

В. А. Душин (УГГУ)

## К ВОПРОСУ О ПОТЕНЦИАЛЬНЫХ КОРЕННЫХ ИСТОЧНИКАХ АЛМАЗОВ НА УРАЛЕ

В статье дано краткое описание впервые выявленного ахтыльского базанит-анальцимитового комплекса, а также сертыннинского лампроитового и сылвенского флюидолитового алмазосодержащих комплексов, которые приурочены к субмеридиональным рифтогенным структурам западного и восточного обрамления Уральского орогена.

Автором проведено минералого-петрографическое изучение продуктивных на алмазы щелочнобазитовых пород, идентифицированных как лампроиты, керсантиты, анальцимиты, базаниты, флюидолиты, показан их вероятный флюидно-магматический генезис, на что указывают как структурно-текстурные, так и их минералогические особенности, 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. Полученные данные свидетельствуют о вероятном проявлении щелочнобазитового, в том числе фреатического вулканизма, приведшего к транспортировке флюидолитами и лампроитами алмазов и его спутников в ослабленную рифтогенную зону в постколлизийной субконтинентальной обстановке раннего мезозоя.

**Ключевые слова:** алмаз, анальцимит, флюидолиты, лампроиты, базаниты, анальцимиты, Юрюзано-Сылвенская депрессия, Главный Западно-Уральский надвиг, сылвенский, ахтыльский, сертыннинский комплексы

V. A. Dushin (URSMU)

## ON THE ISSUE OF POTENTIAL PRIMARY SOURCES OF DIAMONDS IN THE URALS

The article provides a brief description of the newly identified Akhtyl basanite-analcimite complex, as well as the Sertynya lamproite and Sylva fluidolite diamond-containing complexes, which are confined to the submeridional rift structures of the western and eastern borders of the Uralian orogeny.

The author conducted a mineralogical and petrographic study of diamond-bearing alkali-basite rocks identified as lamproites, kersantites, analcimites, basanites, and fluidolites. He demonstrates their probable fluid-magmatic genesis, as indicated by both structural, textural and mineralogical features, including accessory minerals that indicate diamond potential, as well as the presence of drop-shaped elliptical segregations of volcanic glass, the pulp-like finely dispersed nature of the groundmass, and unsorted weakly rounded to sharply angular fragments of igneous and sedimentary rocks. The data obtained indicate the probable manifestation of alkali-basite and phreatic volcanism, which led to the transportation of diamonds and their satellites by fluidolites and lamproites to a weakened rift zone in the post-collisional subcontinental environment of the Early Mesozoic.

**Keywords:** diamond, analcime, fluidolites, lamproites, basanites, analcimites, Yuryuzano-Sylva depression, Main West Ural thrust, Sylva, Akhtyl, Sertynya complexes

**Для цитирования:** Душин В. А. К вопросу о потенциальных коренных источниках алмазов на Урале // Региональная геология и металлогения. – 2024. – № 99. – С. 116–127. DOI: 10.52349/0869-7892\_2024\_99\_116-127

**Введение.** В XVI–XIX вв. были установлены первые единичные находки алмазов в Российской империи – на Днепре, Беломорье и Урале [20]. Однако именно с Урала началась история освоения данного вида минерального сырья. При этом сразу же встал вопрос о выявлении коренных источников алмазов, так как большинство исследователей относили и относят уральские объек-

ты к россыпному типу [2]. Предполагались различные источники – это и проблематичные удаленные кимберлиты-лампроиты докембрия в пределах Восточно-Европейской платформы, и промежуточные коллекторы в терригенных отложениях колчимской (S<sub>1</sub>) и такатинской (D<sub>1</sub>) свитах западного склона Урала [1; 13]. Кроме того, в результате обширных научно-производственных работ

было установлено, что алмазы из уральских россыпей весьма своеобразны и отличаются от кристаллосырья других провинций, что указывало с большой долей вероятности на местный источник образования известных объектов [26; 29]. Это обстоятельство позволяло в формировании россыпей не исключать вклад щелочно-базит-ультрабазитового магматизма Урала, включая кимберлиты (хартесский комплекс), лампроиты (сертыньинский, шарьюнский, шеинский, ахмеровский комплексы), перидотиты (косьвенский комплекс). Некоторые исследователи предполагали также метаморфогенный (кумдыкольский тип) либо ударно-метаморфогенный (попигайский тип) генезис коренных источников алмазов [16].

Серьезным импульсом в вопросе выявления местных (уральских) коренных источников алмазов, приведший к значительному увеличению геологических и тематических работ, вызвало появление в 1995–1996 гг. «туффизитовой» концепции, предложенной В. Г. Остроумовым, А. Я. Рыбальченко [14; 17], Л. И. Лукьяновой и В. В. Жуковым для объектов Красновишерского узла [12]. С этого времени началось активное переосмысление материалов предшествующих работ, в которых участвовали геологи «Пермьгеолдобыча», АО «Уралалмаз», ВСЕГЕИ, ПГГ СП «Геокарат», ИГЕМ, ТОО «Прогноз Д», УГКСЭ, ИГиМ (Миасс), ЦНИГРИ, ИГ Коми ФАН, СНИГЭ (УГГУ), ПГУ (г. Пермь) и др. [4; 13; 21; 24; 25; 29]. Значительный вклад в изучение алмазоносности Урала в этот период внесли А. Н. Анфилов, 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. Шарпенко, Л. М. Шеманина, Ю. В. Шурубор, И. И. Чайковский, А. В. Чурсин и многие другие.

«Туффизитовый» источник алмазов в связи с проблематичностью и неоднозначностью геолого-петрохимических доказательств до сих пор во многом не принимается частью исследователей. Тем не менее в качестве субстрата при транспортировке алмазов к земной поверхности он весьма актуален, особенно с поисковой точки зрения. Очень важной является информация о присутствии в районе их проявлений фреатического вулканизма, с которым и связывается появление туффизитов как наиболее важного коренного источника алмазов [12; 14; 17], которые нередко претерпевали коровые преобразования [24]. Наряду с пластообразными формами данные породы образуют трубчатые и дайково-жильные тела, что позволяло геологам считать их магматическими образованиями, близкими к трубкам взрыва.

Важным элементом геологического строения Уральской алмазоносной провинции является положение ее в области сочленения уральских субмеридиональных и тиманских северо-западных структур глубинного заложения в пределах сложнопостроенной палеорифтовой системы,

сформированной на гетерогенном архейско-раннепротерозойском основании [11; 12; 19].

Таким образом, судя по литературным источникам [1; 12], включая и наши исследования [8], вопросы наличия транспортирующих агентов как возможных первоисточников алмазов остаются до настоящего времени дискуссионными, но весьма актуальными. В связи с этим как найденный нами алмаз в своеобразных кластогенных экстрезивных породах сылвенского комплекса флюидолитов, прорывающих нижнепермские отложения, так и выявление на востоке Тагильского прогиба активизационного базанит-анальцитимитового (ахтыльский комплекс) и лампроитового (сертыньинский комплекс) магматизма позволяет уточнить понимание проблемы первоисточников алмазов в регионе [1].

**Методика исследований.** В работе приводится краткое описание геологического строения и характеристика выявленного нами экстрезивного тела сылвенского комплекса как возможного источника обнаруженного алмаза, а также дан краткий анализ размещения алмазосодержащих (сертыньинский) и перспективных (ахтыльский) комплексов в пределах Пермского Приуралья и ХМАО. Работы осуществлялись 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 химического состава вмещающих алмаз породных комплексов осуществлено в лабораториях ФГБОУ ВО «УГГУ». Морфологическое исследование минералов 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  $U = 20 \text{ kV}$ ,  $I = 3 \text{ nA}$  (аналитик И. А. Власов, ФГБОУ ВО «УГГУ»). Рентгенографическое исследование выполнено методом монокристалла на установке УРС-55 в камере РКД, излучение  $\text{Fe}\alpha + \beta$ ,  $U = 40 \text{ kV}$ ,  $I = 10 \text{ mA}$  (аналитик С. Г. Сустанов, ФГБОУ ВО «УГГУ») и с помощью рентгеновского дифрактометра XRD 7000 (Shimadzu) в области углов  $\Theta$  от 3 до 70°, 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 исследования проведены на микроскопах DM2700P, S9i, M205C фирмы Leica на кафедре ФГБОУ ВО «УГГУ».

**Объект исследования.** В геологическом строении Урала в границах Пермского края, Свердловской области и ХМАО принимают участие интродуцированные широким спектром магматизма

докембрийские, палеозойские и мезозойские осадочные и вулканогенные отложения. Они локализованы в пределах (с запада на восток) Предуральского прогиба, Западно-Уральской, Центрально- и Восточно-Уральской мегезон, захваты-

вая и западный край Западно-Сибирской молодой платформы (рис. 1). Крупнейшими тектоническими элементами являются: Главный Западно-Уральский надвиг (ГЗУН), Главный Уральский надвиг (ГУН) субмеридионального (уральского)

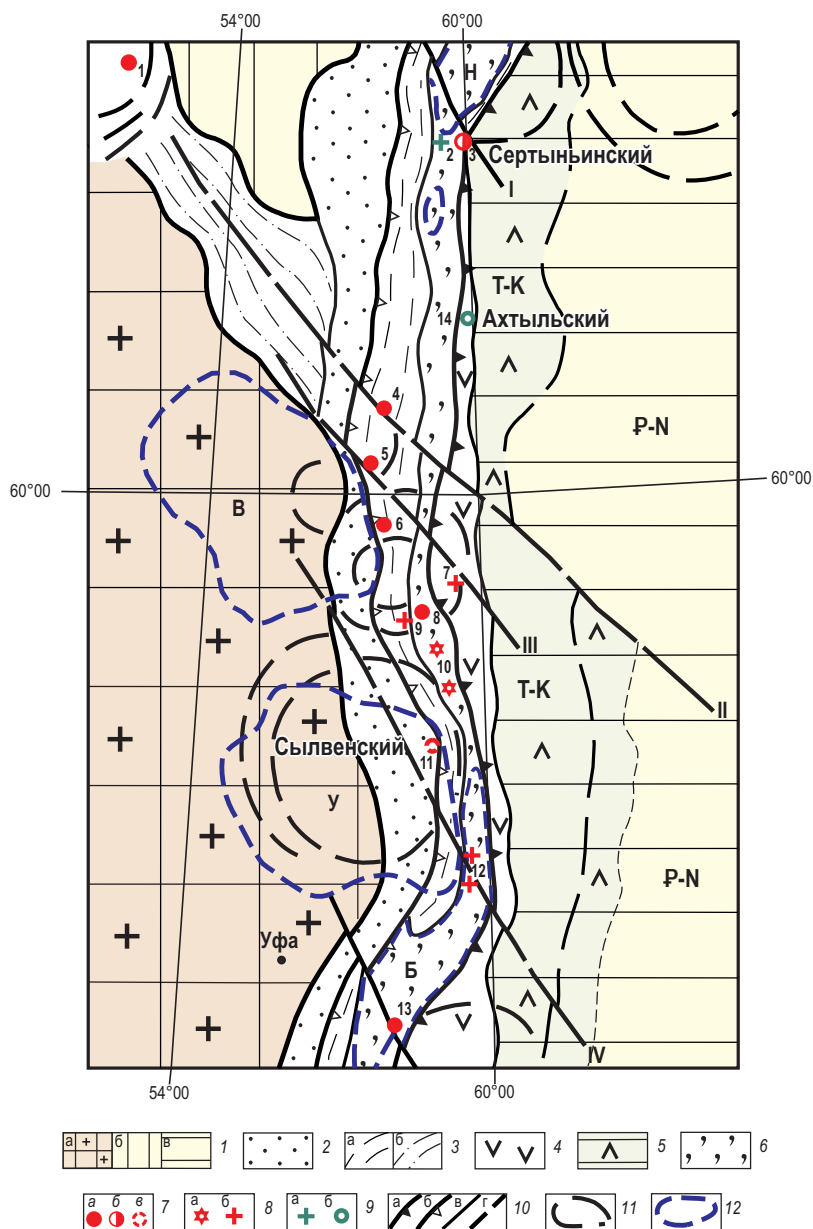


Рис. 1. Геолого-структурная схема размещения алмазодержащих комплексов Урала

1 – платформенные ассоциации чехла Восточно-Европейской (а), Печорской (б) и Западно-Сибирской плит (в); 2 – карбонатно-терригенные ассоциации Предуральского краевого прогиба; 3 – нерасчлененные полиформационные ассоциации Западно-Уральской складчатой мегазоны (а) и Канинско-Тиманской гряды (б); 4 – нерасчлененные полиформационные (океанические, островодужные, коллизионные) ассоциации Тагило-Магнитогорской мегазоны; 5 – полиформационные ассоциации Восточно-Уральской и Зауральской мегазон, перекрытые мезозойским чехлом; 6 – нерасчлененные рифейско-вендские полиформационные ассоциации субплатформенно-платформенного чехла с блоками AR-PR фундамента в пределах складчатого Урала; 7 – проявления (месторождения) алмазодержащих (а) и слабоалмазодержащих с единичными находками алмазов в кимберлит-лампроит-флюидолитовых (б), флюидолитовых (туфизитовых) комплексах (в); 8 – находки алмазов в рыхлых отложениях (а) и в породах некимберлит-лампроитовой природы (б); 9 – комплексы не алмазодержащих кимберлит-лампроитов (а) и анальцимитов (б); 10 – тектонические нарушения: Главный Уральский надвиг (а), Главный Западно-Уральский надвиг (б), прочие дизъюнктивы (в), трансрегиональные поперечные нарушения (з): I – Взяжский, II – Тиманский, III – Чикманский, IV – Кочкарский; 11 – главные морфоструктуры центрального типа; 12 – крупные блоки платформенного типа, включающие щелочно-ультраосновной магматизм (Б – Башкирский, В – Верхнекамский, Н – Нянтинский, У – Уфимский).

**Алмазодержащие районы, комплексы и проявления (цифры на схеме):** 1 – Ичет-Ю, 2 – Хартесский, 3 – Сертыннинский, 4 – Березовское, 5 – Красновишерский, 6 – Чикманский, 7 – Каменушинский, 8 – Верхнекойвинский, 9 – Кузьинский, 10 – Висимо-Уткинский, 11 – Сылвенский, 12 – Тараташский, 13 – Ахмеровский, 14 – Ахтыльский

направления, осложненные крупными структурами северо-западного (тиманского) и северо-восточного направлений.

На юго-западе Свердловской области в пределах Пермьяковской антиклинали (выс. 404,5 м) в донной части карьера размером 40 × 120 м нами закартирован сылвенский флюидогенно-эксплозивный ( $\alpha\beta T-J?s/$ ) комплекс, прорывающий нижнепермские терригенные образования капысовской свиты ( $P_1kr$ ). Он расположен на восточном крыле Юрюзано-Сылвенской депрессии в зоне влияния Главного Западно-Уральского надвига (ГЗУН), локализуясь 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 «крабовой» морфологии прослежено по простиранию на 30 м в виде отдельных щупальцеподобных сегментов мощностью до 0,1 м. Это, как правило, цементирующий субстрат импрегнирующий мелко-грубообломочный конгломерато-гравелито-песчанистый, вмещающий комплекс пород капысовской свиты, который прослежен по субширотной зоне трещиноватости, образуя в рельефе плосковершинный останец размером 120 × 70 м (рис. 2).

Порода имеет зеленовато-серую окраску, массивную до брекчиевой текстуру, излом неровный, в шлифах микроструктура неравномернозернистая, текстура обломочная, брекчиевая, наблю-

даются редкие порфировидные выделения. Минеральный состав: изотропные обломки анальцита, реже вулканического стекла с просечками и редкими прожилками кварц-карбонатного, карбонатного и хлоритового составов.

Рентгеновская диагностика порошковой пробы (рентгенофазовый анализ) показала наличие анальцита 27%, около 62% низкого санидина, доли процентов стекла, гидрослюда (вермикулит), присутствие гётита. Акцессорные минералы (по данным минералогического анализа) – магнетит, лейкоксен, рутил, апатит, лимонит, циркон. Кроме того, в протоловке обнаружены биотит, хлорит, амфибол, карбонат, плагиоклаз. При электронно-микроскопическом изучении в флюидолите были выявлены санидин с переменным вхождением в него натрия, иногда бариевого минералов, анальцита, амфибол, титанит, апатит, рутил [9].

Не останавливаясь на характеристике вышеперечисленных минералов, описанной нами в прежних работах [8; 9], обратим внимание на их данные в приконтактной зоне закалки с крупными (около 10–30 см в поперечнике) округлыми (закатанными) обломками пелитоморфных известняков (рис. 2) из карбонатных отложений Западно-Уральской мегазоны. Последние как бы «плавают» в флюидолитовом матриксе. При этом сам контакт в виде желтовато-серой оболочки достаточно четко фиксирует наличие различных сред. Электронно-микроскопическое изучение контакта флюидолитов

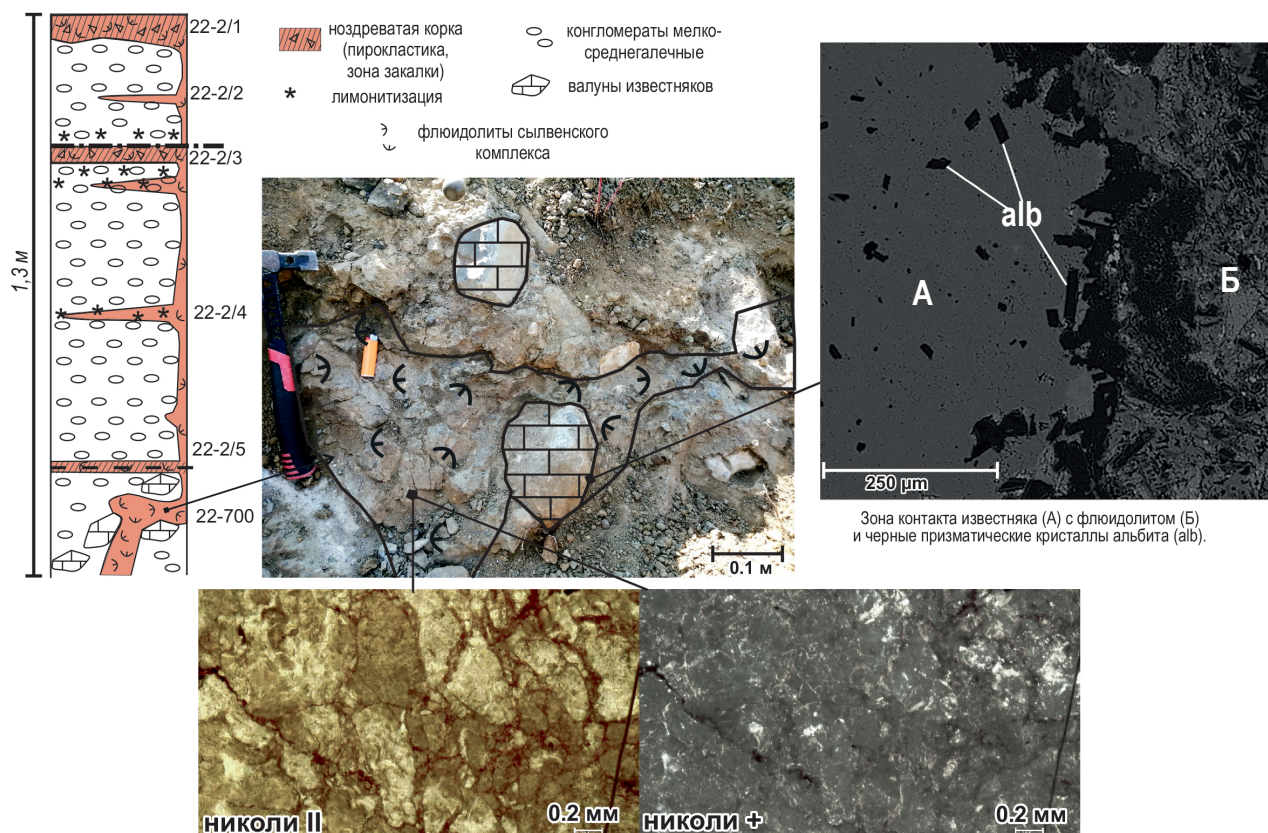
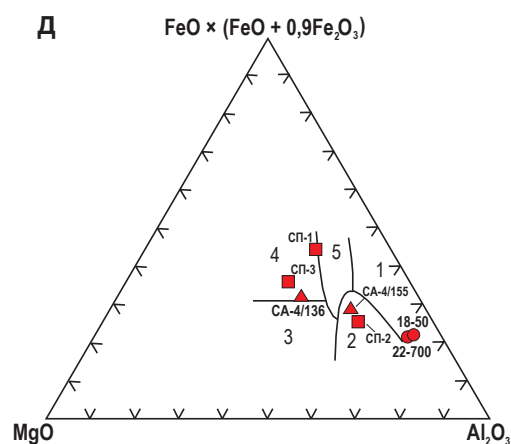
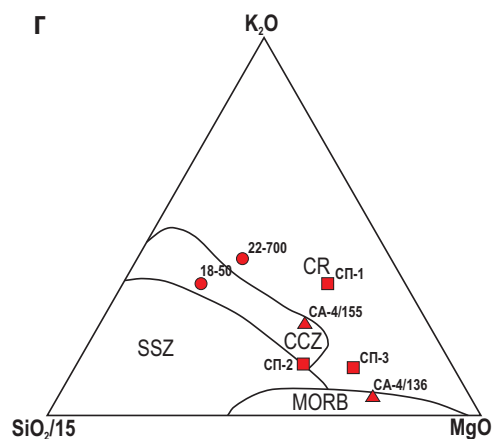
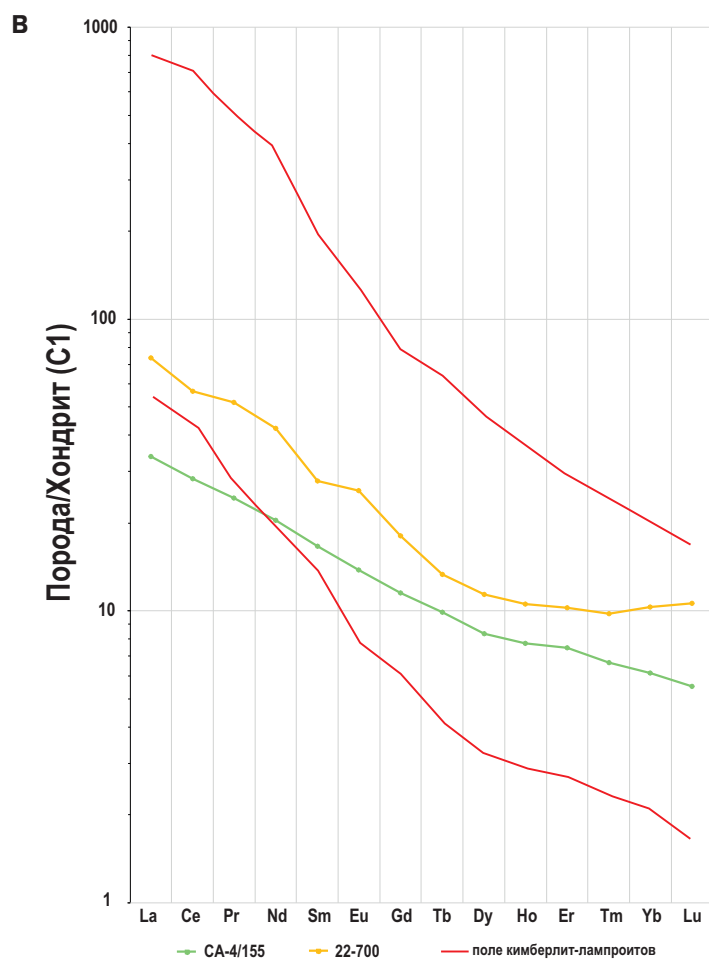
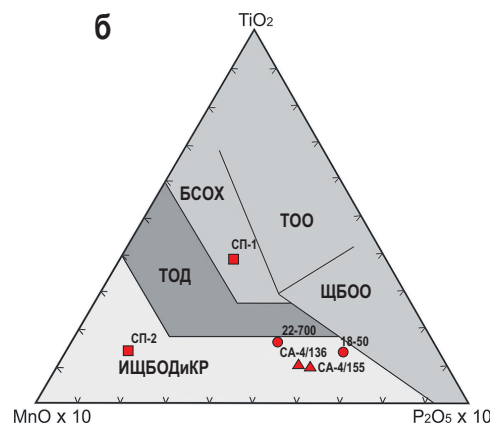
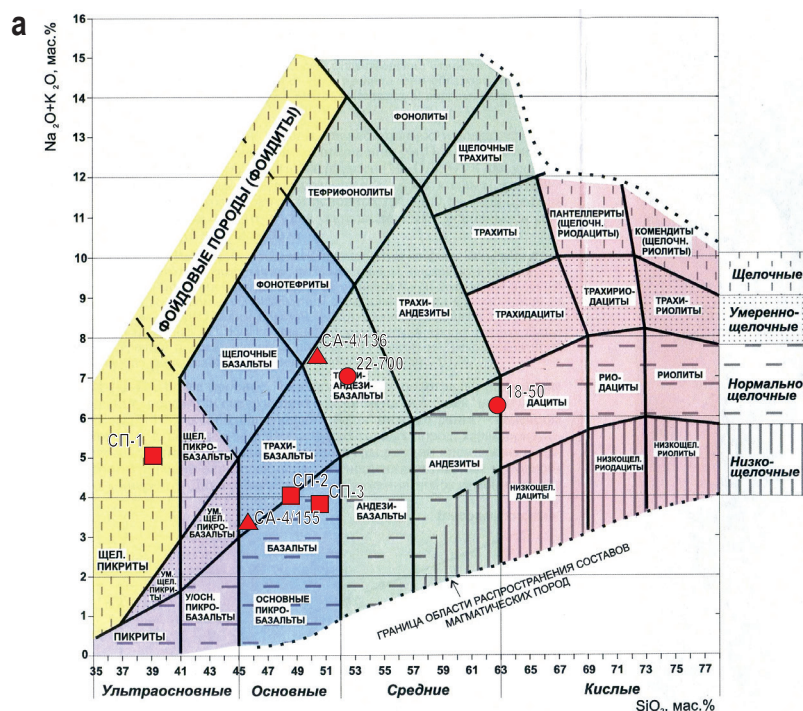


Рис. 2. Геологическое строение и петрографическая характеристика сылвенского комплекса ( $\alpha\beta T-J?s/$ ) флюидолитов



■ сертыньинский комплекс    ● сылвенский комплекс    ▲ ахтыльский комплекс

с известняками (рис. 2) показало, что состав минералов здесь несколько меняется – вместо анальцита появляется плагиоклаз, остаются калиевый полевой шпат, амфибол, кварц, присутствует фторапатит с примесью хлора, рутил, т. е. проявлен интродуцирующий, относительно высокотемпературный эффект.

**Плагиоклаз** установлен в составе флюидолита только в краевой части, где он контактирует с карбонатной породой, при этом температура расплава была изначально наиболее высокой, и анальцит оказался неустойчивым в данных условиях. Непосредственно на контакте в сторону карбонатной породы произошел самопроизвольный рост мелких призматических кристаллов плагиоклаза (рис. 2). Более мелкие индивиды рассеяны на некотором удалении среди карбонатной породы. В сторону флюидолита они переходят в рыхлый пористый агрегат. Размер кристаллов достигает  $0,08 \times 0,02$  мм. Иногда подобные кристаллы видны на некотором удалении от контакта флюидолита. Химический состав плагиоклаза соответствует альбит-олигоклазу (масс. %):  $\text{SiO}_2$  (67,48–68,39);  $\text{Al}_2\text{O}_3$  (19,61–20,74);  $\text{CaO}$  (0,14–0,52);  $\text{Na}_2\text{O}$  (11,26–11,69) (8 точек определений, сумма 100). В каркасе структуры плагиоклаза наблюдается некоторый избыток глинозема по отношению к кремнезему, который увеличивается при переходе во флюидолит. Здесь же его состав усложняется, появляется санидиновый минерал и примесь железа.

**Калиевый полевой шпат** в самой зоне контакта отсутствует, но находится непосредственно сразу за альбитом в тесном соприкосновении. Он образует слегка удлиненные или близкие к изометричным зерна размерами от  $0,1 \times 0,07$  до  $0,05 \times 0,03$  мм. Изучение химического состава калиевого полевого шпата показывает, что он обладает избытком глинозема и недостатком кремнезема. Кроме алюминия, в тетраэдрических позициях присутствует постоянная примесь  $\text{Fe}^{+3}$ , содержание которой колеблется от 0,43 до 1,70 масс. %. Химический состав (масс. %):  $\text{SiO}_2$  (65,16–67,86);  $\text{Al}_2\text{O}_3$  (18,23–18,93);  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  (0,43–1,70);  $\text{K}_2\text{O}$  (14,2–16,13);  $\text{Na}_2\text{O}$  (0,47–0,81);  $\text{CaO}$  до 1,35;  $\text{BaO}$  до 0,70 (5 точек определений, сумма 100). В целом для санидина довольно обычен избыток глинозема в составе и появление  $\text{Fe}^{+3}$  в тетраэдрической позиции, а также появление кальция и бария в катионной части. Все это свидетельствует о нестабильных условиях при его кристаллизации.

**Амфибол** – третий минерал по количественному распространению вслед за полевыми шпатами. Обычно он расположен возле зерен санидина, но

местами образует мелкие включения в альбите. По сравнению с санидином имеет более светлую окраску, которая слабоконтрастна на черно-белом фоне. Форма зерен представлена неправильными треугольными обломками, удлиненными обособлениями от прямоугольных до волокнистых, хорошо видимых на цветных снимках в видообразующих элементах. Размеры более крупных достигают  $0,10 \times 0,05$  мм и менее. В химическом составе присутствуют следующие минералообразующие катионы по двум анализам (масс. %):  $\text{MgO}$  – 12,93–13,87;  $\text{FeO}$  – 16,68–17,29;  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  – 11,45–11,80;  $\text{Al}_2\text{O}_3$  – 18,32–20,20;  $\text{SiO}_2$  – 35,11–36,21; постоянные примеси представлены  $\text{CaO}$  – 1,21–2,11; в единичном случае встречены:  $\text{TiO}_2$  – 1,88,  $\text{K}_2\text{O}$  – 0,42,  $\text{MnO}$  – 0,29. Амфибол отвечает феррожедриту – промежуточному члену ряда жедрит-феррожедрит, обогащенному титаном, кальцием и калием. По сравнению с амфиболом основной ткани флюидолита, в нем выше содержания магния, окисного железа, титана и ниже содержание глинозема и кремнезема.

**Апатит** встречается в виде скоплений нескольких искаженных гексагональных кристаллов между обломками силикатных минералов, иногда касаясь их лишь в отдельных точках, или расклинен мельчайшим кристаллом другого минерала. Размеры его кристаллов в поперечном сечении от 0,008 до 0,015 мм.

Изучение химического состава апатита показало, что кроме видообразующих элементов в нем в 50% случаев присутствуют кремнезем и закисное железо. Химический состав апатита (масс. %):  $\text{P}_2\text{O}_5$  (41,93–42,20);  $\text{CaO}$  (53,60–54,62);  $\text{FeO}$  – до 0,32;  $\text{SiO}_2$  – до 0,63;  $\text{F}$  (2,55–3,88);  $\text{Cl}$  (0,24–0,39) (6 точек определений, сумма 100).

Расчет эмпирических формул апатита показал их близость к идеализированной формуле. Отмечается некоторый избыток фосфора в составе апатита, который может достигать 0,5 формульных единиц (ф.е.), и недостаток кальция. В целом состав апатита соответствует гидроксил- и хлорсодержащему фторапатиту с примесью железа. Вхождение кремнезема в состав апатита не всегда обосновано, так как если его вычесть как механическую примесь, формула становится ближе к идеализированной.

Совместно с альбит-олигоклазом непосредственно на контакте еще отмечается кварц, который образует изометричные или слегка удлиненные «нашлепки» на поверхности кристаллов плагиоклаза или скрепляет его отдельные кристаллы

Рис. 3. Классификационные диаграммы пород сылвенского, ахтыльского и сертыньинского комплексов

**а** – TAS диаграмма; **б** – диаграмма  $\text{MnO} - \text{TiO}_2 - \text{P}_2\text{O}_5$ , по [26]. Поля составов: ИЩБОДПКР – известково-щелочные базальты островных дуг и континентальных рифтов, ТОД – толеиты островных дуг, БСОХ – базальты срединно-океанических хребтов, ТОО – толеиты океанических островов, ЩБОО – щелочных базальтов океанических островов; **в** – хондрит-нормализованные спектры РЗЭ для пород сылвенского комплекса; **г** – тройная дискриминационная диаграмма для вулканитов с использованием  $\text{K}_2\text{O}$ ,  $\text{SiO}_2/15$ ,  $\text{MgO}$ , по [5]. 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  $\text{MgO} - \text{FeO} \times (\text{FeO} + 0,9\text{Fe}_2\text{O}_3) - \text{Al}_2\text{O}_3$ , по [27]. Поля составов базальтов: 1 – надспрединговых островов, 2 – островных дуг, 3 – срединно-океанических хребтов, 4 – океанических островов, 5 – континентальных

между собой. Размер его выделений не превышает 0,3 мм в поперечнике. Чистота его в отдельных случаях составляет 100 масс. %. Чаще в нем присутствуют примеси (масс. %):  $K_2O$  – 0,25;  $CaO$  – 0,32;  $FeO$  – 0,29;  $Cr_2O_3$  – 0,23, в сумме не превышающие процент и связанные с механическими или газовой-жидкими включениями.

*Рутил* в краевой части образует отдельные мелкие призматические кристаллы размерами 11,5 × 2,5 мкм, которые при внимательном рассмотрении представляют собой сростки нескольких индивидов. Встречаются коленчатые двойниковые сростки.

Химический состав рутила (масс. %):  $TiO_2$  (54,95–93,02);  $Fe_2O_3$  (1,35–16,25);  $Al_2O_3$  (0,68–7,99);  $SiO_2$  (1,98–14,70);  $CaO$  (0,26–0,92);  $K_2O$  (0,15–1,50);  $MgO$  – до 4,52;  $ZrO_2$  – до 1,28 (6 точек определений, сумма 100).

Изучение химического состава рутила показало, что он содержит в своем составе переменное количество различных примесей:  $V_2O_5$  – до 0,83;  $Cr_2O_3$  – до 0,85;  $Na_2O$  – до 1,03.

Значительное содержание вышеперечисленных изоморфных примесей, особенно  $Fe_2O_3$  и  $Al_2O_3$ , в рутиле указывают на его образование при **высоких** температурах становления.

Эксплозивная фация флюидолитов представлена пирокластической массой, пронизывающей вмещающие гравелито-конгломераты, участвует в едином вулканическом процессе. Мощности отдельных прослоев – 0,5–1,2 м. Они залегают плащеобразно (аз. пад.  $340^\circ \angle 10^\circ$ ;  $15^\circ \angle 5^\circ$ ) и обнажаются к северу от субширотного линейного центра эрупции, сложенного собственно брекчиевыми флюидолитами, описанными выше. Рентгеновская диагностика (фазовый анализ) тонкой фракции основной массы свидетельствует о присутствии в пробе кварца, кислого плагиоклаза с примесью калиевого полевого шпата, анальцима, а также значительного количества монтмориллонита [8].

Подобная характеристика позволяет более-менее достоверно с учетом контактовых высокотемпературных преобразований идентифицировать породу брекчиевой текстуры как эруптивную брекчию флюидолитов, аналогичную во многом породам Вишерского района.

В целом порода представляет собой агломерат частиц размером от 0,5 до 0,00п мм самых разнообразных и причудливых форм, химический состав которых постоянно меняется при переходе от одного участка к другому, а порой в пределах одного выделения. Это свидетельствует о формировании ее в неравновесных и быстро меняющихся условиях, когда состав породообразующих минералов испытывает значительные вариации и в большинстве случаев отклоняется от стехиометрического.

Химизм пород сылвенского комплекса соответствует трахиандеизабазальтам (рис. 3). Их в основном анальцим-калишпатовый минералогический состав, содержащий стекло, биотит-вермикулит и амфибол, позволяет соотнести их с анальцимовыми шошонитами, возможно, санидиновыми ана-

льцимитами (табл. 1), а магматиты соответствуют образованиям, сформированным при континентальном рифтогенезе [8]. По соотношению  $K_2O$  –  $SiO_2$  –  $MgO$  и  $TiO_2$  –  $P_2O_5$  –  $MnO$  цемент по составу ближе к субщелочным андезитам (рис. 3).

Геохимические особенности (табл. 2) проявляются в повышенных содержаниях (Кк): лития, бериллия, скандия, мышьяка, урана, серебра, церия, а значения остальных элементов – нижекларковые.

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. 3). При этом концентрации РЗЭ в целом соответствуют составам кимберлитов-лампроитов при некотором возрастании тяжелых лантаноидов [12].

Изучение проб-протопочек 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 протопочек было произведено оптическими методами, а монокристалл алмаза диагностирован с привлечением рентгеноструктурного анализа. Для последнего был рассчитан дифракционный спектр, в котором присутствуют следующие К $\alpha$  линии: 2,05 (10)–1,263 (7)–1,077 (10), что однозначно идентифицирует его как алмаз [9].

**Обсуждение результатов.** Анализ геологического строения района развития алмазоносных флюидолитов свидетельствует о весьма сложном и тектонически напряженном состоянии территории. Это определяется расположением ее в области сочленения окраинно-континентальной рифтовой системы Восточно-Европейской платформы (Предуральский прогиб) и Уральской аккреционно-складчатой системы (Западно-Уральской структурно-формационной мегазоны). Последняя реализована в виде пакетов субмеридиональных и северо-западных пластин, ограниченных тектоническими швами – сателлитами Главного Западно-Уральского надвига, сложенных верхнекарбонными отложениями уткинской свиты. На плечах надвига картируются олистоплаки известняков и псаммитовые останцы чигишанской и капысовской свит нижней перми. Район проявления флюидолитов осложнен наиболее молодыми северо-восточными и северо-западными нарушениями сбросовой морфологии и кольцевыми морфоструктурами (Куарская) размером в поперечнике до 20 км. Последняя является частью более крупной морфоструктуры ( $d \sim 220$  км), осложняющей восточный край Восточно-Европейской платформы (рис. 1).

Следует заметить, что в пределах влияния швов Главного Западно-Уральского надвига севернее нашей находки расположен Вишерский алмазоносный район, а в истоках р. Сылва и правых при-

Таблица 1

## Содержание петрогенных оксидов (масс. %)

| Оксиды                         | СП-2  | СП-3  | СП-1  | СА-4/155 | СА-4/136 | 22-700 | 18-50 |
|--------------------------------|-------|-------|-------|----------|----------|--------|-------|
| Пробы                          | 1     | 2     | 3     | 4        | 5        | 6      | 7     |
| SiO <sub>2</sub>               | 50,45 | 48,59 | 39,09 | 50,37    | 45,66    | 52,40  | 65,95 |
| TiO <sub>2</sub>               | 0,35  | 1,22  | 2,11  | 0,54     | 0,66     | 0,74   | 0,55  |
| Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | 17,50 | 13,65 | 14,57 | 16,61    | 14,44    | 19,37  | 13,12 |
| Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | 3,14  | 2,84  | 2,10  | 7,61     | 9,55     | 6,24   | 4,28  |
| FeO                            | 6,45  | 10,24 | 13,70 | 1,00     | 2,00     | –      | –     |
| MnO                            | 0,17  | –     | 0,20  | 0,17     | 0,24     | 0,17   | 0,08  |
| MgO                            | 5,01  | 9,43  | 6,77  | 5,83     | 9,75     | 2,63   | 1,65  |
| CaO                            | 7,56  | 3,06  | 12,34 | 4,83     | 7,76     | 2,41   | 3,25  |
| NaO                            | 2,67  | 2,32  | 0,27  | 4,90     | 2,70     | 2,92   | 3,36  |
| K <sub>2</sub> O               | 1,14  | 1,74  | 4,78  | 2,60     | 0,60     | 4,15   | 3,12  |
| P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>  | 0,033 | –     | 0,14  | 0,33     | 0,36     | 0,22   | 0,24  |
| ппп                            | 5,16  | 6,12  | –     | 5,00     | 5,70     | 8,32   | 4,2   |
| Сумма                          | 99,63 | 99,21 | 96,07 | 99,79    | 99,42    | 100,09 | 100,9 |

Примечание. Анализы выполнены в ЦП УРО РАН. Сертыньинский комплекс [15]: 1 – долерит субщелочной, 2 – керсантит, 3 – лампроит; ахтыльский комплекс: 4 – анальцитимит, 5 – базанит анальцитимитовый; сылвенский комплекс: 6 – анальцитимитовый шошонит, 7 – цемент флюидолита.

тока р. Чусовая предыдущими исследователями также были установлены проявления алмазов в рыхлых четвертичных отложениях и, вероятно, корях выветривания (рис. 1). Южнее в этой же зоне в полосе влияния Главного надвига нами выявлены в рыхлых и коренных 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<sub>2</sub>O<sub>5</sub>) и железистым хромом и рассматриваются в настоящее время как индикаторы своеобразных флюидонасыщенных магматических глубинных систем [6; 18; 25] рифтогенной природы, которые, вероятно, могут контролировать алмазоносные структуры. При этом их раннемезозойский возраст скорее всего сопряжен с общепалеозойским корообразованием в эмерсивную рифтогенную стадию развития территории и обусловлен рифтогенезом в краевой части Восточно-Европейской платформы. Последний относится к резонансному типу [3] на основании определенных связей с геодинамическими процессами растяжения в пределах основания Западно-Сибирской плиты, обусловленных влиянием Сибирского суперплюма [6]. Этот процесс в пределах Урала достаточно надежно фиксируется щелочно-базит-ультрабазитовым (включая лампроиты, анальцитимиты) магматизмом как на западе (чикманский, киргизанский комплексы) в Западно-Уральской мегазоне складчатости, так и на востоке (ахтыльский базанит-анальцитимитовый, сертыньинский лампроитовый комплексы).

Ахтыльский комплекс установлен нами в южной части Северо-Сосьвинской СФЗ у краевой восточной «рамы» Тагильского прогиба, где интрузирует терригенно-вулканогенные отложения девона. Он представлен сближенной группой небольших (до 10 м мощностью) экстрезивных тел (даек), контролируемых субмеридиональным Сосьвинско-Люльинским разломом, локализуясь в узлах его сопряжения с северо-западными и северо-восточными дизъюнктивками. Породы состоят из анальцита, диопсида, авгита, ортоклаза, форстерита, лепидокрокита и иногда биотита. Акцессории представлены магнетитом, гематитом, гранатом, титанитом, иногда шпинелью. Своеобразием структурного и химического состава отдельных минералов является их раздробленность (диопсид) в результате резкого падения температуры и давления в процессе формирования, а также переменные соотношения ортоклаза и анальцита в отдельных участках матрикса породы. Высокие содержания алюминия в анальцитимите вплоть до образования гипотетического алюминиевого граната и значительное количество пиропового минала (16%) в нем свидетельствуют о глубинности формирования исходной магмы при ее неравновесности в процессе становления комплекса.

Породы ахтыльского базанит-анальцитимитового комплекса по своим петро-геохимическим параметрам близки к составам глубинных щелочных и субщелочных вулканитов натриевого ряда (табл. 1) муджиерит-гаваитовой серии, отличающихся от девонских эффузивов лопсийской толщи. Он сформирован в постколлизивной субконтинентальной обстановке (рис. 3) раннемезозойского

Содержание элементов (г/т) в породах сылвенского (1), ахтыльского (2), сертыньинского (3, 4) комплексов

| Элемент/<br>проба | 22–700 | СА–4/155 | П–8  | П–11 | Элемент/<br>проба | 22–700 | СА–4/155 | П–8    | П–11   |
|-------------------|--------|----------|------|------|-------------------|--------|----------|--------|--------|
|                   | 1      | 2        | 3    | 4    |                   | 1      | 2        | 3      | 4      |
| Li                | 40,0   | 2,84     | 507  | 8,8  | I                 | <0,01  | 0,99     |        |        |
| Be                | 1,30   | 0,43     |      |      | Cs                | 70,0   | 0,41     | 62,40  | 0,41   |
| P                 | –      | 1250,75  |      |      | –                 | –      | –        | –      | –      |
| Sc                | 4,1    | 21,67    | 49,6 | 39,0 | Ba                | 800,0  | 472,91   | 143    | 162    |
| Ti                | 4000,0 | 2489,30  |      |      | La                | 18,0   | 8,27     | 4,7    | 1,7    |
| V                 | 120,0  | 258,96   |      |      | Ce                | 36,0   | 18,15    | 6,8    | 2,5    |
| Cr                | 13,0   | 40,19    | 218  | 54   | Pr                | 5,0    | 2,35     | –      | –      |
| Mn                | 1100,0 | 926,31   |      |      | Nd                | 20,0   | 9,67     | 13,0   | <2,02  |
| Co                | 5,0    | 20,52    | 44   | 29   | Sm                | 4,3    | 2,57     | 3,4    | 0,95   |
| Ni                | 6,0    | 11,77    | 72   | 50   | Eu                | 1,5    | 0,80     | 1,54   | 0,48   |
| Cu                | 60,0   | 27,87    |      |      | Gd                | 3,7    | 2,36     | –      | –      |
| Zn                | 90,0   | 31,47    |      |      | Tb                | 0,5    | 0,37     | 0,97   | –      |
| Ga                | 18,0   | 13,48    |      |      | Dy                | 2,9    | 2,12     | –      | –      |
| Ge                | 1,3    | 5,28     |      |      | Ho                | 0,6    | 0,44     | –      | –      |
| As                | 33,5   | 0,16     |      |      | Er                | 1,7    | 1,24     | –      | –      |
| Se                | 0,53   | –        |      |      | Tm                | 0,25   | 0,17     | –      | –      |
| Rb                | 89,0   | 19,03    | 87,0 | 7,6  | Yb                | 1,7    | 1,01     | 2,8    | 1,7    |
| Sr                | 500,0  | 166,23   | 136  | 151  | Lu                | 0,27   | 0,14     | 0,54   | 0,2    |
| Y                 | 15,0   | 12,90    | 29   | 14   | Hf                | 3,0    | 0,73     | 1,9    | 0,6    |
| Zr                | 140,0  | 22,31    | 82   | 45   | Ta                | 0,27   | 0,10     | 0,21   | <0,025 |
| Nb                | 6,0    | 1,08     | 4    | 1    | W                 | 0,7    | 0,16     | –      | –      |
| Mo                | 1,0    | 0,28     |      |      | Tl                | 0,08   | 0,06     |        |        |
| Ag                | 0,24   | 0,02     |      |      | Pb                | 4,0    | 4,56     |        |        |
| Cd                | 0,3    | 0,06     |      |      | Bi                | 0,06   | 0,01     | –      | –      |
| Sn                | 1,1    | 0,57     |      |      | Th                | 4,6    | 1,00     | <0,426 | <0,22  |
| Sb                | 0,18   | 0,02     |      |      | U                 | 1,8    | 0,37     | <0,310 | <0,426 |
| In                | –      | 0,05     |      |      |                   |        |          |        |        |
| Te                | –      | 0,03     |      |      |                   |        |          |        |        |

Примечание. Анализы (1, 2) выполнены в ЦП УРО РАН, анализы (3, 4) по [15].

рифтогенеза в области сочленения Урала и Западно-Сибирской молодой платформы. Интенсивные эксплозивно-эруптивные процессы установлены и севернее, в районе междуречья Люлья–Сертынья, которые привели к появлению в раннем мезозое алмазосодержащего магматизма (сертыньинский комплекс). Последний также контролируется в зоне ГУНа меридиональным Сосьвинско-Люльинским дизъюнктивом при его сопряжении с северо-западными (Вэраюским) и северо-восточными структурами. Это группа маломощных

даек калиевых щелочно-ультраосновных лампроитов, керсантитов, субщелочных долеритов, пикритов и вороннообразных тел туфобрекчий близкого состава (относимых к кимберлитам), содержащих мелкие (до 3,3 мм) алмазы и их сколки [15].

В целом лампроитоподобные породы, по данным В. Н. Кошечного (2002 г.), Ю. А. Подкуйко (1998, 1999 гг.), содержат клинопироксен, флогопит(?), мелилит(?), а в качестве аксессуарных минералов в разные годы выявлены и установлены: титанит, гранат, лейкоксен, апатит, муассонит,

золото, магнитные шарики, самородная медь. Породы по химизму (табл. 1) отвечают составам трахибазальтов – щелочных пикритов, а доперииты – базальтам (рис. 3). Геохимический спектр лампроитов–лампрофиров характеризуется высокими, почти рудными концентрациями лития, повышенными – Sc, Ce, Y, Cs (табл. 2), а по содержаниям РЗЭ они отличаются пологим трендом и повышенным содержанием Rb (76,3–87,0) по отношению к проблематичным кимберлитам (0,53–2,99), в которых преобладают высокие концентрации хрома (1548–2820 г/т). Положение фигуративных точек на геодинамических диаграммах (рис. 3) свидетельствует о формировании пород комплексов в условиях континентального рифтогенеза.

Как показали проведенные исследования, ведущая роль в размещении алмазной минерализации флюидно-магматического типа принадлежит эндогенным структурно-петрологическим факторам. Эти наблюдения опираются на анализ (в широком смысле) геолого-геофизических, аэрокосмогеологических, петрографо-петрогеохимических данных, включая информацию по смежным регионам Урала. Прежде всего обращает на себя внимание постоянная приуроченность алмазоносных районов, узлов и единичных находок (рис. 1) к восточному обрамлению Восточно-Европейской платформы, включая и ее отторженцев (террейнов) в складчатом поясе (Ляпинский, Тараташский и Башкирский блоки). При этом устанавливается повышенная продуктивность в зонах сочленения уральских (субмеридиональных) и тиманских (северо-западных) глубинных структур (зоны повышенной проницаемости), отвечающих, по-видимому, за тепломассоперенос вещества, ведущего к формированию «расплав-флюидных образований на верхнемантийном или нижнекоровом уровнях» [12; 23]. Не менее важным является наличие в фундаменте докембрийских, в том числе архейско-раннепротерозойских раздробленных блоков, сложенных гнейсами, эклогитами, эндербитами, анортозитами, метагабброноритами, амфиболитами, ограниченными и рассеченными субмеридиональными, северо-восточными и северо-западными разломами глубинного заложения (области подъема фундамента с повышенной трещиноватостью). Последние, как правило, определяют размещение углеродсодержащих объектов в плитном и складчатом секторах. Впоследствии они испытали неоднократные подновления и в сочетании с разномасштабными кольцевыми структурами (Куарская, Ляпинская и др.) контролируют размещение активизационного магматизма.

**Выводы.** Анализ геолого-геофизической, аэрокосмогеологической, петрогеохимической информации, а также данные по смежным регионам Урала и прилегающим территориям Восточно-Европейской и Западно-Сибирской платформ свидетельствуют о проявлении в регионе своеобразного explosивно-субвулканического и флюидолитового щелочно-базитового магматизма нетрадиционного типа, прорывающего терригенно-вулка-

ногенные породы верхнего палеозоя и содержащего единичные включения алмаза. Это сылвенский флюидогенно-эксплозивный, сертыньинский explosивно-субвулканический алмазосодержащий, а также ахтыльский экструзивно-субвулканический потенциально алмазосодержащий комплексы раннего мезозоя, которые могут быть перспективными с точки зрения поисков промышленных коренных алмазоносных объектов. Для них характерны породы, состоящие из анальцима, санидина, вулканического стекла, оливина, диопсида, амфибола, биотит-вермикулита, отчасти флогопита и с учетом петрогеохимических параметров соответствуют подотрядам щелочных и умереннощелочных основных и средних вулканических пород, включая лампроитоидную серию (сертыньинский комплекс). Они характеризуются повышенными концентрациями лития, бериллия, скандия, церия, мышьяка, урана, серебра, содержат алмаз, хромшпинелиды, золото, магнетит, апатит, рутил, монацит, циркон, магнитные и стеклянные сферулы. Не исключено, что данные комплексы брекчированных флюидолитов и базанит-анальцитов имеют, по-видимому, относительно широкое распространение и полифазное развитие в пределах Урала. Становление комплексов происходило при окраинно-континентальном рифтогенезе, по-видимому, в мезозойский эмерсивный триасово-юрский(?) этап развития территории, сопряженный с функционированием Сибирского суперплюма [6].

К ведущим региональным факторам алмазности относятся: приуроченность объектов различного ранга к восточному краю древней Русской платформы, в поднадвиговой части которой в пределах Западно-Уральской и Восточно-Уральской мегазон устанавливается подъем гетерогенного (AR–PR) фундамента [22]; наличие зон сочленения и сопряжения уральских и тиманских региональных структур глубинного заложения, способствующих активному тепломассопереносу вещества из подкорового уровня; проявление разномасштабных кольцевых структур, контролирующих размещение активизационного вулканизма, в том числе фреатического; полифазное и полихронное проявление сосредоточенного флюидогенно-эксплозивного вулканизма, содержащего продуктивную кимберлит-лампроитовую ассоциацию и глубинную экзотическую минерализацию; постоянная связь с проявлениями высокоуглеродистых флюидов, включая проявления нефти, газа, минерализованных вод и т. п.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Алмазоносность Урала (достижения и задачи исследований) / М. С. Рапопорт, В. Я. Левин, Н. Н. Рудица и др. // Геология и металлогения Урала. Кн. 1. – Екатеринбург : ОАО «УГСЭ», 1998. – С. 256–277.
2. Ваганов В. И. Алмазные месторождения России и мира (основы прогнозирования). – М. : Геоинформмарк, 2000. – 371 с.
3. Геодинамическая карта Урало-Тимано-Палеоазиатского сегмента Евразии масштаба 1 : 2 500 000 /

- В. М. Нечехин, В. А. Душин, В. А. Оловянишников; отв. ред. В. А. Коротеев. — Екатеринбург : ИГГ УрО РАН ; УГГУ, 2009.
4. Гневушев М. А., Шеманина Е. И. Некоторые особенности уральских алмазов и их возможные первоисточники // *Минералы изверженных горных пород и руд Урала*. — Л. : Наука, 1967. — С. 27–40.
  5. Демина Л. И., Симонов Д. А. Вулканы как индикаторы процесса континентальной коллизии // *Докл. РАН*. — М. : Наука, 1999. — Т. 366, № 6. — С. 793–796.
  6. Добрецов Н. Л. Пермотриасовый магматизм и осадконакопление в Евразии как отражение суперплюма // *Докл. РАН*. — 1997. — Т. 354 (2). — С. 220–223.
  7. Душин В. А. Потенциальная алмазоносность Полярного Урала / В. А. Душин, В. Р. Остроумов, А. А. Малигин, О. П. Сердюкова. — Екатеринбург : Изд-во УГГУ, 2014. — 200 с.
  8. Душин В. А. Сылваенский комплекс флюидолитов Юрюзано-Сылвенской депрессии (Свердловская область) / В. А. Душин, Д. И. Прокопчук, С. Г. Суставов, А. К. Трутнев, Е. А. Жуклин // *Известия УГГУ*. — 2023. — Вып. 1 (69). — С. 22–30.
  9. Душин В. А. Первая находка алмаза из нижнепермских отложений в районе истоков р. Сылва (Свердловская область) / В. А. Душин, С. Г. Суставов, Д. И. Прокопчук, А. К. Трутнев, В. С. Козьмин // *Региональная геология и металлогения*. — 2022. — № 91. — С. 68–78. DOI: 10.52349/0869-7892\_2022\_91\_68-78
  10. Ишков В. Д. Источники алмазов уральских россыпей на примере Красновишерского района // *Тезисы докладов II Всесоюзного совещания по геологии алмазных месторождений*. — 1966. — С. 35–37.
  11. Коротеев В. А. Особенности формирования и геодинамическая карта Урало-Тимано-Палеоазиатского сегмента Евразии / В. А. Коротеев, В. М. Нечехин, В. А. Душин, Е. Н. Волчек // *Литосфера*. — 2020. — Т. 20, № 5. — С. 607–629. DOI: 10.24930/1681-9004-2020-20-5-607-629
  12. 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.
  13. Малахов И. А. Алмазы Урала и их спутники // *Изв. вузов. Горный журнал Уральского горного обозрения*. — 1993. — № 4 (II/93). — С. 57–60.
  14. Открытие коренных источников уральских алмазов (к 50-летию прииска «Уралалмаз») / В. Р. Остроумов, А. Ф. Морозов, А. С. Киреев, Б. Д. Магадеев // *Геологическое изучение и использование недр: Науч.-технич. информ. сб. АОЗТ* — М. : Геоинформмарк, 1996. — Вып. 6. — С. 3–13.
  15. Подкуйко Ю. А. Щелочно-ультраосновные породы Приполярного Урала как возможный коренной источник алмазов / Ю. А. Подкуйко, В. И. Ваганов, О. Д. Захарченко, И. Н. Шиятый // *Руды и металлы*. — 2002. — № 4. — С. 12–15.
  16. Рапопорт М. С., Кузовков Г. Н. Ожидаемые типы коренной алмазоносности Урала // *Известия УГГА. Серия Геология и геофизика*. — 2000. — Вып. 10. — С. 93–99.
  17. 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 Пермского ун-та, 1996. — С. 111–113.
  18. Суставов С. Г. Металлические и стеклянные сферулы в рыхлых отложениях истоков реки Пут (Средний Урал) / С. Г. Суставов, В. А. Душин, И. А. Власов, А. К. Трутнев, Е. А. Жуклин, Д. И. Прокопчук // *Литосфера*. — 2021. — Т. 21 (2). — С. 273–282. DOI: 10.24930/1681-9004-2021-21-2-273-282
  19. Тектоническое районирование и минерагения Урала / К. К. Золотов, Д. А. Додин, В. А. Коротеев, А. Ф. Морозов. — М. : ГЕОС, 2006. — 179 с.
  20. Харькив А. Д. Зинчук Н. Н., Зуев В. М. История алмаза. — М. : Недра, 1997. — 602 с.
  21. Чайковский И. И. Петрология и минералогия интрузивных алмазоносных пирокластитов Вишерского Урала. — Пермь : Изд-во Пермского ун-та, 2001. — 324 с.
  22. 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 // *Материалы Международ. конф. Проблемы геодинамики, сейсмичности и минерагении подвижных поясов и платформенных областей литосферы*. — Екатеринбург : Тр. УрО РАН, 1998. — С. 215–217.
  23. 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. DOI: 10.24930/1681-9004-2018-18-5-743-757
  24. Шурубор Ю. В. Инициативная экспертиза сообщений об открытии магматических источников на Урале // *Отечественная геология*. — 1999. — Вып. 9. — С. 42–45.
  25. Kuznetsov N. B. First U-Pb age of detrital zircons from sandstones of the upper Emsian Takaty formation of the western Urals with regard to the problem of primary sources of the Uralian diamond Placers / N. B. Kuznetsov, T. V. Romanyuk, A. V. Shatsillo, S. Yu. Orlov, V. M. Gorozhanin, E. N. Gorozhanina, E. S. Seregina, N. S. Ivanova, J. Meert // *Doklady Earth Sciences*. — 2014. — Vol. 455, no. 2. — Pp. 370–375.
  26. Mullen E. D. MnO–TiO<sub>2</sub>–P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>: a minor element discriminant for basaltic rocks of oceanic environments and its implications for petrogenesis // *Earth and Planetary Science Letters*. — 1983. — Vol. 62. (1). — Pp. 53–62.
  27. 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. — Pp. 121–132.
  28. Takahashi Y. Crystallization and morphology of glassy sanbornite / Y. Takahashi, R. Ihara, T. Fujiwara, M. Osada // *Key Engineering Materials*. — 2011. — Vol. 485. — Pp. 301–304.
  29. Vasiliev E. A., Klepikov I. V., Lukyanova L. I. Comparison of diamonds from the Rassolninskaya depression and recent alluvium placers of the Krasnovishersky district (Ural Region) // *Zapiski RMO (Proceedings of the Russian Mineralogical Society)*. — 2018. — Vol. 147, no. 1. — Pp. 55–68.

## REFERENCES

1. Rapoport M. S., Levin V. Ya., Ruditsa H. H. et al. Almazonosnost' Urala (dostizheniya i zadachi issledovaniy) [Diamond bearing of the Urals (achievements and research objectives)]. *Geology and metallogeny of the Urals. Book 1*. Yekaterinburg, JSC «UGSE», 1998, pp. 256–277.
2. Vaganov V. I. Almaznye mestorozhdeniya Rossii i mira (osnovy prognozirovaniya) [Diamond deposits of Russia and the world (fundamentals of forecasting)]. Moscow, Geoinformmark, 2000, 371 p.
3. Geodinamicheskaya karta Uralo-Timano-Paleoazitskogo segmenta Evrazii masshtaba 1 : 2 500 000 [Geodynamic map of the Ural-Timan-Paleoasiatic segment of Eurasia on a scale of 1 : 2,500,000]. Eds.: V. M. Necheukhin, V. A. Dushin, V. A. Olovyanishnikov; V. A. Koroteev. Yekaterinburg, IGG Ural Branch of the Russian Academy of Sciences, UGSU, 2009.
4. Gnevushev M. A., Shemanina E. I. Nekotorye osobennosti ural'skikhalmazov i ikh vozmozhnye pervoistochniki [Some features of Ural diamonds and their possible primary sources]. *Minerals of igneous rocks and ores of the Urals*. Leningrad, Science, 1967, pp. 27–40.
5. Demina L. I., Simonov D. A. Vulkanity kak indikator protessa kontinental'noy kollizii [Volcanites as indicators of the process of continental collision]. *Reports of the Academy of Sciences*. Moscow, Science, 1999, vol. 366, no. 6, pp. 793–796.

6. Dobretsov N. L. Permotriassovyy magmatizm i osadkonakoplenie v Evrazii kak otrazhenie superplyuma [Permo-triassic magmatism and sedimentation in Eurasia as a reflection of the superplume]. *Reports of the Academy of Sciences*, 1997, vol. 354 (2), pp. 220–223.
7. Dushin V. A., Ostroumov V. R., Malyugin A. A., Serdyukova O. P. Potentsial'naya almazonosnost' Polyarnogo Urala [Potential diamond content of the Polar Urals]. Yekaterinburg, UGGU Publishing House, 2014, 200 p.
8. Dushin V. A., Prokopchuk D. I., Sustavov S. G., Trutnev A. K., Zhuklin E. A. Sylvaenskiy kompleks flyuidolitov Yuryuzano-Sylvenskoy depressii (Sverdlovskaya oblast') [Sylva complex of fluidolites of the Yuryuzano-Sylva depression (Sverdlovsk region)]. *Izvestiya UGGU*, 2023, iss. 1 (69), pp. 22–30.
9. Dushin V. A., Sustavov S. G., Prokopchuk D. I., Trutnev A. K., Koz'min V. S. Pervaya nakhodka almaza iz nizhnepermiskikh otlozheniy v rayone istokov r. Sylva (Sverdlovskaya oblast') [The first finding of a diamond from the Lower Permian deposits near the sources of the Sylva River (Sverdlovsk region)]. *Regional geology and metallogeny*, 2022, no. 91, pp. 68–78, DOI: 10.52349/0869-7892\_2022\_91\_68-78
10. Ishkov V. D. Istochniki almazov ural'skikh rossyep na primere Krasnovisherskogo rayona [Sources of diamonds of the Ural placers on the example of Krasnovishersky district]. *Abstracts of the II All-Union Meeting on the geology of diamond deposits*, 1966, pp. 35–37.
11. Koroteev V. A., Necheukhin V. M., Dushin V. A., Volchek E. N. Osobennosti formirovaniya i geodinamicheskaya karta Uralo-Timano-Paleoaziatskogo segmenta Evrazii [Features of formation and geodynamic map of the Ural-Timan-Paleoasiatic segment of Eurasia]. *Lithosphere*, 2020, vol. 20, no. 5, pp. 607–629, DOI: 10.24930/1681-9004-2020-5-607-629
12. Luk'yanova L. I., Ostroumov V. R., Rybal'chenko A. Ya. Almazonosnye flyuido-eksplozivnye obrazovaniya Permskogo Priural'ya [Diamond-bearing fluid-explosive formations of the Permian Urals]. Ed. by A. F. Morozov. Moscow, St. Petersburg, Geokart, GEOS, VSEGEI, 2011, 240 p.
13. Malakhov I. A. Almazы Urala i ikh sputniki [Diamonds of the Urals and their satellites]. *Izv. Vuzov. Mining journal Ural Mining Review*, 1993, no. 4 (II/93), pp. 57–60.
14. Ostroumov V. R., Morozov A. F., Kireev A. S., Magadeev B. D. Otkrytie korennykh istochnikov ural'skikh almazov (k 50-letiyu priiska «Uralalmaz») [Discovery of the indigenous sources of Ural diamonds (to the 50th anniversary of the Uralalmaz mine)]. *Geological study and use of the subsoil: Scientific and Technical. inform. sb. JSC*. Moscow, Geoinformmark, 1996, iss. 6, pp. 3–13.
15. Podkuyko Yu. A., Vaganov V. I., Zakharchenko O. D., Shiyatyy I. N. Shchelochno-ul'traosnovnye porody Pripolyarnogo Urala kak vozmozhnyy korennoy istochnik almazov [Alkaline-ultrabasic rocks of the Circumpolar Urals as a possible root source of diamonds]. *Ores and Metals*, 2002, no. 4, pp. 12–15.
16. Rapoport M. S., Kuzovkov G. N. Ozhidaemye tipy korennoy almazonosnosti Urala [Expected types of primary diamond content of the Urals]. *Izvestia of the UGGA. Series Geology and Geophysics*, 2000, iss. 10, pp. 93–99.
17. Rybal'chenko A. Ya., Kolobyanin V. Ya., Rybal'chenko T. M. O novom tipe magmatizma kak vozmozhnom istochnike ural'skikh almazov [On a new type of magmatism as a possible source of Ural diamonds]. *Mat-ly region. confer. «Modeling of geological systems and processes»*. Perm, Publishing House of Perm. un-ta, 1996, pp. 111–113.
18. Sustavov S. G., Dushin V. A., Vlasov I. A., Trutnev A. K., Zhuklin E. A., Prokopchuk D. I. Metallicheskie i steklyannye sferuly v rykhlykh otlozheniyakh istokov reki Put (Sredniy Ural) [Metal and glass spherules in loose sediments of the sources of the Put River (Middle Urals)]. *Lithosphere*, 2021, vol. 21 (2), pp. 273–282, DOI: 10.24930/1681-9004-2021-21-2-273-282
19. Zoloev K. K., Dodin D. A., Koroteev V. A., Morozov A. F. Tektonicheskoe rayonirovanie i minerageniya Urala [Tectonic zoning and mineralogy of the Urals]. Moscow, GEOS, 2006, 179 p.
20. Khar'kiv A. D., Zinchuk N. N., Zuev V. M. Istoriya almaza [History of diamond]. Moscow, Nedra, 1997, 602 p.
21. Chaykovskiy I. I. Petrologiya i mineralogiya intruzivnykh almazonosnykh piroklastitov Visherskogo Urala [Petrology and mineralogy of intrusive diamond-bearing pyroclastites of the Vishersky Urals]. Perm, Publishing House of Perm. un-ta, 2001, 324 p.
22. Chursin A. V., Stavroty V. I., Kudryashov A. M. Valoobraznye podnyatiya dorifeyskogo fundamenta Zapadnogo sklona Urala, ikh otrazhenie v geofizicheskikh polyakh i svyaz' s almazonosnost'yu [Shaft-like uplifts of the Dorifeian basement of the Western slope of the Urals, their reflection in geophysical fields and connection with diamond content]. *Materials of the International. confer. Problems of geodynamics, seismicity and minerageny of mobile belts and platform areas of the lithosphere*. Yekaterinburg, Tr. UrO RAS, 1998, pp. 215–217.
23. Sharpenok L. N., Luk'yanova L. I., Petrov O. V. Geologo-petrologicheskaya model' formirovaniya almazonosnykh flyuidoeksplozivnykh brekchievykh struktur (ural'skiy tip) [Geological and petrological model of the formation of diamond-bearing fluid-explosive breccia structures (Ural type)]. *Lithosphere*, 2018, vol. 18 (5), pp. 743–757, DOI: 10.24930/1681-9004-2018-18-5-743-757
24. Shurubor Yu. V. Initsiativnaya ekspertiza soobshcheniy ob otkrytii magmaticheskikh istochnikov na Urale [Initiative examination of reports on the discovery of magmatic sources in the Urals]. *Domestic geology*, 1999, iss. 9, pp. 42–45.
25. Kuznetsov N. B., Romanyuk T. V., Shatsillo A. V., Orlov S. Yu., Gorozhanin V. M., Gorozhanina E. N., Seregina E. S., Ivanova N. S., Meert J. First U-Pb age of detrital zircons from sandstones of the upper Emsian Takaty formation of the western Urals with regard to the problem of primary sources of the Uralian diamond Placers. *Doklady Earth Sciences*, 2014, vol. 455, no. 2, pp. 370–375.
26. Mullen E. D. MnO–TiO<sub>2</sub>–P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>: a minor element discriminant for basaltic rocks of oceanic environments and its implications for petrogenesis. *Earth and Planetary Science Letters*, 1983, vol. 62 (1), pp. 53–62.
27. 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, pp. 121–132.
28. Takahashi Y., Ihara R., Fujiwara T., Osada M. Crystallization and morphology of glassy sanbornite. *Key Engineering Materials*, 2011, vol. 485, pp. 301–304.
29. Vasiliev E. A., Klepikov I. V., Lukyanova L. I. Comparison of diamonds from the Rassolninskaya depression and recent alluvium placers of the Krasnovishersky district (Ural Region). *Zapiski RMO (Proceedings of the Russian Mineralogical Society)*, 2018, vol. 147, no. 1, pp. 55–68.

Душин Владимир Александрович – доктор геол.-минерал. наук, профессор, зав. кафедрой геологии, поисков и разведки месторождений полезных ископаемых, Уральский государственный горный университет (УГГУ). Ул. Куйбышева, 30, Екатеринбург, Россия, 620144. <Vladimir.Dushin@m.ursmu.ru>.

Dushin Vladimir Aleksandrovich – DSc (Geology and Mineralogy), Professor, Head of the Department of Geology, Prospecting and Exploration of Mineral Deposits, Ural State Mining University (URSMU). 30 Ul. Kuibysheva, Yekaterinburg, Russia, 620144. <Vladimir.Dushin@m.ursmu.ru>.