamond content in the Urals. *Izvestiya UGGGA* [News of the Ural State Mining and Geological Academy], issue 10, pp. 93–99. (In Russ.)
4. Ostroumov V. R., Morozov A. F., Kireev A. S., Magadeev B. D. 1996, Discovery of primary sources of Ural diamonds (to the 50th anniversary of the Uralalmaz mine). Geological study and use of subsoil: scientific and technical information collection], Moscow, issue 6, pp. 3–13. (In Russ.)
5. Rybalchenko A. Ya., Kolobyanin V. Ya., Rybalchenko T. M. 1996, On a new type of magmatism as a possible source of Ural diamonds. Modeling of geological systems and processes: materials of the regional conference, Perm, pp. 111–113. (In Russ.)
6. Lukyanova L. I., Ostroumov V. R., Rybalchenko A. Ya. 2011, Diamond-bearing fluid-explosive formations of the Perm Urals; ed. A. F. Morozov. Moscow, 240 p. (In Russ.)
7. Gnevushev M. A., Shemanina E. I. 1967, Some features of the Ural diamonds and their possible primary sources. Minerals of igneous rocks and ores of the Urals. Leningrad, pp. 27–40. (In Russ.)
8. Malakhov I. A., 1993, Ural diamonds and their associates. *Izvestiya vuzov. Gornyy zhurnal* [News of the universities. Mining journal], no. 11, pp. 57–60. (In Russ.)
9. Chaikovskiy I. I. 2001, Petrology and mineralogy of intrusive diamond-bearing pyroclastites of the Vishera Urals. Perm, 324 p. (In Russ.)
10. Shurubor Yu. V. 1999, Initiative examination of reports on the discovery of magmatic sources of diamond in the Urals. *Otechestvennaya geologiya* [Domestic geology], no. 9, pp. 42–45. (In Russ.)

✉ Vladimir.Dushin@m.ursmu.ru

 <https://orcid.org/0000-0002-9657-6324>

\*\*uva9090@mail.ru

\*\*\*Sustavov.s@ursmu.ru

\*\*\*\*tema.trutnev@yandex.ru

\*\*\*\*\*zhuklin7@gmail.com



11. Ishkov V. D. 1966, Sources of diamonds in the Ural placers using the example of the Krasnovishersky region. Abstracts of the II All-Union Conference on Geology of Diamond Deposits, pp. 35–37. (*In Russ.*)
12. Zoloev K. K. [et al.]. 2006, Tectonic zoning and minerageny of the Urals. Moscow, 179 p. (*In Russ.*)
13. Koroteev V. A., Necheukhin V. M., Dushin V. A., Volchek E. N. 2020, Formation features and a geodynamic map of the Ural-Timan-Paleo-Asian segment of Eurasia. *Litosfera* [Lithosphere], vol. 20, no. 5, pp. 607–629. (*In Russ.*) <https://doi.org/10.24930/1681-9004-2020-20-5-607-629>
14. Sharpenok L. N., Lukyanova L. I., Petrov O. V. 2018, Geopetrological model of formation diamond-bearing fluid-explosive breccia structures (Urals type). *Litosfera* [Lithosphere], vol. 18, no. 5, pp. 743–757. (*In Russ.*) <https://doi.org/10.24930/1681-9004-2018-18-5-743-757>
15. Dushin V. A. [et al.]. 2014, Potential diamond content of the Polar Urals. Ekaterinburg, 200 p. (*In Russ.*)
16. Dushin V. A., Sustavov S. G., Prokopchuk D. I., Trutnev A. K., Kozmin V. S. 2022, First discovery of a diamond from lower Permian deposits in the area of the Sylva river headwaters (Sverdlovsk region). *Regional'naya geologiya i metallogeniya* [Regional geology and metallogeny], no. 91, pp. 68–78. (*In Russ.*) [https://doi.org/10.52349/0869-7892\\_2022\\_91\\_68-78](https://doi.org/10.52349/0869-7892_2022_91_68-78)
17. Demina, L. I., Simonov, D. A. 1999, Volcanites as indicators of the process of continental collision. *Dokl. AN*. [Reports of the Academy of Sciences], vol. 366, no. 6, pp. 793–796. (*In Russ.*)
18. Pearce T. H., Gorman B. E., Birkett T. C. 1977, The Relationship between Major Element Chemistry and Tectonic Environment of Basic and Intermediate Volcanic Rocks. *Earth and Planetary Science Letters*, vol. 36, issue 1, pp. 121–132. [https://doi.org/10.1016/0012-821X\(77\)90193-5](https://doi.org/10.1016/0012-821X(77)90193-5)
19. Rychagov S. N., Glavatskikh S. F., Sandimirova E. I. 1996, Ore and silicate magnetic balls as indicators of structure, fluid regime and mineral ore formation in the modern hydrothermal system of Baransky (Iturup Island). *Geologiya rudnykh mestorozhdeniy* [Geology of Ore Deposits], vol. 38, no. 1, pp. 31–40. (*In Russ.*)
20. Sustavov S. G., Dushin V. A., Vlasov I. A., Trutnev A. K., Zhuklin E. A., Prokopchuk D. I. 2021, Metallic and glass spherules in the loose deposits of the Put river head (Middle Urals). *Litosfera* [Lithosphere], vol. 21, no. 2, pp. 273–282. (*In Russ.*) <https://doi.org/10.24930/1681-9004-2021-21-2-273-282>
21. Chursin A. V., Stavrotti V. I., Kudryashov A. M. 1998, Shaft-like uplifts of the pre-Riphean basement of the Western slope of the Urals, their reflection in geophysical fields and connection with diamond content. Problems of geodynamics, seismicity and mineralization of mobile belts and platform areas of the lithosphere: materials of the International conference, Ekaterinburg, pp. 215–217. (*In Russ.*)

The article was received on January 20, 2023