УДК 552.08:553.81 http://doi.org/10.21440/2307-2091-2022-3-46-55

Новые данные по алмазоносности Юрюзано-Сылвенской депрессии (Свердловская область)

Владимир Александрович ДУШИН[1*]
Денис Игоревич ПРОКОПЧУК[1**]
Сергей Геннадьевич СУСТАВОВ[1***]
Артем Константинович ТРУТНЕВ[1****]
Елена Николаевна ВОЛЧЕК[2*****]
Екатерина Александровна СУРНИНА[1******]

[1]Уральский государственный горный университет, Екатеринбург, Россия
[2]Институт геологии и геохимии им. акад. А. Н. Заварицкого УрО РАН, Екатеринбург, Россия

Аннотация

Объект исследования. Рассматриваются перспективы алмазоносности области сочленения восточного крыла Юрюзано-Сылвенской депрессии и Западно-Уральской надвиговой зоны и обсуждается первая находка алмаза в коренных отложениях нижней перми из истоков р. Сылвы.

Материалы и методы. Работа основана на результатах собственных исследований, обобщения материалов как по алмазоносности Предуральского прогиба и Западно-Уральской структурно-формационной мегазоны, так и 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 туфобрекчии, 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.

Выводы. Полученные данные свидетельствуют о вероятном проявлении фреатического вулканизма, приведшего к транспортировке алмаза и его спутников в ослабленную активизированную зону перед фронтом Главного Западно-Уральского надвига, в пределах которого выделен потенциальный Сылвенский алмазно-рудно-россыпной узел.

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

Введение

Россия занимает лидирующее положение в мире по запасам и добыче алмазов, являясь единственной страной в СНГ, на территории которой сосредоточена вся сырьевая и добычная база алмазов ювелирного качества. Тем не менее потребность в этом сырье как на мировом, так и на внутреннем рынке постоянно растет. Вследствие этого одним из приоритетных направлений геологической отрасли является расширение минерально-сырьевой базы алмазов и улучшение ее географии за счет открытия традиционных и новых (нетрадиционных) для страны геолого-промышленных типов. Открытие новых крупных алмазоносных провинций: Восточно-Китайской, Западно-Австралийской и Архангельской – коренным образом изменило наше представление о геологии промышленных месторождений алмазов. Уверенно заявили о себе лампроитовые типы (трубки Аргайл, Эллендейл), разрушившие миф об исключительной приуроченности объектов к кратонам. Для России Урал является колыбелью алмазной отрасли, так как первая находка этого минерала была сделана на Крестовоздвиженском золоторосыпном прииске

✉Vladimir.Dushin@m.ursmu.ru
https://orcid.org/0000-0002-9657-6324
**uva9090@mail.ru
***Sustavov.s@ursmu.ru
****tema.trutnev@yandex.ru
*****volchek@igg.uran.ru
******katy13666@mail.ru

в 1829 г. Именно с этого времени встала проблема установления коренных источников алмазов. Как считают многие геологи, основу минерально-сырьевой базы Урала составляют россыпные месторождения, источниками которых могут выступать местные промежуточные коллекторы, алмазы в которые поступали из кимберлитов (лампроитов) восточного обрамления Русской платформы [1], а также, вероятно, из щелочно-базит-ультрабазитовых магматитов Западно-Уральской структурно-формационной мегазоны [2–5]. Значительный интерес и усиление геологических и тематических работ на алмазы вызвало появление в 1995–1996 гг. местного «туффизитового» источника алмазов, предложенного В. Р. Остроумовым и А. Я. Рыбальченко для объектов Красновишерского района [6, 7]. Это послужило толчком к переосмыслению материалов предшествующих работ и созданию новых альтернативных идей происхождения коренных источников алмазов в регионе [4, 6, 8]. Значительный вклад в изучение алмазоносности Урала в этот период внесли А. Н. Анфилогов, В. И. Ваганов, В. А. Езерский, В. В. Жуков, В. Д. Ишков, Г. П. Кузнецов, В. А. Кириллов, В. Я. Колобянин, Л. И. Лукьянова, Г. Г. Морозов, А. А. Маракушев, И. А. Малахов, В. Г. Наседкин, В. Р. Остроумов, М. С. Рапопорт, А. Я. Рыбальченко, Е. И. Шеманина, Ю. В. Шурубор, И. И. Чайковский, А. В. Чурсин и др.

Изучение материалов из уральских россыпей показало их своеобразие, отличающее последние от других алмазоносных провинций, что наряду с уточнением областей питания указывало на местный источник формирования известных месторождений Красновишерского района [6, 9]. Подобный вывод подтверждался последними данными о наличии как специфического «магматизма» (полюдовско-колчимский комплекс N_2–Q), так и особенностями глубинного строения Западно-Уральской надвиговой зоны. Последняя представляет собой аллохтонную окраину сложнопостроенной палеорифтовой структуры, сформированной на гетерогенном архейско-раннепротерозойском основании [10–13].

Дальнейшие работы в районе привели к выявлению жил, стратиформных и экструзивных тел, так называемых «туффизитов», контролируемых зонами разломов и пологих надвигов. Все эти своеобразные породы непосредственно сопряжены с россыпными неоген-четвертичными месторождениями алмазов. Судя по литературным источникам [6, 14, 15], включая и наши исследования по Полярному и Приполярному Уралу, вопросы происхождения первоисточников алмазов остаются до настоящего времени дискуссионными, а находка нами алмаза в своеобразных кластогенных породах нижней перми, возможно, продвинет понимание проблемы первоисточников на новый уровень.

Объект и методика исследований

Данная публикация посвящена геологическому строению восточного крыла Юрюзано-Сылвенской депрессии и характеристике обнаруженного в коренных породах нижней перми 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 Feα + β, U = 40 kV, I = 10 mA (аналитик С. Г. Суставов, ФГБОУ ВО УГГУ) и с помощью рентгеновского дифрактометра XRD 7000 (Shimadzu) в области углов Θ от 3 до 70 град., режим работы трубки 40 kV, 30 Ma, рентгенофлуоресцентный энергодисперсионный метод на спектрометрах СРМ-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 структурно-вещественные комплексы восточной приконтактовой части Юрюзано-Сылвенской депрессии Предуральского прогиба и западные фрагменты Западно-Уральской структурно-формационной мегазоны, представленные отложениями Язьвенско-Чусовской складчато-надвиговой зоны. Данные комплексы расчленены на ряд стратиграфических подразделений, почти повсеместно перекрытых маломощным чехлом четвертичных осадков (рис. 1). 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.

При этом карбонатные составы 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 (C_3–P_1čg), капысовской (P_1kp), бисертской (P_1bs) и белокатайской (P_1bk) свит гжельского, 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. Само же проявление алмазоносных пород представляет собой плосковершинный останец размером 120 × 270 м и высотой от 2 до 5 м, напоминающий небольшую экструзию.

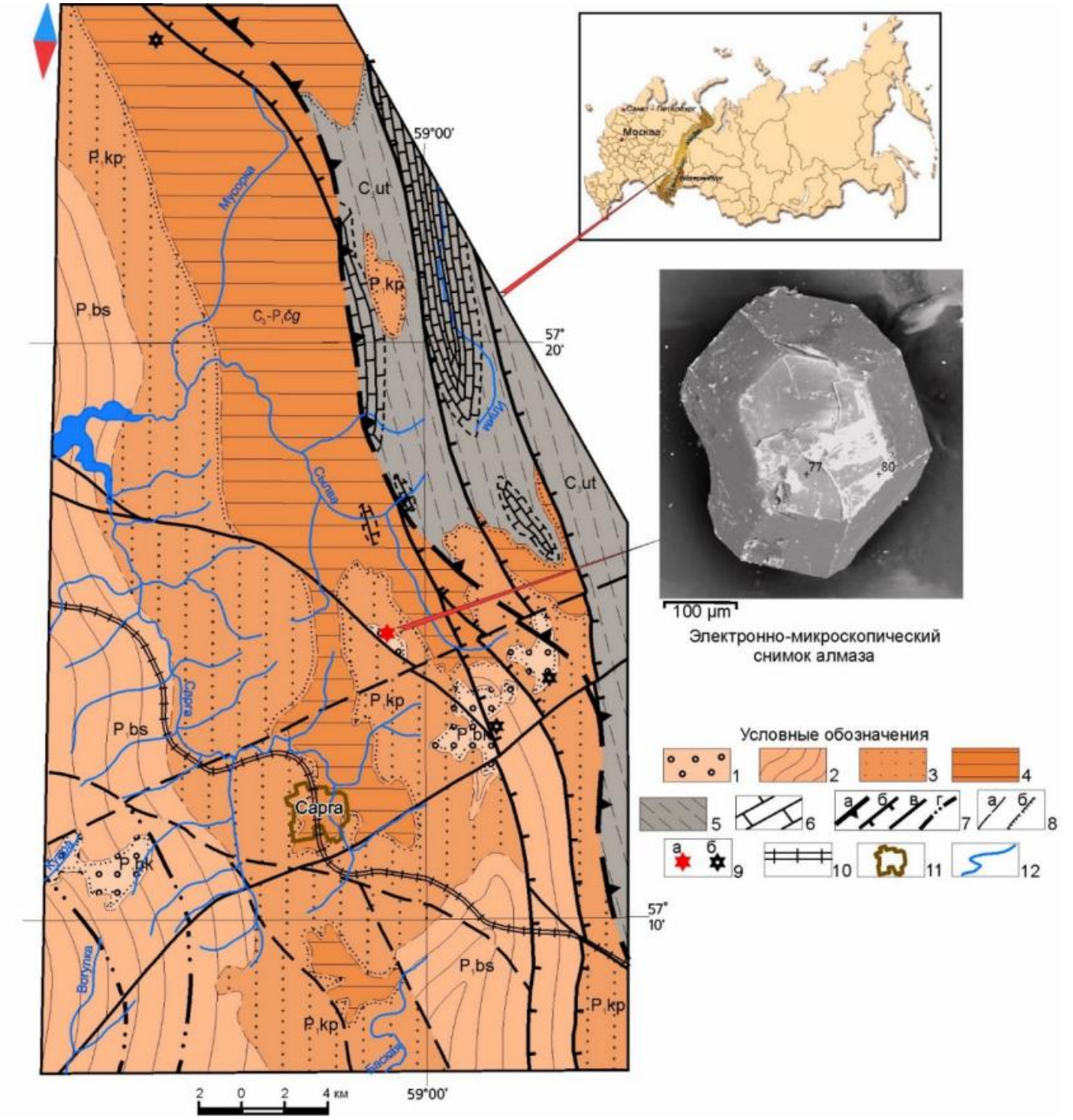

Рисунок 1. Геологическая карта истоков р. Сылвы (составил В. А. Душин): *1* – белокатайская свита (P_1bk): алевролиты, песчаники, разногалечные конгломераты, в том числе вулканомиктовые; *2* – бисертская свита (P_1bs): алевролиты, аргиллиты, прослои песчаников; *3* – капысовская свита (P_1kp): алевролиты, прослои песчаников, редкие горизонты конгломератов; *4* – чигишанская свита (C_3–P_1čg): полимиктовые песчаники, аргиллиты, глинистые известняки; *5* – уткинская свита (C_3ut): глинистые известняки, алевролиты, аргиллиты, прослои песчаников; *6* – известняки; *7* – тектонические нарушения: *а* – основной шов Главного Западно-Уральского надвига (ГЗУН), *б* – второстепенные швы ГЗУН, *в* – тектонические нарушения различной морфологии, *г* – элементы Куарской кольцевой структуры; *8* – границы вещественных комплексов: *а* – согласные, *б* – несогласные; *9* – места находок алмазов в коренных (*а*) и аллювиальных (*б*) отложениях; *10* – железная дорога; *11* – населенные пункты; *12* – реки

Figure 1. Geological map of the headwaters of the Sylva river (compiled by V. A. Dushin): *1* – Belokatai suite (P_1bk): siltstones, sandstones, mixed-pebble conglomerates, including volcanomictic; *2* – Bisert suite (P_1bs): siltstones, argillites, sandstone streaks; *3* – Kapysovskaya suite (P_1kp): siltstones, sandstone streaks, rare horizons of conglomerates; *4* – Chigishan suite (C_3–P_1čg): polymictic sandstones, argillites, argillaceous limestones; *5* – Utkinskaya suite (C_3ut): argillaceous limestones, siltstones, argillites, sandstone streaks; *6* – limestones; *7* – tectonic dislocations: *a* – main joint of the Main West Ural Thrust (MWUT), *b* – minor joints of the MWUT, *c* – tectonic faults of different morphology, *d* – elements of the Kuar ring structure; *8* – boundaries of compositional complexes: *a* – conformable, *b* – unconformable; *9* – sites of diamond finds in primary (a) and alluvial (b) deposits; *10* – railway; *11* – settlements; *12* – rivers

Рыхлые отложения, перекрывающие верхнепалеозойские осадки и покрывающие почти всю территорию в виде маломощного чехла, вскрыты вблизи д. Пермяки серией шурфов. Это неоплейстоценовые отложения валдайского надгоризонта, представленные серыми, коричневатыми, желтовато-коричневатыми, умеренно плотными суглинками или глинами с обломками как местных коренных пород, так и среднепалеозойских магматических и карбонатных образований.

Коренные обломочные отложения, содержащие алмаз, представлены породами светло-серо-желтого цвета от крупно-мелкогалечной до галечно-щебнистой обломочной структуры и массивной, неяснослоистой, брекчиевидной текстуры (рис. 2).

В шлифах наблюдается неравномернозернистая, среднезернистая микроструктура и текстура от конгломератовой до брекчиевой. В породах отсутствует сортировка по размеру, 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 гастингсита (10 %), паргасита (5–7 %), Mg–Fe слюды флогопита (10 %), мусковита (5–7 %), а также изотропным и каплевидной и эллипсоидальной формы вулканическим стеклом (10–20 %). В шлифах встречены 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 наблюдаются распад и дробление обломков и зерен с проникновением в них цемента. Химический состав последнего приведен в табл. 1 и характеризуется 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 туфобрекчию, аналогичную во многом породам Вишерского района (табл. 1). Изучение проб-протолочек 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 протолочек было произведено оптическими методами, а монокристалл алмаза диагностирован с привлечением рентгеноструктурного анализа. Для последнего был рассчитан дифракционный спектр, в котором присутствуют следующие Kα линии: 2,05 (10)–1,263 (7)–1,077 (10), что однозначно идентифицирует его как алмаз.

Рисунок 2. Светло-желто-серая туфобрекчия гравийно-галечно-щебнистой структуры брекчиевидной текстуры (т. н. 18-205-6)

Figure 2. Light yellow-gray tuff breccia of gravel-pebble-rubbly structure with brecciated texture (t. n. 18-205-6)

Это плоскогранный кристалл (рис. 1) размером ~ 0,4 мм в поперечнике. Огранение его составляют две простые формы: октаэдр о {111} и куб а {100}. Ребра простых форм на кристалле равны, а площадь граней октаэдра в огранении кристалла в 4 раза больше площади граней куба, поэтому грани октаэдра доминируют в огранении кристалла. Кристалл развит неравномерно и несколько удлинен по одной из осей четвертого порядка, что приводит к искажению граней куба, так как некоторые из них приобретают форму прямоугольника, также искажается симметрия граней октаэдра. Последние имеют зеркальную поверхность, в то время как строение граней куба мелкошероховатое. Одна из граней октаэдра сколота полностью, на другой сколотой частично видна совершенная спайность. На ней также присутствует мелкое треугольное углубление с индукционной поверхностью от минерала, росшего одновременно с внешней зоной кристалла.

Отдельные ребра притупляют узкие мелкие грани гексаоктаэдра s {321}. Остальные ребра на кристалле острые, что указывает на незначительное перемещение кристалла от места образования. Подобной формы плоскогранные октаэдры были описаны только из россыпей Среднего Урала, где их количество в россыпи составляет 3 %, находки кубических кристаллов единичны, а находок этих двух форм в комбинации друг с другом не отмечено вообще (рис. 1), за исключением районов Южного Тимана (А. Б. Макеев – устное сообщение).

Необычна и окраска кристалла, который имеет зеленовато-желтый цвет. Кристалл прозрачен. Внутри видны следы хрупких деформаций вокруг белого веретенообразного включения и два мелких изометричных включения, требующих дальнейшего исследования. При изучении химического состава как алмаза, так и его приповерхностного слоя никаких других элементов на кристалле, кроме углерода, не обнаружено.

Таблица 1. Содержание петрогенных оксидов в туффизитах Вишерского района (1–3) и туфобрекчиях верховьев р. Сылвы (4–6), мас. %
Table 1. Content of petrogenic oxides in tuffizites of the Vishersky region (1–3) and tuff breccias in the upper reaches of the Sylva river (4–6), wt. %

Оксиды	Участки*			Верховья р. Сылвы**		
	Волынка № 3	Южная Рассольная	Чурочная	18–50	18–205	20–707
	1	2	3	4	5	6
SiO_2	63,1500	65,800	61,500	65,950	61,340	64,050
TiO_2	0,8200	0,700	0,730	0,552	0,693	0,615
Al_2O_3	16,2500	16,300	18,900	13,120	16,940	15,040
Fe_2O_3*	4,2100	4,800	5,100	4,280	6,120	5,670
FeO	0,1000	2,000	0,560	–	–	–
MnO	0,0044	0,016	0,033	0,080	0,125	0,124
MgO	1,6500	2,200	1,500	1,650	1,810	1,740
CaO	1,5400	0,380	0,580	3,250	1,190	1,160
Na_2O	0,0400	1,100	1,200	3,360	3,940	3,660
K_2O	4,1500	2,100	3,300	3,120	2,970	3,270
P_2O_5	0,0500	0,072	0,280	0,238	0,498	0,379
П.п.п.	6,3500	4,000	6,400	4,200	4,400	4,300
Сумма	100,3000	99,500	100,100	100,900	100,060	100,050

Примечание: *анализ рентгеноспектральный, выполнен в лабораториях ВСЕГЕИ [6] (1–3) и ЦКП «Геоаналитик» УрО РАН (4–6); **Fe_2O_3 общее.

Таблица 2. Химический состав хромшпинелидов из туфобрекчий верховьев р. Сылвы, мас. %
Table 2. Chemical composition of chrome spinels from tuff breccias in the upper reaches of the Sylva river, wt. %

Спектр	Оксиды								Сумма
	MgO	FeO	MnO	Fe_2O_3	Al_2O_3	Cr_2O_3	V_2O_3	TiO_2	
83	6,1	25,8	–	4,5	19,7	43,2	0,3	0,4	100
85	7,3	24,2	–	3,7	22,2	42,0	0,3	0,3	100
87	4,5	27,4	–	1,0	12,4	54,7	–	–	100
90	4,3	27,4	–	1,0	12,4	54,9	–	–	100
91	5,7	25,0	0,6	1,9	13,7	52,9	0,2	–	100
92	5,8	25,1	0,5	1,8	15,0	51,5	0,3	–	100

$$83 – (Fe_{0,70}Mg_{0,30})_{1,00}(Cr_{1,11}Al_{0,76}Fe_{0,11}Ti_{0,01}V_{0,01})_{2,00}O_4$$
$$85 – (Fe_{0,65}Mg_{0,35})_{1,00}(Cr_{1,06}Al_{0,84}Fe_{0,09}Ti_{0,01}V_{0,01})_{2,01}O_4$$
$$87 – (Fe_{0,78}Mg_{0,23})_{1,01}(Cr_{1,47}Al_{0,50}Fe_{0,03})_{2,00}O_4$$
$$90 – (Fe_{0,78}Mg_{0,22})_{1,00}(Cr_{1,48}Al_{0,50}Fe_{0,03})_{2,01}O_4$$
$$91 – (Fe_{0,70}Mg_{0,28}Mn_{0,02})_{1,00}(Cr_{1,40}Al_{0,54}Fe_{0,05}V_{0,01})_{2,00}O_4$$
$$92 – (Fe_{0,70}Mg_{0,29}Mn_{0,01})_{1,00}(Cr_{1,36}Al_{0,59}Fe_{0,05}V_{0,01})_{2,00}O_4$$

Примечание: элемент не обнаружен.

Изучение составов отдельных акцессорных минералов-спутников алмаза, таких как хромшпинелиды (табл. 2) и ильменит, показало их близость как к аналогичным минералам из «туффизитов» Чикманского рудного узла [6], так и к пикритам (пос. Теплая Гора, р. Кусья) и включениям из анкаромитов горы Благодать [3]. Проанализированное зерно ильменита содержит, %: FeO – 45,5; TiO_2 – 51,9; MnO – 2,6 (среднее по трем анализам), а в качестве незначительных примесей отмечаются кальций и кремнезем, что также сопоставимо с составами из «туффизитов» [6].

Анализ геологического строения верхнего течения р. Сылвы – места находки в коренном залегании алмаза среди туфобрекчий – свидетельствует о весьма сложном и тектонически напряженном состоянии территории. Это определяется расположением в области сочленения окраинно-континентальной рифтовой системы Восточно-Европейской платформы (Предуральский прогиб) и Уральской аккреционно-складчатой системы (Западно-Уральской структурно-формационной мегазоны) [10, 16].

Последняя реализована в виде системы субмеридиональных и северо-западных пластин, ограниченных тектоническими швами – сателлитами Главного Западно-Уральского надвига – и сложенных верхнекарбоновыми отложениями уткинской свиты. На плечах надвига картируются олистоплаки известняков и псаммитовые останцы чигишанской и капысовской свит. Район проявления туфобрекчий осложнен наиболее молодыми северо-восточными нарушениями сбросовой морфологии и кольцевыми морфоструктурами (Куарская) размером в поперечнике до 20 км. Следует заметить, что в пределах влияния швов Главного Западно-Уральского надвига, осложненного северо-восточными нарушениями, как в истоках р. Сылвы, так и в правых притоках р. Чусовой предыдущими исследователями были установлены проявления

алмазов в рыхлых четвертичных отложениях (рис. 3). Южнее в этой же зоне в полосе влияния Главного надвига нами выявлена в рыхлых отложениях бассейнов рек Пут и Баская специфическая акцессорная минералогия: флюорит, киноварь, самородные свинец и медь, барит, силикатные и металлические шарики. Последние представлены титановым аналогом санборнита ($BaTi_2O_5$) и железистым хромом [17], и рассматриваются в настоящее время как индикаторы своеобразных флюидонасыщенных магматических глубинных систем [17–19], которые, вероятно, могут контролировать алмазоносные структуры.

При решении проблемы поисков коренных источников следует иметь в виду, что в известных алмазоносных провинциях мира, главным образом в Африке и Бразилии, выявлены коренные месторождения, связанные с алмазоносными дайками, жилами, а настоящие диатремы весьма редки [1, 6]. Во всяком случае, подобная морфология продуктивных тел как нашего района, так и известных месторождений Красновишерско-Пашийской группы хорошо укладывается в данную схему, и основной поисковый интерес будут, по-видимому, представлять межслоевые либо дискордантные, пирокластические тела. При этом их возраст, скорее всего, следует считать мезозойским (послепермским), сопряженным с общеуральским корообразованием в постэммерсивную рифтогенную стадию развития территории.

Мезозойский рифтогенез, по мнению В. М. Нечеухина и др. (2009), относится к резонансному типу на основании определенных связей с геодинамическими процессами растяжения в пределах основания Западно-Сибирской плиты. Этот процесс в пределах Урала достаточно надежно фиксируется щелочно-базит-ультрабазитовым (включая лампроиты, анальцимиты) магматизмом как на востоке (ахтыльский комплекс), так и на западе (чикманский, киргишанский комплексы) в Западно-Уральской зоне складчатости.

По данным М. С. Рапопорта и Н. И. Рудицы (1998), в Западно-Уральской складчатой зоне перспективными по геофизическим критериям на обнаружение первоисточников алмазов являются две полосы, вытянутые в субмеридиональном направлении, – от широты г. Красновишерска на севере до верховьев р. Уфы на юге. Они образуют соответственно Западную и Восточную прерывистые полосы источников россыпной алмазоносности, контролируя размещение свит – промежуточных коллекторов (такатинская, федоровская и др.) и спорадических проявлений базит-щелочно-ультрабазитового магматизма (колчимский, чигишанский, ефимовский, сертыньинский комплексы), линейных кор выветривания и кольцевых зон разуплотнения (рис. 3). Последние представляют собой вихреобразные и кольцевые морфоструктуры гравиметровых полей с преобладанием пониженных гравитационных и низких магнитных аномалий размером от 6 × 6 до 21 × 30 км [6]. Восточная полоса расположена в западной зоне влияния Главного Уральского надвига, где интрудируется несколькими малыми телами сертыньинского алмазосодержащего комплекса щелочно-ультраосновных лампроитов [6, 17]. Западная совпадает с областью влияния Западно-Уральского глубинного надвига и, по-видимому, контролирует размещение крупнейших россыпных объектов Красновишерского узла и проявления алмазоносных туффизитов и ксенотуффизитов (полюдово-колчимский и другие комплексы). При этом на юге, на широте истоков р. Бисерть в пределах Киргишанского аллохтона, установлено несколько тел общей мощностью до 100 м (дайки) ортоклазовых и анальцим-ортоклазовых эссексит-тешенитов, вскрытых скважиной 2705 на глубине 500 м [12], которые также свидетельствуют о проявлении и здесь щелочно-базитового магматизма (киргишанский комплекс). Севернее, в границах Чусовского алмазно-россыпного района, известны россыпепроявления по рекам Межевая Утка, Чусовая, Серебряная, из которых при поисках суммарно извлечено 122 кристалла, а также установлены единичные находки алмазов в аллювии рек Шайтанка, Боевская, Распаиха (рис. 3). Первоисточники и промежуточные коллекторы (Западная зона) слабо проявлены. Так, в районе Кыновской перспективной площади выявлены туфобрекчии, близкие к продуктивным аналогам Красновишерского района, в которых зафиксирована высокая концентрация хромшпинелидов кимберлитовой ассоциации. Южнее в этой же полосе по данным Н. А. Мамина (устное сообщение) на реках Каменушка, Гуриха обнаружены несколько перидотитовых и трахибазальтовых трубок.

Таким образом, исходя из имеющихся материалов в пределах активизированных фрагментов Юрюзано-Сылвенской депрессии и Язьвенско-Чусовской складчато-надвиговой зоны в междуречье Чусовой–Сылвы, можно выделить новый Сылвенский алмазно-рудно-россыпный потенциальный узел, контролируемый Западно-Уральской шовной зоной. Он выделяется на фоне высоких значений гравитационных полей, связанных, вероятно, с подъемом тяжелых масс гранулит-базитового слоя [4] и проявлением флюидно-эксплозивных процессов, реализованных в алмазосодержащих туфобрекчиях, месторождениях и проявлениях газа (Бухаровское) и минерализованных вод (Накоряковское, Лакташское). По-видимому, основные перспективы алмазоносности районов и узлов Красновишерского типа связаны главным образом с областью сопряжения Восточно-Европейской платформы и Западно-Уральской зоной складчатости, представляющей собой активизированную шовную зону шириной не менее 10 км.

Размеры последней обусловлены областью влияния сопрягающихся структур, контролируемых проявлениями флюидно-эксплозивных процессов, реализованных в виде экструзий и субсогласных залежей продуктивных пирокластитов, сопровождаемых в области контакта цепочкой аллохтонных органогенных построек, терригенных останцев линейных горст-антиклиналей со значительными амплитудами сбросов, уверенно выделяемых геолого-геофизическими методами.

Выводы

Впервые в коренных нижнепермских отложениях среди своеобразных кластогенных пород проблематичного генезиса выявлен алмаз. Последний представляет собой зеленовато-желтый, прозрачный с редкими включениями кубооктаэдр размером 0,4 мм в поперечнике, внутри которого видны следы хрупких деформаций.

Дискуссионность в определении вмещающих пород обусловлена, с одной стороны, строением их выхода на поверхность, внешне напоминающим небольшую экстру-

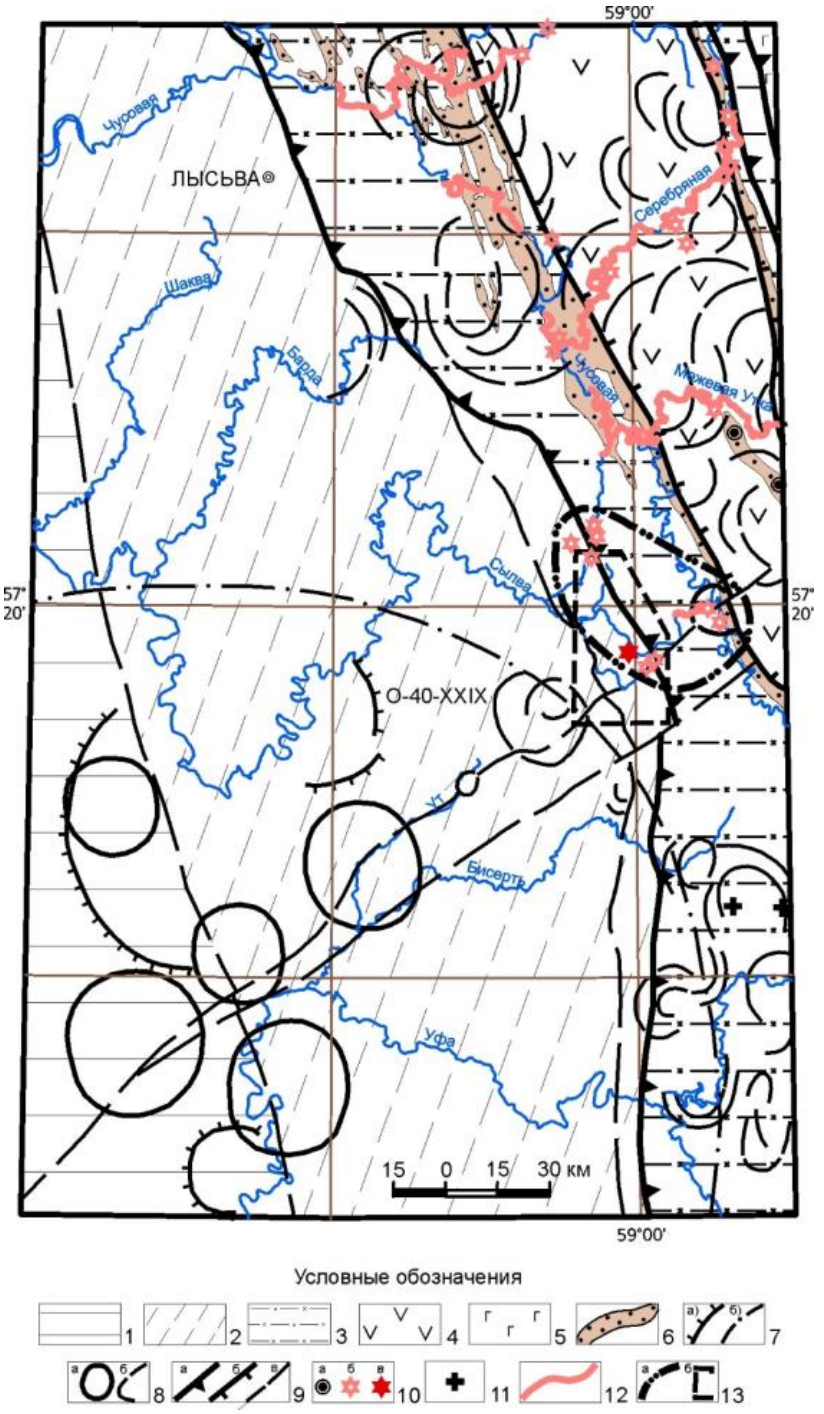

Рисунок 3. Геолого-структурная схема алмазоносности (составлено по материалам [4, 16]). Породные ассоциации: *1* – Восточно-Европейской платформы (P_2); *2* – Предуральского краевого прогиба (P_{1-2}); *3* – Западно-Уральской структурно-формационной мегазоны ($O–C_2$); *4* – Центрально-Уральской мегазоны ($RF–Є_1$); *5* – Тагильской мегазоны (PZ_1); *6* – терригенные комплексы (такатинской (D_1), федоровской (RF_3) свит); *7* – купольные морфоструктуры: *а* – положительные, *б* – крупные кольцевые структуры, выявленные в рельефе поверхности гнейсово-гранулитового комплекса [4]; *8* – кольцевые структуры, контролирующие кимберлит-лампроитовый магматизм, выявленные по данным АГП: *а* – перспективные, *б* – менее перспективные [4]; *9* – тектонические нарушения: *а* – надвиги главные, *б* – надвиги второстепенные, *в* – диагональные тектонические элементы глубинного заложения; *10* – места находок алмазов: *а* – в аллювиальных отложениях, *б* – в терригенных породах (промежуточные коллекторы), *в* – в туфобрекчиях нижней перми; *11* – выходы магматических пород щелочно-базит-ультрабазитового состава; 1*2* – россыпи алмазов аллювиальные, аллювиально-делювиальные; *13* – контуры: *а* – Сылвенского алмазно-рудно-россыпного узла потенциального, *б* – геологической карты истоков р. Сылвы (рис. 1)

Figure 3. Geological and structural scheme of diamond content (compiled based on materials [4, 16]). Rock associations: *1* – East European platform (P_2); *2* – Cis-Ural fore deep (P_{1-2}); *3* – West Ural structural-formational megazone ($O–C_2$); *4* – Central Ural megazone ($RF–Є_1$); *5* – Tagil megazone (PZ_1); *6* – terrigenous complexes (Takatinskaya (D_1), Fedorovskaya (RF_3) suites); *7* – dome morphostructures: *a* – positive, *b* – large ring structures revealed in the surface relief of the gneiss-granulite complex [4]; *8* – ring structures controlling kimberlite-lamproite magmatism, revealed according to MEWP data: *a* – promising, *b* – less promising [4]; *9* – tectonic dislocations: *a* – major thrusts, *b* – secondary thrusts, *c* – deep-seated diagonal tectonic elements; *10* – places where diamonds were found: *a* – in alluvial deposits, *b* – in terrigenous rocks (intermediate reservoirs), *c* – in tuff breccias of the Lower Permian; *11* – outcrops of igneous rocks of alkali-basite-ultrabasite composition; *12* – alluvial, alluvial-deluvial diamond placers; *13* – contours: *a* – Sylvensky potential diamond-ore-placer site, *b* – geological map of the sources of the Sylva river (fig. 1)

зию, а с другой, – составом и структурно-текстурными особенностями самих пород, близких к туфобрекчиям. Для них характерны слабоокатанные, неокатанные до остроугольных обломки средней и крупной размерности несортированного, полимиктового материала, представленного широкой гаммой магматических (от базальта до трахита) и осадочных (известняки, кварциты, кремень) пород, сцементированных гетерогенным кварц-полевошпат-слюдистым составом с присутствием лейст флогопита, серпентина, мусковита. Связующая масса напоминает слабодезинтегрированную пульпу, содержащую как мелкие обломки магматических пород, включая каплевидные образования вулканического стекла, так и перетертый, тонкий (< 0,01 мм), плохо диагностируемый материал кварц-полевошпат-слюдистого состава. Фазовый анализ позволил выявить здесь кварц, кислый плагиоклаз, калишпат, либо лейцит, анальцим, монтмориллонит. Порода лимонитизирована. Наряду с алмазом в породах установлены следующие акцессорные минералы и полиминеральные образования: магнетит, апатит, титанит, лейкоксен, циркон, монацит, корунд, золото, молибденит, барит, эпидот, пирит, рутил, гематит, муассанит, хромшпинелиды (самородная медь и свинец, флюорит, киноварь определены в аналогичных осадках истоков р. Пут), вулканическое стекло, магнитные и стеклянные микросферулы (шарики). Последние (совместно с каплевидными и элипсообразными выделениями вулканического стекла) можно рассматривать, судя по публикациям [19, 20], в качестве индикаторов флюидно-магматического процесса, по-видимому, обязанного проявлению фреатического вулканизма глубинного заложения в пределах краевой восточной части Юрюзано-Сылвенской депрессии. Обращает на себя внимание, с точки зрения проявления тектоно-магматических процессов, и своеобразие общего геолого-структурного положения эксплозивных туфобрекчий, приуроченных к области сочленения уральских и краевых восточно-европейских образований. Это область влияния как структур Главного Западно-Уральского надвига, так и субплатформенных структурно-вещественных комплексов Предуральского краевого прогиба, осложненных системой разномасштабных кольцевых структур, в том числе и глубинного заложения.

Анализ материалов по алмазоносности Западного склона Среднего Урала однозначно свидетельствует о приуроченности известных рудно-россыпных районов и узлов (Красновишерский, Яйвинский, Чикманский, Пашийский и др.) к единой Западно-Уральской алмазно-золото-россыпной минерагенической зоне [16], в пределах которой в междуречье Чусовой–Сылвы, по-видимому, можно выделить новый Сылвенский потенциальный алмазно-рудно-россыпный узел, который объединяет коренные алмазосодержащие туфобрекчии с находками алмазов в четвертичных отложениях левого притока р. Чусовой и междуречья истоков Сылва–Баская.

ЛИТЕРАТУРА

1. Ваганов В. И. Алмазные месторождения России и мира (основы прогнозирования). М.: Геоинформмарк, 2000. 371 с.
2. Кухаренко А. А. Алмазы Урала. М.: Госгеолтехиздат, 1955. 515 с.
3. Малахов И. А. Алмазы Урала и их спутники // Известия вузов. Горный журнал. 1993. № 11. С. 57–60.
4.. Алмазоносность Урала (достижения и задачи исследований) / М. С. Рапопорт [и др.] // Геология и металлогения Урала. Екатеринбург: УГСЭ, 1998. Кн. 1. С. 256–277.
5. Шеманина Е. И. Богомольная Л. С. Включения в уральских алмазах и вероятный тип их первоисточника // Комплексное исследование алмазов. М., 1980. С. 89–95.
6. Алмазоносные флюидно-эксплозивные образования Пермского Приуралья / Л. И. Лукьянова [и др.]. М.; СПб: ГЕОКАРТ; ГЕОС; ВСЕГЕИ, 2011. 240 с.
7. 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: сб. науч.-техн. информ. М.: АОЗТ «Геоинформмарк», 1996. Вып. 6. С. 3–13.
8. Чайковский И. И. Петрология и минералогия интрузивных алмазоносных пирокластитов Вишерского Урала. Пермь: Изд-во Перм. ун-та, 2001. 324 с.
9. Ветчанинов В. А. К вопросу об источниках алмазов уральских россыпей // Геология и геофизика. 1980. № 9. С. 164–168.
10. 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
11. Минерагенический потенциал недр России. Вып. 2. Уральская покровно-складчатая область. Т. 2. Средний Урал / ред. А. Ф. Морозов. М.: ГЕОКАРТ; ГЕОС, 2013. 484 с.
12. Тектоническое районирование и минерагения Урала / К. К. Золоев [и др.]. М.: ГЕОС, 2006. 179 с.
13. Чурсин А. В., Ставротти 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.
14. Fleischer R. A Rift model for the sedimentary diamond deposits of Brazil // Mineralium Deposita. 1998. Vol. 33. No. 3. P. 238–254. https://doi.org/10.1007/s001260050144
15. Hawthorne J. B. Model of a kimberlite pipe // Physics and Chemistry of the Earth. 1975. Vol. 9. P. 1–15. https://doi.org/10.1016/0079-1946(75)90002-6
16. Государственная геологическая карта Российской Федерации / В. П. Водолазская [и др.]. Масштаб 1 : 1 000 000 (третье поколение). Сер. Уральская. Лист О-40 – Пермь: объяснит. записка. СПб: ВСЕГЕИ, 2015. 497 с.
17. 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 Пут (Средний Урал) // Литосфера. 2021. Т. 21. № 2. С. 273–282. https://doi.org/10.24930/1681-9004-2021-21-2-273-282
18. Meyer H. O. A., Svisero D. P. Mineral inclusions in Brazilian diamonds // International Kimberlite Conference: Extended Abstracts. 1973. Vol. 1. P. 225–228. https://doi.org/10.1016/B978-0-08-018017-5.50054-7
19. Nixon P. H. The morphology and nature of primary diamondiferous occurrences // Journal of Geochemical Exploration. 1995. Vol. 53. Issues 1–3. P. 41–71. https://doi.org/10.1016/0375-6742(94)00034-9

Статья поступила в редакцию 5 апреля 2022 года

УДК 552.08:553.81 http://doi.org/10.21440/2307-2091-2022-3-46-55

New data on the diamond content of the Yuryuzano-Sylven depression (Sverdlovsk region)

Vladimir Aleksandrovich DUSHIN[1*]
Denis Igorevich PROKOPCHUK[1**]
Sergey Gennad'evich SUSTAVOV[1***]
Artem Konstantinovich TRUTNEV[1****]
Elena Nikolaevna VOLCHEK[2*****]
Ekaterina Aleksandrovna SURNINA[1******]

[1]Ural State Mining University, Ekaterinburg, Russia
[2]The Zavaritsky Institute of Geology and Geochemistry of the Ural Branch of RAS, Ekaterinburg, Russia

Abstract

The object of the study. The article discusses the prospects of diamond bearing in the area of articulation of the eastern wing of the Yuryuzano-Sylva depression and the West Ural thrust zone and discusses the first diamond discovery in the bedrock deposits of the Lower Permian, from the sources of the Sylva River.

Materials and methods. The work is based on the results of our own research, generalization of materials, both on the diamond content of the Pre-Ural trough and the West Ural structural-formation megazone, and the geology and petrography of the enclosing rock complexes, their structural-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 UGSU 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 UB RAS

Results. The authors conducted a mineralogical and petrographic study of rough-clastic rocks productive for diamonds identified as tuff-breccias, showed their probable fluid-magmatic genesis, 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.

Conclusions. The data obtained indicate the probable manifestation of phreatic volcanism, which led to the transportation of diamond and its satellites to a weakened activated zone in front of the front of the Main West Ural thrust, within which a potential Sylven diamond-ore-placer node was identified.

***Keywords*:** diamond, Lower Permian, tuff breccias, tuffizites, microspherules, Yuryuzano-Sylven depression, Main West Ural thrust.

REFERENCES

1. Vaganov V. I. 2000, Diamond deposits in Russia and the world (basics of forecasting). Moscow, 371 p. (*In Russ.*)
2. Kukharenko A. A. 1955, Diamonds of the Urals. Moscow, 515 p. (*In Russ.*)
3. Malakhov I. A. 1993, Diamonds of the Urals and their accessories. *Izvestiya vuzov. Gornyy zhurnal* [News of higher educational institutions. Mining journal], no. 11, pp. 57–60. (*In Russ.*)
4. Rapoport M. S. [et al.]. 1998, Diamond potential of the Urals (achievements and research tasks). Geology and metallogeny of the Urals. Ekaterinburg, Book. 1, pp. 256–277. (*In Russ.*)
5. Shemanina E. I., Bogomolnaya L. S. 1980, Inclusions in Ural diamonds and the probable type of their primary source. Comprehensive study of diamonds. Moscow, pp. 89–95. (*In Russ.*)
6. Lukyanova L. I. [et al.]. 2011, Diamond-bearing fluid-explosive formations of the Perm Urals. Moscow, 240 p. (*In Russ.*)
7. Ostroumov V. R., Morozov A. F., Kireev A. S., Magadeev B. D. 1996, Discovery of primary sources of Ural diamonds (on the occasion of the 50th anniversary of the Uralalmaz mine). Geological study and use of subsoil: collection of scientific and technical information. Moscow, issue. 6, pp. 3–13. (*In Russ.*)
8. Chaikovsky I. I. 2001, Petrology and mineralogy of intrusive diamondiferous pyroclastites of the Vishersky Urals. Perm, 324 p. (*In Russ.*)
9. 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.*)
10. 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
11. Morozov A. F. 2013, Minerogenic potential of the subsoil of Russia. Issue 2. Ural folded area. Vol. 2. Middle Urals. Moscow, 484 p. (*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
*****volchek@igg.uran.ru
******katy13666@mail.ru

12. Zoloev K. K. [et al.]. 2006, Tectonic zoning and minerageny of the Urals. Mscow, 179 p. (*In Russ.*)
13. Chursin A. V., Stavrotti V. I., Kudryashov A. M. 1998, Swell-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 mineralogy of mobile belts and platform areas of the lithosphere: materials of an international conference. Ekaterinburg pp. 215–217. (*In Russ.*)
14. Fleischer R. 1998, A Rift model for the sedimentary diamond deposits of Brazil. Mineralium Deposita, vol. 33, no. 3, pp. 238–254. https://doi.org/10.1007/s001260050144
15. Hawthorne J. B. 1975, Model of a kimberlite pipe. Physics and Chemistry of the Earth. Vol. 9, pp. 1–15. https://doi.org/10.1016/0079-1946(75)90002-6
16. Vodolazskaya V. P. [et al.]. 2015, State Geological Map of the Russian Federation. Scale 1 : 1,000,000 (third generation). The Ural series. Sheet O-40. Perm: explanatory note. St. Petersburg, 497 p. (*In Russ.*)
17. 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
18. Meyer H. O. A., Svisero D. P. 1973, Mineral inclusions in Brazilian diamonds. International Kimberlite Conference: Extended Abstracts, vol. 1, pp. 225–228. https://doi.org/10.1016/B978-0-08-018017-5.50054-7
19. Nixon P. H. 1995, The morphology and nature of primary diamondiferous occurrences. Journal of Geochemical Exploration, vol. 53, issues 1–3, pp. 41–71.

The article was received on April 5, 2022