

УДК 552.08:553.81

DOI: 10.24930/1681-9004-2023-23-4-637-653

Алмазоносные флюидолиты области сочленения Восточно-Европейской платформы и Уральской складчатой области

В. А. Душин¹, С. Г. Сустанов¹, Д. И. Прокопчук¹, Е. Н. Волчек²

¹Уральский государственный горный университет, 620144, г. Екатеринбург, ул. Куйбышева, 30, e-mail: snige@m.ursmu.ru

²Институт геологии и геохимии им. академика А.Н. Заварицкого УрО РАН, 620110, г. Екатеринбург, ул. Академика Вонсовского, 15, e-mail: volchek@igg.uran.ru

Поступила в редакцию 14.02.2023 г., принята к печати 12.05.2023 г.

Объект исследования. В статье охарактеризован, впервые выявленный сылвенский флюидогенно-эксплозивный комплекс, который был установлен в области сочленения Западно-Уральской надвиговой мегазоны (истоки р. Сылва) и восточного крыла Юрюзано-Сылвенской депрессии Предуральского прогиба. **Материалы и методы.** В основу работы включены результаты собственных исследований при выполнении ГДП-200/2 листа О-40-XXIX (Шалинская площадь), а также материалы, полученные при работах по Федеральной программе “Приоритет 2030”, помимо этого также обобщены данные по геологии, петрохимии, петрографии и структурно-тектонической позиции кластогенных породных ассоциаций в зоне влияния Главного Западно-Уральского надвига. В статье приведены результаты исследований на электронном микроскопе TESCAN VEGA LMS, оснащенный энергодисперсионной рентгеновской спектроскопической приставкой Xplore 30 и рентгеновской установке УРС-55, расположенных в лаборатории ФГБОУ ВО УГТУ, а также на спектрометрах СРМ-35 и Shimadzu EDX-8000 и дифрактометре XRD-7000 в центре коллективного пользования “Геоаналитик” Института геологии и геохимии УрО РАН. **Результаты.** Впервые установлен минералого-петрографический и химический составы алмазосодержащих пород сылвенского комплекса флюидолитов; произведено рентгеновское определение алмаза и главных минералов породы (санидин, анальцит и др.). Проведенные исследования пород предполагают их возможный флюидно-магматический генезис, на который указывают минералогические особенности, включая акцессорные минералы-индикаторы алмазосности, наличие эллипсообразного и каплевидного вулканического стекла, тонкодисперсная основная масса и слабоокатанные несортированные обломки магматических и осадочных пород. **Выводы.** Полученные авторами результаты указывают на возможное проявление в районе раннемезозойского фреатического вулканизма, повлекшего перенос флюидолитами сылвенского комплекса алмаза и его минералов-спутников.

Ключевые слова: нижняя пермь, туфобрекчии, флюидолиты, алмаз, микросферулы, алмазосность, Юрюзано-Сылвенская депрессия, Главный Западно-Уральский надвиг, сылвенский комплекс

Источник финансирования

Исследования выполнены при частичной поддержке темы № АААА-А19-119072990020-6 государственного задания ИГГ УрО РАН

Diamond-bearing fluidolites in the junction area of East European Platform and Urals fold region

Vladimir A. Dushin¹, Sergei G. Sustavov¹, Denis I. Prokopchuk¹, Elena N. Volchek²

¹Ural State Mining University, 30 Kuibyshev st., Ekaterinburg 620144, Russia, e-mail: snige@m.ursmu.ru

²A.N. Zavaritsky Institute of Geology and Geochemistry, UB RAS, 15 Academician Vonsovsky st., Ekaterinburg 620110, Russia, e-mail: volchek@igg.uran.ru

Received 14.02.2023, accepted 12.05.2023

Research subject. To characterize the Sylva fluidogenic-explosive complex, which was established in the junction area of the West Ural thrust megazone (head of the Sylva River) and the eastern wing of the Yuryuzano-Sylva depression of the Pre-Ural trough. **Materials and methods.** The authors' materials collected during research works at GSA200/2 sheet O-40-XXIX (Shalinskaya Ploshchad), as well as those collected during the work under the Priority 2030 Federal Pro-

Для цитирования: Душин В.А., Сустанов С.Г., Прокопчук Д.И., Волчек Е.Н. (2023) Алмазоносные флюидолиты области сочленения Восточно-Европейской платформы и Уральской складчатой области. *Литосфера*, **23**(4), 637–653. <https://doi.org/10.24930/1681-9004-2023-23-4-637-653>

For citation: Dushin V.A., Sustavov S.G., Prokopchuk D.I., Volchek E.N. (2023) Diamond-bearing fluidolites in the junction area of East European Platform and Urals fold region. *Lithosphere (Russia)*, **23**(4), 637–653. (In Russ.) <https://doi.org/10.24930/1681-9004-2023-23-4-637-653>

© В.А. Душин, С.Г. Сустанов, Д.И. Прокопчук, Е.Н. Волчек, 2023

gram, were used. Data on the geology, petrochemistry, petrography, structural and tectonic position of clastogenic rock associations in the area of influence of the Main West Ural thrust were employed. Experimental data were obtained using a TESCAN VEGA LMS electron microscope equipped with an Xplore 30 energy dispersive X-ray spectroscopic prefix, and an URS-55 X-ray unit (Ural State Mining University), as well as CPM-35 and Shimadzu EDX-8000 spectrometers and an XRD-7000 diffractometer (Geoanalitik Centre, Zavaritsky Institute of Geology and Geochemistry of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences). *Results.* For the first time, the mineralogical-petrographic and chemical compositions of diamond-bearing rocks of the Sylva fluidogenic complex were established. Diamonds and minerals contained in the studied rocks were determined by XRD (sanidine, analcime, etc.). The conducted analysis of the rocks suggests their possible fluid-magmatic genesis, which is indicated by mineralogical features, including accessory minerals-indicators of diamond content, the presence of ellipsoid and teardrop-shaped volcanic glass, finely-dispersed bulk and poorly-rolled unsorted fragments of igneous and sedimentary rocks. *Conclusions.* The results obtained indicate the possibility of manifestation of Early Mesozoic phreatic volcanism in the studied area, which led to the transfer of the Sylva diamond complex and accessory minerals by fluidolites.

Keywords: Lower Perm, tufobreccia, fluidolites, diamond, microspherules, diamondiferous, Yuryuzano-Sylva depression, Main West Ural thrust, Sylva complex

Funding information

The research was partially supported by the topic No. AAAA-A19-119072990020-6 of the state assignment of the Zavaritsky Institute of Geology and Geochemistry of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences

ВВЕДЕНИЕ

Россия занимает одно из ведущих мест в мире по запасам и добыче алмазов, а Урал является колыбелью алмазной отрасли, так как именно здесь в Адольфовом логу на Крестовоздвиженском золотороссыпном прииске была установлена и документально зафиксирована первая находка этого минерала в 1829 г. (Малахов, 1993). Вероятно, с этой даты перед геологами встала проблема поисков его коренных источников. Это весьма актуально и в наши дни в связи с тем, что большинство исследователей относят уральские объекты к россыпному типу, первоисточниками сырья в которых предполагают удаленные, пока еще проблематичные кимберлиты-лампроиты Русской платформы, либо промежуточные коллекторы, представленные грубоэригированными осадками основания федоровской (RF₃), колчимской (S₁) и такатинской (D₂) свит (Лукьянова и др., 2011). Не исключается и дискутируется вклад щелочно-базит-ультрабазитового магматизма Урала. К последнему можно отнести проблематичные кимберлиты хартесского, лампроиты сертыньинского, шарьюского, шеинского, ахмеровского комплексов и перидотиты косвинского комплекса, содержащих единичные алмазы (Ишков, 1966; Гневушев, Шеманина, 1967). Отдельные геологи предполагали метаморфогенное, либо ударно-метаморфогенное происхождение алмазов (Рапопорт и др., 1998). Ранее было установлено, что алмазы из уральских россыпей весьма своеобразны и отличаются от кристаллосырья других провинций морфологией (округлые формы), повышенным средним весом, изотопным составом, высоким ювелирным качеством и т. д. Эти особенности наряду с поисками вероятных областей питания с учетом и тенденций переноса материала указывали на местный источник формирова-

ния известных месторождений Красновишерского района (Лукьянова и др., 2011). Полученные данные были дополнены материалами о присутствии в районе своеобразного фреатического вулканизма и особенностями глубинного строения Западно-Уральской надвиговой мегазоны.

В конце прошлого века появилась так называемая “туффизитовая” концепция обосновывающая местный источник алмазов. Она была предложена пермскими геологами В.Г. Остроумовым (1996) и А.Я. Рыбальченко (1996) и поддержана геологами ВСЕГЕИ, ВНИИОкеангеологии Л.И. Лукьяновой, В.В. Жуковым и Роснедра – А.Ф. Морозовым и др. для объектов Красновишерского узла (Лукьянова и др., 2011). Это послужило толчком к активному переосмыслению материалов предшествующих работ, в которых участвовали геологи “Пермьгеолдобыча”, АО “Уралалмаз”, ВСЕГЕИ, ПГТ СП “Геокарат”, ИГЕМ, ТОО “Прогноз Д”, УКГСЭ, ИГиМ (г. Миасс), ЦНИГРИ, ИГ Коми ФАН, СНИГЭ (УГТУ), ПГУ (г. Пермь) и др. (Гневушев, Шеманина, 1967; Малахов, 1993; Шурубор, 1999; Чайковский, 2001).

В настоящее время в Западно-Уральской минерагенической мегазоне, представляющей собой окраину сложнопостроенной палеорифтовой структуры, сформированной на гетерогенном архейско-раннепротерозойском основании (Золотов и др., 2006; Коротеев и др., 2020), выделяют следующие рудно-россыпные районы Вишерской алмазоносной провинции: Ныробский, Вишерский, Яйвинский, Нижнеусьвенский, Горнозаводской, Чусовской, Березовский, Велсовский, Койвинский и Бисертский. При этом только в Вишерском, Яйвинском, Горнозаводском районах установлены месторождения и рудопроявления алмазов (Лукьянова и др., 2011). По данным исследователей, алмазоносные туффизиты и ксенотуффизиты западного склона Урала выступают в качестве наиболее

важного местного коренного источника алмазов, имеют эруптивно-эксплозивную природу, отчасти претерпевшую коровые преобразования (Шурубор, 1999). Как показали горные работы, наряду с пластообразными формами данные породы образуют трубчатые и дайково-жильные тела, что и позволяло геологам считать их магматическими образованиями, близкими к трубкам взрыва.

Таким образом, судя по литературным источникам (Рапопорт и др., 1998; Лукьянова и др., 2011), включая и наши исследования (Душин и др., 2014), вопросы происхождения первоисточников алмазов остаются до настоящего времени дискуссионными. Находка нами алмаза в своеобразных кластогенных экструзивных породах (флюидолитах), прорывающих ниже-пермские отложения, позволяет уточнить понимание проблемы первоисточников алмазов (Душин и др., 2022).

МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЙ

Работа посвящена краткому описанию геологического положения и характеристике экструзивного тела сылвенского комплекса как возможного источника обнаруженного алмаза. Работы проводились в рамках геологического доизучения листа О-40-XXIX (Шалинская площадь) масштаба 1 : 200 000 (ГДП-200/2) и программы “Приоритет 2030 ФГБОУ ВО УГГУ на 2021–2030 гг.” Исследования включали широкий круг задач от изучения литологии, петрографии, петрохимии пород до выяснения их геохимического, минералогического составов, а также геологического строения, тектонических и геоморфологических особенностей территории.

Изучение морфологии, внутреннего строения, химического состава как алмаза, так и вмещающих породных комплексов осуществлено в лабораториях ФГБОУ ВО УГГУ (г. Екатеринбург). 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 $U = 20$ кВ, $I = 3$ нА (аналитик И.А. Власов, ФГБОУ ВО УГГУ). Рентгенографическое исследование выполнено методом монокристалла на установке УРС-55 в камере РКД, излучение $Fe_{\alpha+\beta}$, $U = 40$ кВ, $I = 10$ мА (аналитик С.Г. Суставов, ФГБОУ ВО УГГУ) и с помощью рентгеновского дифрактометра XRD 7000 (Shimadzu) в области углов Θ от 3 до 70°, режим работы трубки 40 кВ, 30 мА, рентгенофлуоресцентный энергодисперсионный метод на спектрометрах CPM-35 и EDX-8000 (Shimadzu) в лаборатории Института геологии и геохимии УрО РАН (г. Екатеринбург). Петрографические работы проведены на микроскопах DM2700P, S9i, M205C фирмы Leica.

ОБЪЕКТ ИССЛЕДОВАНИЯ

Геология района (истоки р. Сылва) развития выявленных нами при ГДП-200/2 эндогенных флюидолитов определяется расположением ее в зоне сочленения Юрюзано-Сылвенской депрессии Предуральского прогиба с западными фрагментами Язьвинско-Чусовской складчатонадвиговой зоны Западно-Уральской структурно-формационной мегазоны. Наиболее древними породами, слагающими Западно-Уральский сегмент, являются песчано-алевролит-карбонатные осадки уткинской свиты верхнего карбона, принадлежащие к глинисто-известково-доломитовой формации, которые локализованы в субпараллельных тектонических пластинах шириной 2–5 км (рис. 1). Отложения Предуральской мегазоны в Юрюзано-Сылвенской депрессии сложены терригенными комплексами, чигишанской ($P_{1\check{c}g}$), 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. Обращает также на себя внимание проявление мезозойской линейной коры выветривания и аргиллизитовых зон по отдельным швам Главного Западно-Уральского надвига (ГЗУН) (Душин и др., 2022).

В районе высоты 404.5 м, в донной части карьера размером 40 × 120 м, нами закартирован флюидогенно-эксплозивный сылвенский комплекс ($\alpha\beta T-J?s!$), прорывающий нижепермские терригенные образования капысовской свиты (P_{1kp}) в пределах восточного крыла Юрюзано-Сылвенской депрессии в зоне влияния ГЗУН. Он локализован в узле пересечения Верхнебисертского и Сылвенского разломов (сателлиты ГЗУН) и их оперяющих трещин, активизированных в мезозое. Тело наиболее массивных флюидолитов (экструзивная фация) мощностью 0.4–0.8 м сложной “крабообразной” морфологии прослежено по простиранию на 30 м, в виде отдельных щупальцеподобных сегментов, мощностью до 0.1 м. Оно импрегнирует мелко-грубообломочный конгломерато-гравелитопесчанистый вмещающий комплекс пород капысовской свиты по субширотной зоне трещиноватости, образуя плосковершинный останец размером 120 × 70 м и высотой до 5 м, возможно представляющий собой экструзивное тело (рис. 2).

Порода имеет зеленовато-серую окраску, массивную до брекчиевой текстуру с неровным изломом. В шлифах микроструктура неравномернозернистая, текстура обломочная, брекчиевая, наблюдаются редкие порфировидные выделения. Минеральный состав: изотропные обломки анальцита, реже вулканического стекла с просечками и редкими

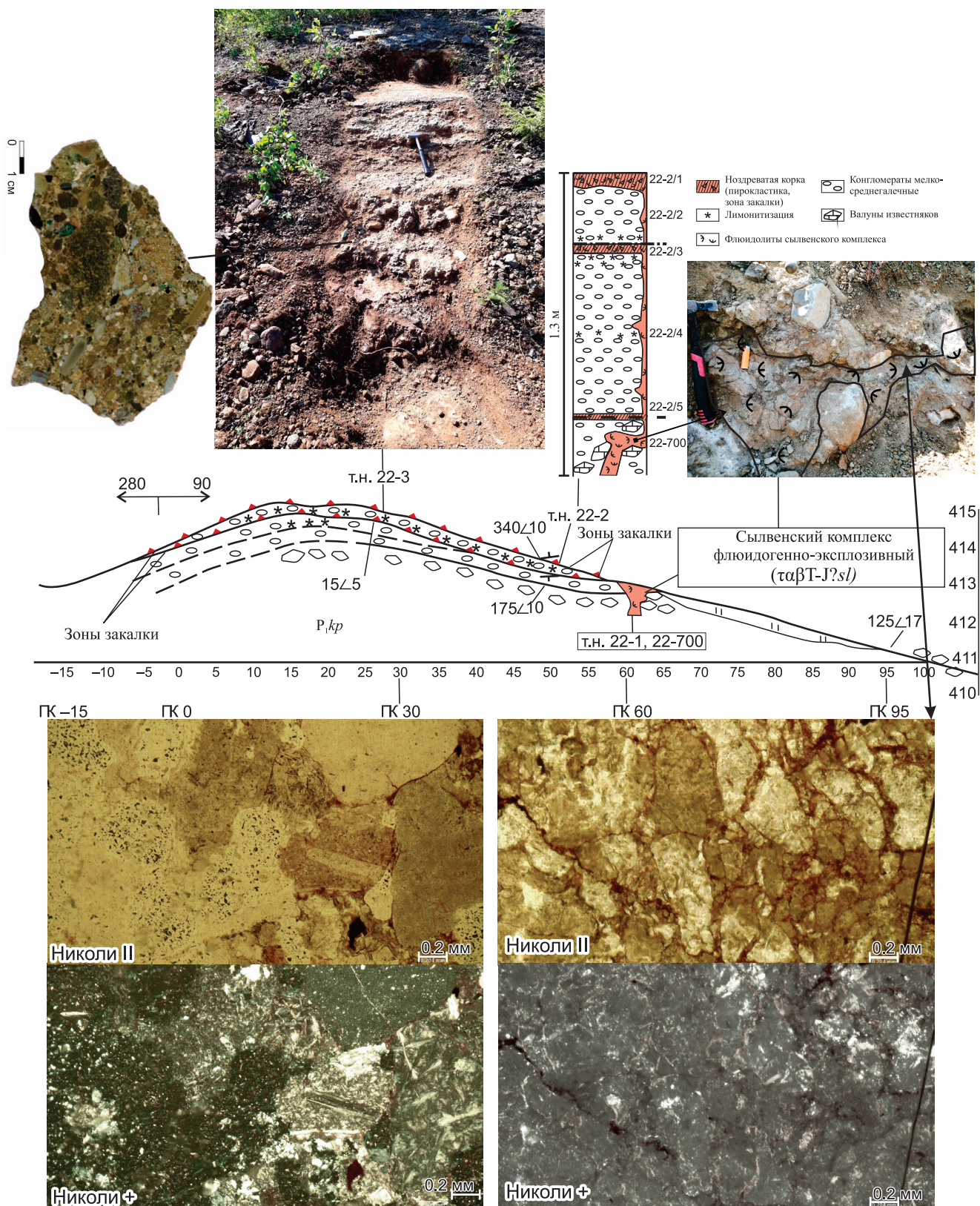


Рис. 2. Внешний вид, геологическое строение, петрографическая характеристика и петрохимический состав сылвенского комплекса (таβT-J?sl).

Fig. 2. External view, geological structure, petrographic characteristics and petrochemical composition of the Sylven complex (таβT-J?sl).

прожилками кварц-карбонатного, карбонатного и хлоритового состава.

Рентгеновая диагностика порошковой пробы (рентгенофазовый анализ) показала наличие анальцита 27%, около 62% низкого санидина, доли процентов стекла, гидрослюды (вермикулит), присутствие гетита. Акцессорные минералы (по данным минералогического анализа) – магнетит, лейкоксен, рутил, апатит, лимонит, циркон. Кроме того, в протолочке обнаружены биотит, хлорит, амфибол, карбонат, плагиоклаз.

При электронномикроскопическом изучении и определении состава минералов с помощью энергодисперсионной приставки в флюидолите были выявлены и идентифицированы следующие минералы: калиевый полевой шпат (санидин) с переменным вхождением в него натриевого, иногда бариевого миналов, анальцит, амфибол, титанит, апатит, рутил.

Калиевый полевой шпат составляет основную матрицу породы. Состав его не является постоянным и содержит переменное количество альбитового и гиалофанового миналов (табл. 1).

Постоянные изоморфные примеси в составе калиевого полевого шпата представлены Na_2O , содержание которого варьирует от 0 до 4.5 мас. %, Fe_2O_3 – 0–0.97 мас. %. В единичном случае была выявлена изоморфная примесь BaO – 0.65 мас. %. В виде механической примеси встречен MgO – 0.93 мас. %. Особенность состава калиевых полевых шпатов данного типа пород заключается в непрерывном изменении некоторых компонентов в пре-

делах отдельных, небольших участков. В шлифах он окрашен в буровато-серые цвета из-за пелитизации, двупреломление колеблется от 0.006 до 0.007 Ng-Np , Ng – 1.530–1.531; Np – 1.524–1.527; обломки неправильной формы, часто в ассоциации с альбитом (Np – 1.528; Ng – 1.534; отмечены реликты двойников, представленные альбит-олигоклазом Ng – 1.543–1.546; Np – 1.535–1.537).

Анальцит образует в породе на первом участке в одних случаях линзовидные образования с утолщением по краям, в других – небольшие овальные обособления. На втором участке он представлен брекчированным агрегатом обломков остроугольной формы, сцементированных калиевым полевым шпатом. Размер первых колеблется от 0.05 до 0.18 мм в длину и от 0.003 до 0.02 мм по мощности, вторых – 0.01–0.03 мм по удлинению и 0.008–0.013 мм в поперечнике. На втором участке размер обломков составляет 0.04–0.19 мм в поперечнике.

Изучение химического состава анальцита показывает, что иногда состав его довольно прост и содержит только видообразующие элементы, но местами состав осложнен изоморфными примесями щелочных и щелочноземельных элементов (табл. 2).

В виде изоморфной примеси в составе анальцита присутствуют оксиды следующих элементов (мас. %): K_2O – 0.86–3.00, CaO – 1.75–1.88, MgO – 0.40–0.98, в виде механической примеси: TiO_2 – 0.20–0.41, FeO – 1.66–2.95, в одном случае встре-

Таблица 1. Химический состав калиевого полевого шпата (мас. %)

Table 1. Chemical composition of potassium feldspar (wt %)

Оксиды	730	731	732	733	756	757
Na_2O	3.62	2.43	4.5	2.93	1.14	–
K_2O	11.08	13.07	10.03	12.29	14.75	16.58
BaO	–	–	–	–	–	0.65
Al_2O_3	19.11	19.28	19.26	19.18	18.81	19.00
Fe_2O_3	0.97	0.45	0.91	0.93	0.66	–
SiO_2	65.22	64.77	65.3	64.67	64.64	63.77
Сумма	100	100	100	100	100	100
$(\text{K}_{0.64}\text{Na}_{0.32})_{0.96}[\text{Al}_{1.02}\text{Fe}_{0.03}\text{Si}_{2.97}\text{O}_8]$ $(\text{K}_{0.76}\text{Na}_{0.22})_{0.98}[\text{Al}_{1.04}\text{Fe}_{0.02}\text{Si}_{2.96}\text{O}_8]$ $(\text{K}_{0.58}\text{Na}_{0.40})_{0.98}[\text{Al}_{1.03}\text{Fe}_{0.03}\text{Si}_{2.96}\text{O}_8]$ $(\text{K}_{0.72}\text{Na}_{0.26})_{0.98}[\text{Al}_{1.03}\text{Fe}_{0.03}\text{Si}_{2.96}\text{O}_8]$ $(\text{K}_{0.87}\text{Na}_{0.10})_{0.97}[\text{Al}_{1.02}\text{Fe}_{0.02}\text{Si}_{2.98}\text{O}_8]$ $(\text{K}_{0.98}\text{Ba}_{0.01})_{0.99}[\text{Al}_{1.04}\text{Si}_{2.97}\text{O}_8]$						

Примечание. Прочерк – содержание элемента ниже чувствительности прибора.

Note. Dash – the content of the element is below the sensitivity of the device.

Таблица 2. Химический состав анальцита (мас. %)

Table 2. Chemical composition of analcime (wt %)

Оксиды	734	735	736	737	758	759
Na_2O	8.45	8.05	8.50	12.07	12.06	12.33
K_2O	3.00	1.95	0.86	–	–	–
CaO	1.80	1.88	1.75	–	–	–
MgO	0.40	0.98	0.50	–	–	–
Al_2O_3	21.83	23.46	23.89	21.69	22.19	22.26
SiO_2	56.34	55.43	56.2	57.94	57.45	57.11
H_2O	8.18	8.25	8.30	8.30	8.30	8.30
Сумма	100	100	100	100	100	100
$(\text{Na}_{0.60}\text{K}_{0.14}\text{Ca}_{0.07}\text{Mg}_{0.02})_{0.83}[\text{Al}_{0.94}\text{Si}_{2.06}\text{O}_6] \cdot \text{H}_2\text{O}$ $(\text{Na}_{0.57}\text{K}_{0.09}\text{Ca}_{0.07}\text{Mg}_{0.05})_{0.77}[\text{Al}_{1.01}\text{Si}_{2.02}\text{O}_6] \cdot \text{H}_2\text{O}$ $(\text{Na}_{0.60}\text{K}_{0.04}\text{Ca}_{0.07}\text{Mg}_{0.03})_{0.74}[\text{Al}_{1.02}\text{Si}_{2.03}\text{O}_6] \cdot \text{H}_2\text{O}$ $\text{Na}_{0.85}[\text{Al}_{0.92}\text{Si}_{2.09}\text{O}_6] \cdot \text{H}_2\text{O}$ $\text{Na}_{0.85}[\text{Al}_{0.95}\text{Si}_{2.08}\text{O}_6] \cdot \text{H}_2\text{O}$ $\text{Na}_{0.87}[\text{Al}_{0.95}\text{Si}_{2.07}\text{O}_6] \cdot \text{H}_2\text{O}$						

Примечание. Прочерк – содержание элемента ниже чувствительности прибора. Вода в эмпирической формуле определена по стехиометрии.

Note. Dash – the content of the element is below the sensitivity of the device. Water in the empirical formula is determined by stoichiometry.

чен $\text{WO}_3 - 1.22$. При расчете эмпирических формул минерала установлен дефицит катионов, который может составлять 36% от формульной единицы (ф.е.). Содержание алюминия и кремния в радикале также испытывает существенные колебания: $0.92-1.02$ ф.е. (Al) и $2.02-2.09$ ф.е. (Si). При этом соотношение между ними, как правило, выше стехиометрии, но при этом баланс валентностей при расчете сохраняется. Анальцит (в шлифе) слабо окрашенный в зеленовато-бурый цвет, изотропный, с отчетливой шагреновой поверхностью, образует сравнительно крупные зерна неправильной формы размером $0.1-0.3$ мм. Показатели преломления ниже канадского балзама.

Амфибол в составе флюидолита встречается эпизодически, в виде призматических зерен размером $0.009-0.045$ мм в длину и $0.004-0.009$ мм в поперечнике. Он имеет следующий химический состав (мас. %): $\text{K}_2\text{O} - 1.39-1.70$, $\text{CaO} - 0.91-1.92$, $\text{MgO} - 11.31-12.74$, $\text{MnO} - 1.25-1.55$, $\text{FeO} - 16.45-16.50$, $\text{Fe}_2\text{O}_3 - 9.50-9.99$, $\text{Al}_2\text{O}_3 - 18.96-19.45$, $\text{SiO}_2 - 37.56-37.77$, $\text{TiO}_2 - 0-1.05$, $\Sigma - 100.00$. При пересчете его на эмпирическую формулу на 23 атома кислорода имеем $(\text{K}_{0.32}\text{Ca}_{0.30})_{0.62}(\text{Mg}_{2.48}\text{Fe}_{2.03}\text{Mn}_{0.19})_{4.70}(\text{Fe}_{1.05}\text{Al}_{0.95})_{2.00}[\text{Al}_{2.34}\text{Ti}_{0.12}\text{Si}_{5.54}\text{O}_{22}](\text{OH})_2$. Необычность состава заключается в том, что минерал недосыщен кремнеземом и пересыщен глиноземом, имеет относительно высокое количество калия и совсем не содержит натрия. Амфибол отвечает феррижедриту – промежуточному члену ряда жедрит-феррижедрит, обогащенному трехвалентным железом, калием, кальцием и титаном.

Титанит встречается в виде относительно крупного отдельного обломка караваеобразной формы с прямоугольным выступом с размерами основного зерна 0.45×0.19 мм и выступа $- 0.21 \times 0.11$ мм. Обломок содержит трещины спайности и включения более мелких зерен апатита, похож на фрагмент кристалла. Состав его в двух точках следующий (мас. %): $\text{CaO} - 19.35-21.93$, $\text{MgO} - 2.14-3.43$, $\text{MnO} - 0.30-0.41$, $\text{Fe}_2\text{O}_3 - 8.57-10.97$, $\text{Al}_2\text{O}_3 - 9.26-9.47$, $\text{V}_2\text{O}_5 - 1.08-1.25$, $\text{SiO}_2 - 33.48-33.97$, $\text{TiO}_2 - 21.15-23.23$, $\Sigma - 100.00$. Анализ состава титанита показывает присутствие в нем элементов ему не характерных – магния и ванадия, отмечаемых в виде примесей при концентрации 0.0% . В нашем случае содержание в десять раз выше – первые проценты. Обращает на себя внимание резкое колебание содержаний оксидов таких элементов как CaO, Fe_2O_3 , TiO_2 , и более плавные для Al_2O_3 и SiO_2 . Расчет эмпирической формулы минерала дает следующий вид $(\text{Ca}_{0.75}\text{Mg}_{0.10}\text{Mn}_{0.01})_{0.86}(\text{Ti}_{0.56}\text{Al}_{0.35}\text{Fe}_{0.21}\text{V}_{0.03})_{1.15}[\text{Si}_{1.07}\text{O}_4]\text{O}$ и указывает на нестехиометрию в составе. Отмеченные избыток кремния, недостаток кальция и титана, а также высокие содержания примесей алюминия и железа это свидетельствуют о неравновесных условиях образования титанита (Дир и др., 1965).

Апатит в породе приурочен к выделению титанита, а также встречается в виде мелких зерен в ассоциации с калий-натровым полевым шпатом и анальцитом. Форма выделений удлиненная, клиновидная, караваеобразная, реже изометричная, размеры по удлинению составляют $0.015-0.152$ мм, поперек $7.5-60.0$ мкм. При изучении химического состава апатита было установлено присутствие в нем в качестве основных элементов кальция, фосфора, фтора и хлора, в отдельных случаях отмечаются изоморфные примеси железа, марганца и натрия и механическая примесь анальцита (табл. 3). Состав апатита однозначно указывает на его образование из магматического расплава. Такое соотношение между фтором и хлором в апатите характерно для магматических пород, образующихся из остаточного расплава (Дир и др., 1965).

Рутил в основной ткани породы был встречен в виде единичного выделения овальной формы, с размерами 0.025 мм по удлинению и 0.012 в поперечнике.

В его составе выявлены следующие элементы (мас. %): $\text{K}_2\text{O} - 0.15$, $\text{CaO} - 0.32$, $\text{MgO} - 1.43$, $\text{FeO} - 2.13$, $\text{Al}_2\text{O}_3 - 1.33$, $\text{TiO}_2 - 90.64$, $\text{ZrO}_2 - 1.04$, $\text{SiO}_2 - 2.96$, $\Sigma - 100$. Данные по составу рутила из вулканических пород в опубликованной литературе практически отсутствуют.

Полученные результаты показывают присутствие в рутиле элементов-примесей, характеризующих два различных парагенезиса: магний, кальций типичны для основных и отчасти ультраосновных пород, в то время как калий, натрий, алюминий и цирконий присущи щелочным породам. Учитывая микронные размеры кристаллов рутила, следует большинство элементов-примесей отнести к механическим, обилие элементов в породе связа-

Таблица 3. Химический состав апатита (мас. %)

Table 3. Chemical composition of apatite (wt %)

Оксиды	751	752	753	754
Na_2O	0.31	—	—	—
MnO	0.27	—	—	—
FeO	0.26	0.35	—	—
CaO	53.38	54.08	54.87	54.47
Al_2O_3	0.66	—	—	—
SiO_2	1.37	—	—	—
P_2O_5	40.59	41.81	41.39	42.03
F	2.51	3.26	3.33	3.02
Cl	0.54	0.5	0.41	0.48
Сумма	99.89	100	100	100

Примечание. Прочерк – содержание элемента ниже уровня чувствительности прибора.

Note. Dash – the content of the element is below the sensitivity level of the device.

но с высокими температурами образования, неравновесными условиями, слабой индивидуализацией отдельных минеральных фаз.

Карбонат образует в породе отдельные плохо индивидуализируемые зерна брусковидной или изометричной формы, размер их не превышает 0.08×0.02 мм. На разных участках карбонат имеет различный состав. В одном случае это магнезиальный кальцит с содержанием $MgO - 0.39-0.61(3)$ мас. %, в другом – марганцовистый $MnO - 0.25-3.06(5)$ с примесью $FeO - 0.30-1.33(3)$ мас. %. Один из анализов на втором участке, наряду с максимальными содержаниями железа и марганца, содержит $MgO - 0.59$ мас. %. Помимо этого, в породе местами встречаются отдельные обособления кварца (глобули), имеющие изометричную или слегка удлиненную форму, размер этих выделений не превышает 0.1 мм.

В единичных случаях присутствует кварц, состав которого бывает близким к идеальному, но в большинстве содержит примеси различных элементов, природу которых установить не всегда представляется возможным. Наиболее высокая чистота кварца составляет 99.68 мас. % и $SiO_2 - 0.32$ мас. % приходится на механическую примесь кальцита. Местами в нем встречается только примесь Al_2O_3 или суммы K_2O , Cr_2O_3 , FeO в количествах 0.69 и 0.78 мас. %.

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.

Для более полной характеристики комплекса следует сказать несколько слов о его взрывчатой фации, которая представлена пирокластической массой, пронизывающей вмещающие гравелитоконгломераты, участвующие, по-видимому, в едином взрывчатом процессе. Мощности отдельных прослоев 0.5–1.2 м. Они залегают плащеобразно (аз. пд. $340^\circ \angle 10^\circ, 15^\circ, 5^\circ$) и обнажаются к северу от субширотного линейного центра эрупции, сложенного собственно брекчиевыми флюидолитами, описанными выше.

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

В шлифах наблюдается неравнозернистая, среднезернистая микроструктура и текстура от массивной до брекчиевой. В породах отсутствует сортировка по размеру, и ксенолиты харак-

теризуются 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 от альбита до андезина (25–30%), изометричными включениями кварца (20%), чешуйками гастингсита (10%), паргасита (5–7%), $Mg-Fe$ слюды флогопита (10%), мусковита (5–7%), а также изотропным вулканическим стеклом каплевидной и эллипсоидальной формы (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 наблюдается распад и дробление обломков и зерен с проникновением в них цемента. Химический состав последнего (табл. 4) 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 анальцита, а также значительного количества монтмориллонита. Подобная характеристика экструзивной и взрывчатой фации позволяет более или менее достоверно идентифицировать породу с учетом обломочной (брекчиевой) текстуры, как брекчию флюидолитов, аналогичную во многом породам Вишерского района (см. табл. 4).

Порода характеризуется повышенным содержанием глинозема и щелочей, особенно калия, а в взрывчатой фации (цемент) заметную роль играют относительно высокие содержания кремнезема (61–65 мас. %) при относительно стабильной концентрации железа (4–6 мас. %) и титана (0.5–0.7 мас. %), тогда как сумма остается примерно на одном уровне, но уже с $K-Na$ спецификой (см. табл. 4).

По химическому составу, согласно TAS диаграмме, порода вероятнее всего соответствует трахиандеизобазальтам (рис. 3). Минералогический состав ее, в основном, анальцим-калишпатовый (низкий санидин), содержащий стекло, биотит-вермикулит и амфибол, позволяет соотнести ее с анальцимовыми шошонитами, возможно санидиновыми анальцимитами (см. табл. 4), перекликаясь с составами шошонитов Западно-Сибирской плиты (Медведев и др., 2003).

Таблица 4. Содержание петрогенных оксидов (мас. %) в туфизитах Вишерского района (1–3) и в флюидолитах верховья р. Сылва (4–6) (Душин и др., 2022)

Table 4. The content of petrogenic oxides (wt %) in tuffizites of Vishersky district (1–3) and in fluidolites of the upper Sylva River (4–6) (Dushin et al., 2022)

Оксиды	Участки*			Верховья р. Сылва*		
	Волынка № 3	Южная Рассольная	Чурочная	18-50 цемент	18-205 цемент	22-700 порода
	1	2	3	4	5	6
SiO ₂	63.15	65.8	61.5	65.95	61.34	52.40
TiO ₂	0.82	0.70	0.73	0.552	0.693	0.74
Al ₂ O ₃	16.25	16.30	18.90	13.12	16.94	19.37
Fe ₂ O ₃ общ	4.21	4.80	5.10	4.28	6.12	6.24
FeO	0.1	2.0	0.56	—	—	—
MnO	0.0044	0.016	0.033	0.08	0.125	0.177
MgO	1.65	2.2	1.5	1.65	1.81	2.63
CaO	1.54	0.38	0.58	3.25	1.19	2.41
Na ₂ O	0.04	1.1	1.2	3.36	3.94	2.92
K ₂ O	4.15	2.1	3.3	3.12	2.97	4.15
P ₂ O ₅	0.05	0.072	0.28	0.238	0.498	0.219
П.п.п.	6.35	4.0	6.4	4.2	4.4	8.32
Сумма	100.3	99.5	100.1	100.9	100.06	100.09

*Рентгеноспектральный анализ выполнен в лабораториях ВСЕГЕИ (1–3) и ЦКП “Геоаналитик” УрО РАН (4–6).

*X-ray spectral analysis was performed in the laboratories of VSEGEI (1–3) and the Central Research Center “Geoanalytic” of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences (4–6).

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

Согласно дискриминационным диаграммам магматиты соответствуют образованиям, сформированным при континентальном рифтогенезе либо в условиях надспрединговых островов (см. рис. 3) и близки шошонит-латитам скважины Бахилловская-123 Уренгойского грабен-рифта.

Геохимические особенности (табл. 5) проявляются в повышенных содержаниях (Кк): лития, бериллия, скандия, бария, стронция, мышьяка, урана, серебра, церия, а остальные элементы находятся на нижекларковых значениях.

Анализ содержания 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 (см. рис. 3). При этом концентрации РЗЭ в целом соответствуют составам кимберлитов-лампроитов, при некотором возрастании тяжелых лантаноидов (Лукьянова и др., 2011). Изучение проб-протолок показало наличие в них следующих акцессорных минералов: магнетита, апатита, титанита, лейкоксена, циркона, эпидота, пирита, рутила, гематита. В единичных пробах встречается золото, молибденит, ильменит, монацит, алмаз, корунд, вулканическое стекло, серпентин, муассанит, магнитные и стеклянные сферулы, хромшпинелиды. Определение акцессорных мине-

ралов из протолок было произведено оптически методами, а монокристалл алмаза диагностирован с привлечением рентгеноструктурного анализа. Для последнего был рассчитан дифракционный спектр, в котором присутствуют следующие Ка линии: 2.05 (10)–1.263 (7)–1.077 (10), что однозначно идентифицирует его как алмаз (Душин и др., 2022).

Это плоскогранный кристалл (см. рис. 1) размером около 0.4 мм в поперечнике. Ограничение его составляют две простые формы: октаэдр “о” {111} и куб “а” {100}. Ребра простых форм на кристалле равны, а площадь граней октаэдра в ограничении кристалла в 4 раза больше, площади граней куба, поэтому грани октаэдра доминируют в ограничении 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 гексоктаэдра “s” {321}. Остальные ребра на кристалле острые, что указывает на незначительное перемещение кристалла от места образования.

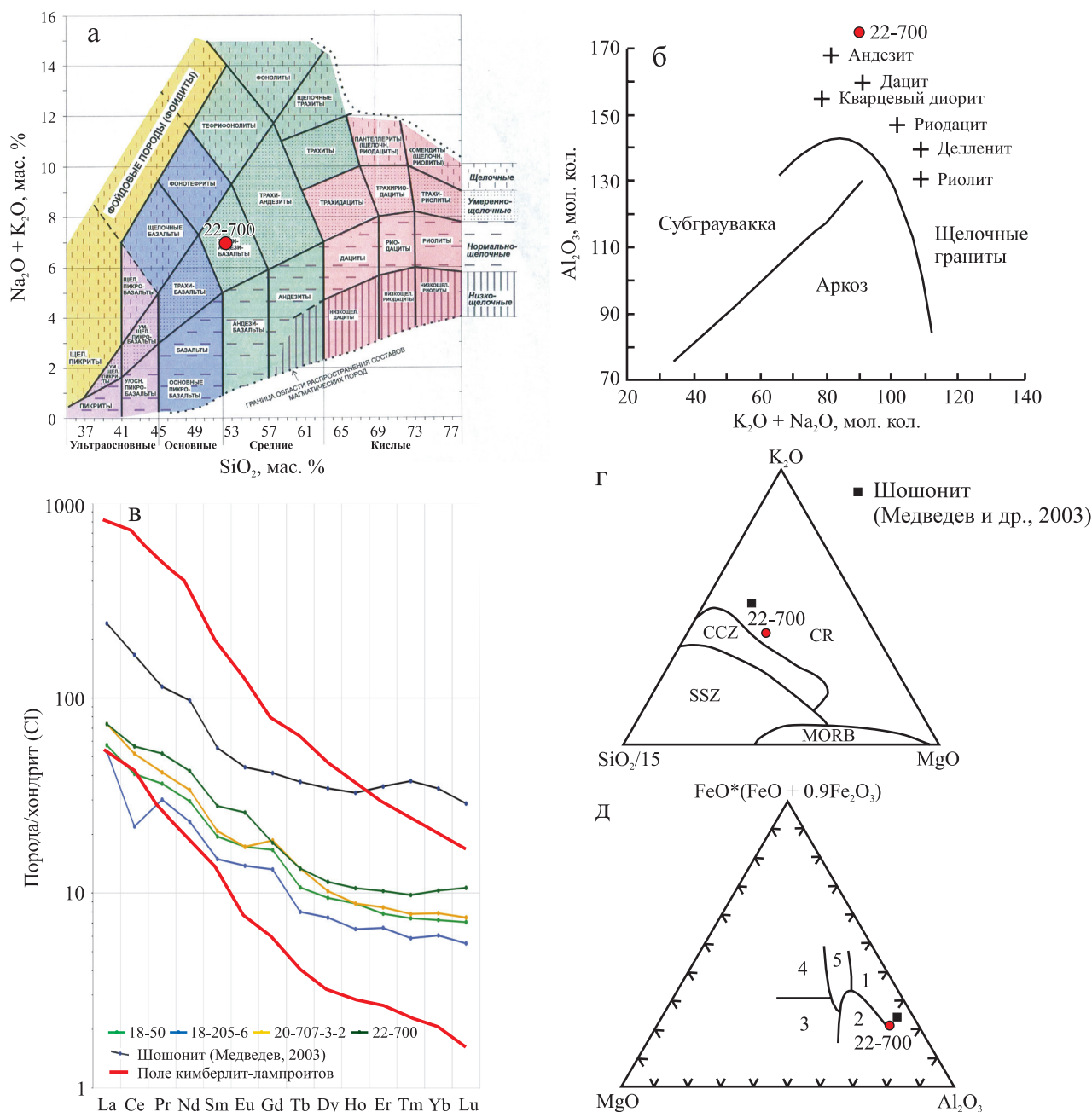


Рис. 3. Классификационные диаграммы пород сылвенского комплекса.

а – TAS-диаграмма; б – диаграмма Al_2O_3 –($\text{K}_2\text{O} + \text{Na}_2\text{O}$) (мол. кол.) для отличия обычных субграувакк и аркозов от средних и кислых магматитов; в – хондрит-нормализованные спектры РЗЭ для пород сылвенского комплекса; г – тройная дискриминационная диаграмма для вулканитов с использованием K_2O , SiO_2 , MgO , по (Демина, Симонов, 1999). Поля составов вулканитов: CR – континентальных рифтов, CCZ – областей межконтинентальной коллизии, MORB – срединно-океанических хребтов, SSZ – зон субдукции; д – тройная дискриминационная диаграмма для пород базальтового и андезитового состава MgO – FeO – Al_2O_3 , по (Pearce et al., 1977). Поля составов базальтов: 1 – надспрединговых островов, 2 – островных дуг, 3 – срединно-океанических хребтов, 4 – океанических островов, 5 – континентальных.

Fig. 3. Classification diagrams of the rocks of the Sylven complex.

а – TAS diagram; б – Al_2O_3 – $\text{K}_2\text{O} + \text{Na}_2\text{O}$ diagram (mol. count) to distinguish ordinary subgrauvaccae and arcose from medium and acidic magmatites; в – chondrite-normalized REE spectra for rocks of the Sylven complex; г – triple discrimination diagram for volcanites using K_2O , SiO_2 , MgO , by (Demina, Simonov, 1999). Volcanic composition fields: CR – continental rifts, CCZ – areas of intercontinental collision, MORB – mid-oceanic ridges, SSZ – subduction zones; д – triple discrimination diagram for rocks of basalt and andesite composition MgO – FeO – Al_2O_3 , by (Pearce et al., 1977). Fields of basalt compositions: 1 – overspread islands, 2 – island arcs, 3 – mid-oceanic ridges, 4 – oceanic islands, 5 – continental.

Таблица 5. Содержание элементов (г/т) в породах сылвенского комплекса*

Table 5. The content of elements (g/t) in the rocks of the Sylven complex*

Элемент/ Проба	22-700	18-50	18-205-6	20-707-3	Элемент/ Проба	22-700	18-50	18-205-6	20-707-3
	1	2	3	4		1	2	3	4
Li	40.0	2.4	2.6	3.0	Te	<0.01	0.02	0.01	0.04
Be	1.30	0.07	0.08	0.08	Cs	70.0	0.5	1.0	0.9
Sc	4.1	9.0	11.0	12.0	Ba	800.0	410.0	390.0	420.0
Ti	4000.0	2800.0	3400.0	3000.0	La	18.0	14.0	13.0	18.0
V	120.0	100.0	140.0	120.0	Ce	36.0	26.0	14.0	33.0
Cr	13.0	60.0	40.0	60.0	Pr	5.0	3.5	2.9	4.0
Mn	1100.0	400.0	600.0	600.0	Nd	20.0	14.0	11.0	16.0
Co	5.0	8.0	15.0	17.0	Sm	4.3	3.0	2.3	3.2
Ni	6.0	11.0	19.0	16.0	Eu	1.5	1.0	0.8	1.0
Cu	60.0	50.0	60.0	60.0	Gd	3.7	3.4	2.7	3.8
Zn	90.0	40.0	60.0	60.0	Tb	0.5	0.4	0.3	0.5
Ga	18.0	10.0	14.0	12.0	Dy	2.9	2.4	1.9	2.6
Ge	1.3	0.9	0.9	0.9	Ho	0.6	0.5	0.37	0.5
As	33.5	25.2	26.9	24.2	Er	1.7	1.3	1.1	1.4
Se	0.53	0.5	0.49	0.55	Tm	0.25	0.19	0.15	0.2
Rb	89.0	47.0	51.0	56.0	Yb	1.7	1.2	1.0	1.3
Sr	500.0	400.0	300.0	300.0	Lu	0.27	0.18	0.14	0.19
Y	15.0	14.0	13.0	16.0	Hf	3.0	1.5	1.7	1.5
Zr	140.0	81.0	100.0	87.0	Ta	0.27	0.16	0.18	0.17
Nb	6.0	4.0	5.3	5.0	W	0.7	0.3	0.4	0.4
Mo	1.0	0.4	0.6	0.7	Tl	0.08	0.03	0.04	0.04
Ag	0.24	0.15	0.18	0.17	Pb	4.0	2.3	8.0	6.0
Cd	0.3	0.03	0.03	0.06	Bi	0.06	0.02	0.04	0.03
Sn	1.1	0.7	0.8	0.8	Th	4.6	1.6	1.0	1.5
Sb	0.18	0.18	0.31	0.28	U	1.8	0.7	1.2	1.2

*ICP-MS анализ выполнен в лаборатории ЦКП “Геоаналитик” УрО РАН.

*ICP-MS analysis was performed in the laboratory of the Central Research Center “Geoanalytic” of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences.

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 (Гневусhev, Шеманина, 1967).

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

Изучение составов отдельных акцессорных минералов-спутников алмаза, таких как хромшпинелиды и ильменит, показало их близость как к аналогичным минералам из “туффизитов” Чикманского рудного узла, так и пикритам (пос. Теплая Го-

ра, р. Кусья) и включениям из анкармитов горы Благодать (Малахов, 1993; Лукьянова и др., 2011). Проанализированное зерно хромшпинелида содержит (%): Cr_2O_3 – 49.8, FeO – 25.8, Fe_2O_3 – 2.3, Al_2O_3 – 15.9, MgO – 5.6, V_2O_5 – 0.3 и TiO_2 – до 0.4 (среднее из 6 определений), а зерно ильменита содержит (%): FeO – 45.5, TiO_2 – 51.9, MnO – 2.6 (среднее по трем анализам), а в качестве незначительных примесей в последнем отмечаются кальций и кремнезем, что также сопоставимо с составами из “туффизитов”.

Таким образом, по своим петрографическим и петрохимическим параметрам алмазосодержащие породы сылвенского комплекса отвечают составам умереннощелочных вулканитов близким к анальцимовым шононитам, либо санидиновым анальцимитам, свойственным областям эпиplatformенных рифтов, проявившихся на Урале в раннем мезозое. Триас-юрский возраст принят на основании внедрения флюидолитов в нижнепермские отло-

жения с учетом находок аналцимсодержащей пирокластики в верхней перми и корелляции с мезозойским рифтогенезом Уралосибирского сегмента Евразии (Душин и др., 2014), а также проявлением Сибирского суперплюма (Добрецов, 1997).

ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

Анализ геологического строения районов развития алмазоносных флюидолитов свидетельствует о весьма сложном 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-Уральская структурно-формационная мегазона). Последняя реализована в виде пакетов субмеридиональных и северо-западных пластин, ограниченных тектоническими швами-сателлитами ГЗУН, сложенными верхнекарбовыми 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 ($d \approx 220$ км), осложняющей восточный край Восточно-Европейской платформы (рис. 4).

Следует заметить, что в пределах влияния швов ГЗУН, как в истоках р. Сылва, так и правых притоках р. Чусовой предыдущими исследователями были установлены проявления алмазов в рыхлых четвертичных отложениях (см. 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 ($BaTi_2O_5$) и железистым хромом, они рассматриваются в настоящее время как индикаторы своеобразных флюидонасыщенных магматических глубинных систем (Pearce et al., 1977; Рычагов и др., 1996; Сустанов и др., 2021), которые, вероятно, могут контролировать алмазоносные структуры. Как показали исследования в районах известных алмазоносных провинций мира, главным образом в Африке и Бразилии коренные месторождения связаны в основном с алмазоносными дайками, жилами, тогда как настоящие диатремы здесь весьма редки (Ваганов 2000; Лукьянова и др., 2011). Во всяком случае, подобная морфология продуктивных тел, как нашего района, так и в месторождениях Красновишерско-Пашийской груп-

пы хорошо укладывается в данную схему, и основной поисковый интерес будут, по-видимому, представлять межслоевые, либо дискордантные, пирокластические тела. При этом их раннемезозойский возраст, скорее всего, сопряжен с общеуральским корообразованием, в эмерсивную рифтогенную стадию развития территории и обусловлен рифтогенезом в краевой части Восточно-Европейской платформы.

Мезозойский рифтогенез, по мнению В.М. Нечехина с коллегами (2009), относится к резонансному типу на основании определенных связей с геодинамическими процессами растяжения в пределах основания Западно-Сибирской плиты, обусловленных влиянием Сибирского суперплюма. Этот процесс, в пределах Урала, достаточно надежно фиксируется щелочно-базит-ультрабазитовым (включая лампроиты, аналцимиты) магматизмом как на востоке (ахтыльский комплекс), так и на западе (чикманский, киргишанский комплексы) в Западно-Уральской зоне складчатости. В пределах последней перспективными по геофизическим критериям (Рапопорт и др., 1998; Чурсин и др., 1998) на обнаружение первоисточников алмазов являются две полосы, вытянутые в субмеридиональном направлении, от широты г. Красновишерска на севере до верховьев р. Уфы на юге (Лукьянова и др., 2011). 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. Последние представляют из себя вихреобразные и кольцевые морфоструктуры гравиметровых полей с преобладанием пониженных гравитационных и низких магнитных аномалий, размером от 6×6 до 21×30 км (Лукьянова и др., 2011). Восточная полоса расположена в западной зоне влияния Главного Уральского надвига, где интродуцируется несколькими малыми телами сертыньинского алмазосодержащего комплекса щелочно-ультраосновных лампроитов (Лукьянова и др., 2011). Западная полоса совпадает с областью влияния Западно-Уральского глубинного надвига и, по-видимому, контролирует размещение крупнейших россыпных объектов Красновишерского узла и проявления алмазоносных туффизитов и ксентуффизитов (полюдово-колчимский и др. 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 аналцим-ортоклазовых эссексит-тешенитов, вскрытых скважиной 2705 на глубине 500 м, которые также свидетельствуют о проявлении здесь щелочно-базитового магматизма

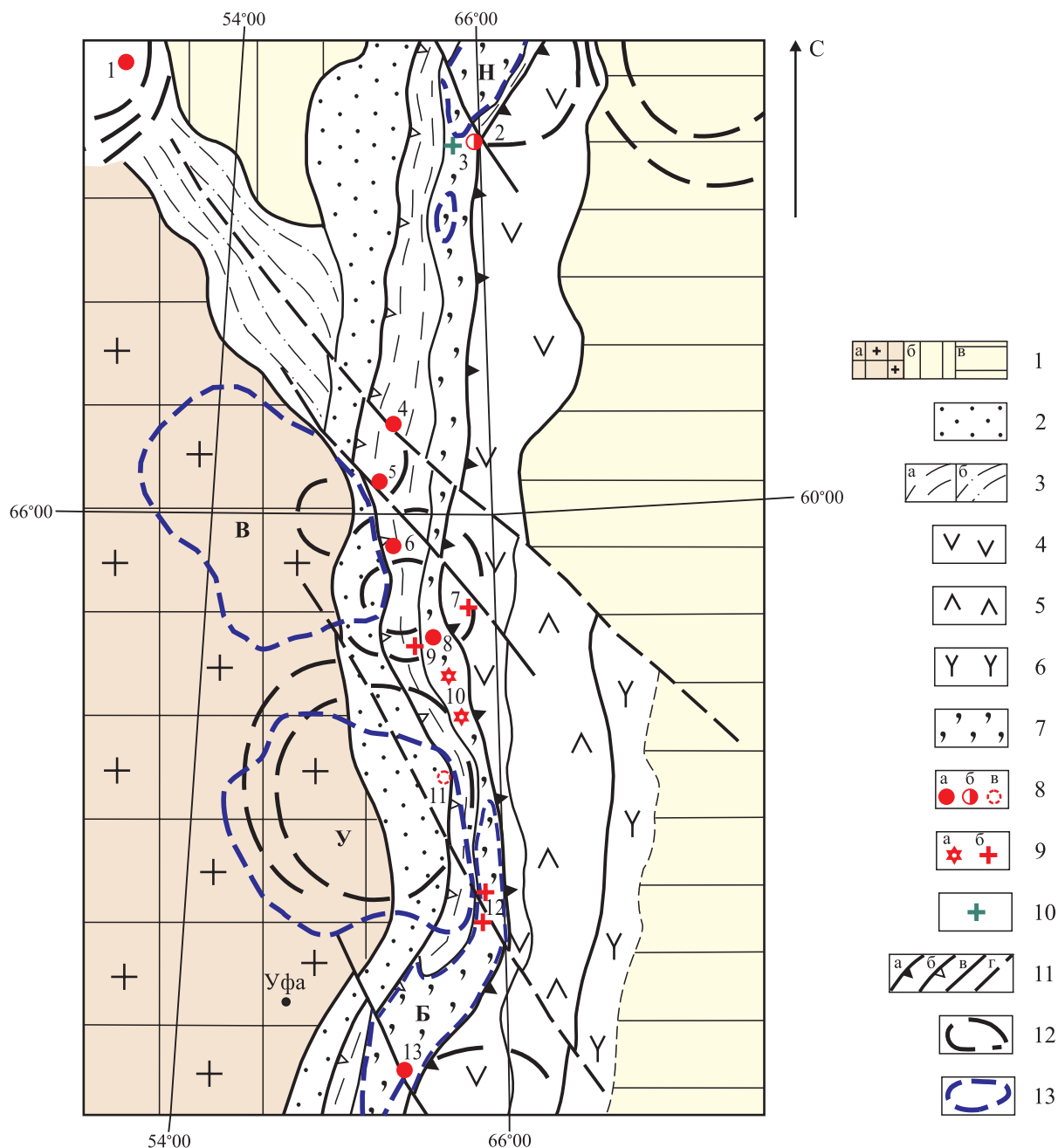


Рис. 4. Геолого-структурная схема размещения алмазоносных комплексов Урала.

1 – платформенные ассоциации чехла Восточно-Европейской (а), Печерской (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 ассоциации (океанические, островодужные, коллизионные) ассоциации Тагило-Магнитогорской мегазоны; 5 – полиформационные ассоциации Восточно-Уральской мегазоны с блоками пород фундамента (террейны); 6 – полиформационные вулканогенно-плутонические ассоциации Зауральской мегазоны (Денисовско-Валерьяновский пояс); 7 – нерасчлененные рифейско-вендские полиформационные ассоциации субплатформенно-платформенного чехла с блоками AR-PR фундамента; 8 – проявления (месторождения) алмазоносных (а) и слабоалмазоносных с единичными находками алмазов в кимберлит-лампроит-флюидолитовых (б), и флюидолитовых (туфизитовых) комплексах (в); 9 – находки алмазов в рыхлых отложениях (а), в породах не кимберлит-лампроитовой природы (б); 10 – комплексы не алмазоносных кимберлит-лампроитов; 11 – тектонические нарушения: Главный Уральский надвиг (а), Главный Западно-Уральский надвиг (б), прочие дизъюнктивы (в), трансрегиональные поперечные нарушения (г); 12 – главные морфоструктуры центрального типа; 13 – крупные блоки платформенного типа, включающие щелочно-ультраосновной магматизм (Б – Башкирский, В – Верхнекамский, Н – Нягтинский, У – Уфимский). Алмазодержащие районы, комплексы и проявления (цифры на схеме): 1 – Ичет-Ю, 2 – Хартес, 3 – Сертынья, 4 – Березовское, 5 – Красновишерские, 6 – Чикманский, 7 – Камекушинский, 8 – Верхнекойвинский, 9 – Кусьинский, 10 – Висимо-Уткинский, 11 – Сылвенский, 12 – Тараташский, 13 – Ахмеровский.

Fig. 4. Geological and structural scheme of placement of diamond-bearing complexes of the Urals.

1 – platform associations of the cover of the East European (a), Pechersk (б) and West Siberian plates (в); 2 – carbonate-terrigenous associations of the Pre-Ural marginal trough; 3 – undifferentiated polyformational associations of the West Ural folded megazone (a) and the Kaninsko-Timansky ridge (б); 4 – undifferentiated polyformational (oceanic, island-arc, collision) associations of the Tagilo-Magnitogorsk megazone; 5 – polyformational associations of the East Ural megazone with blocks of basement rocks (terrane); 6 – polyformational volcanogenic-plutonic associations of the Trans-Ural megazone (Denisovo-Valerian belt); 7 – undifferentiated Riphean-Vendian polyformational associations of a sub-platform-platform cover with AR-PR foundation blocks; 8 – manifestations (deposits) of diamond-bearing (a) and weakly diamond-bearing with single diamond finds in kimberlite-lamproite-fluidolite (б), fluidolite (tuffsite) complexes (в); 9 – diamond finds in loose sediments (a) and in rocks of non-kimberlite-lamproite nature (б); 10 – complexes of non-diamond-bearing kimberlite-lamproites; 11 – tectonic disturbances: the Main Ural thrust (a), the Main West Ural thrust (б), other disjunctiva (в), trans-regional transverse disturbances (г); 12 – the main morphostructures of the central type; 13 – large platform-type blocks, including alkaline-ultrabasic magmatism (Б – Bashkir, В – Verkhnekamsky, Н – Nyartinsky, У – Ufa). Diamond-bearing areas, complexes and manifestations (figures on the diagram): 1 – Ichet-Yu, 2 – Khartes, 3 – Sertynya, 4 – Berezovskoye, 5 – Krasnovishersky, 6 – Chikmansk, 7 – Kamekushinsky, 8 – Verkhnekoivinsky, 9 – Kusinsky, 10 – Visimo-Utkinsky, 11 – Sylvensky, 12 – Taratashsky, 13 – Akhmerovsky.

(киргизанский комплекс). Севернее в границах Чусовского алмазо-россыпного района известны россышпроявления 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. 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 Восточно-Европейской платформы (Юрюзано-Сылвенская депрессия) и Уральской складчатой области (Язьвенско-Чусовская складчато-надвиговая зона) в междуречьи рек Чусовая и Сытва можно выделить новый Сылвенский алмазно-рудно-россыпной потенциальный узел, контролируемый Западно-Уральской шовной зоной. Он выделяется на фоне высоких значений гравитационных полей, связанных, вероятно, с подъемом тяжелых масс гранулит-базитового слоя (Остроумов и др., 1996) и проявлением флюидно-эксплозивных процессов, реализованных в алмазосодержащих флюидолитах, месторождениях и проявлениях газа (Бухаровское) и минерализованных вод (Накоряковское, Лакташское). По-видимому, основные перспективы алмазности 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 как областью влияния сопрягающихся структур, контролируемых проявлениями флюидно-эксплозивных процессов, реализован-

ных в виде экструзий и субсогласных залежей продуктивных пирокластитов (флюидолитов), сопровождаемых в области контакта цепочкой аллохтонных органогенных построек, терригенных останков линейных горст-антиклиналей со значительными амплитудами сбросов, уверенно выделяемых геолого-геофизическими методами.

Как показали проведенные исследования ведущая роль в размещении алмазной минерализации флюидно-магматического (лампроитового) 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 постоянное размещение алмазоносных районов, узлов и единичных находок (см. рис. 4) к восточному обрамлению Восточно-Европейской платформы, включая и ее отторженцы (террейны) 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” (Шарпенюк и др., 2018). Не менее важным является наличие в фундаменте докембрийских, в том числе архейско-раннепротерозойских раздробленных блоков, сложенных гнейсами, эклогитами, эндербитами, анортозитами, метагаббро-норитами, амфиболитами ограниченных и рассеченных субмеридиональными, северо-восточными и северо-западными разломами глубинного заложения (области подъема фундамента с повышенной трещиноватостью). Последние как правило, определяют размещение углеродсодержащих объектов (Бухаровское месторождение газа) в плитном и складчатом секторах. Они испытали впоследствии неоднократные подновления

и в сочетании с разномасштабными кольцевыми структурами (Куарская и др.) контролируют размещение активизационного флюидогенного магматизма. Следует отметить и важность полифазного (полиимпульсного) развития разновозрастных продуктивных щелочно-ультрабазитовых и щелочно-базитовых (ультракалийевых) вулканических, фациально разнообразных, в том числе флюидолитовых (сылвенский флюидогенно-эксплозивный комплекс ($\alpha\beta T-J?sI$), туфизитовых (Чикманский и др.) комплексов, содержащих анальцит, санидин, стекло и акцессорные муассанит, оливин, циркон, корунд, алмаз, золото, барит, гранат, хромшпинелиды, рутил, магнитные и стеклянные глобулы (шарики).

ВЫВОДЫ

Впервые в пределах восточной Юрюзано-Сылвенской депрессии Предуральского прогиба в зоне влияния ГЗУН установлен и закартирован алмазсодержащий флюидогенно-эксплозивный сылвенский комплекс, прорывающий терригенные породы нижней перми. Это эксплозивно-эруптивные породы, состоящие из санидина, анальцита, вулканического стекла, биотит-вермикулита с учетом химического и минералого-геохимического составов соответствуют семейству трахиандезитобазальтов, конкретнее анальцитомовым шошонитам (санидино-вым анальцитам). Они характеризуются повышенными концентрациями лития, бериллия, скандия, церия, мышьяка, урана, серебра, содержат алмаз, хромшпинелиды, золото, магнетит, апатит, рутил, монацит, циркон, магнитные и стеклянные сферулы. Последние совместно с каплевидными и эллипсообразными выделениями вулканического стекла можно рассматривать, судя по публикациям (Рычагов и др., 1996), в качестве индикаторов флюидно-магматического процесса при проявлении фреатического вулканизма на изучаемой территории (Суставов и др., 2021). На основании имеющихся материалов данный комплекс брекчированных флюидолитов имеет, по-видимому, весьма широкое распространение и полифазное развитие в пределах области сопряжения ГЗУН и Предуральского прогиба. Эта активная зона в раннем мезозое принадлежала краевой части древней Русской платформы и проявилась функционированием сосредоточенного фреатического вулканизма, доставляя к поверхности не только алмазоносные парагенезисы, но и оливин, серпентин, андалузит, ставролит, кианитовые ассоциации минералов AR-PR фундамента. Ареалы развития подобных парагенезисов совпадают с геохимическими аномалиями, проявлениями Li, Ce, Ag нефтегазовых объектов и минерализованных источников напорных вод, зон дезинтеграции и флюидизации, выявленных геофизическими методами (Чурсин и др.,

1998), а также районов распространения глыбовых конглобрекций. Становление комплекса происходило при окраинно-континентальном рифтогенезе, по-видимому, в мезозойский эмерсивный триас-юрский (?), а возможно, что в пермо-триасовый этап развития территории сопряженный с функционированием Сибирского суперплюма.

К ведущим факторам алмазоносности относятся: приуроченность объектов различного ранга к восточному краю древней Русской платформы, в поднадвиговой (на востоке) части которой в пределах Западно-Уральской мегазоны устанавливается подъем гетерогенного (AR-PR) фундамента; наличие зон сочленения и сопряжения уральских и тиманских региональных структур глубинного заложения, способствующих активному тепло-массопереносу вещества из подкорового уровня (см. рис. 4); полифазное и полихронное проявление сосредоточенного флюидно-эксплозивного вулканизма, содержащего продуктивную кимберлит-лампроитовую минерализацию; постоянная связь с проявлениями высокоуглеродистых флюидов, включая проявления нефти, газа, минерализованных вод и т. п.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Ваганов В.И. (2000) Алмазные месторождения России и мира (основы прогнозирования). М.: Геоинформ-марк, 371 с.
- Ветчинов В.А. (1980) К вопросу об источниках алмазов уральских россыпей. *Геология и геофизика*, (9), 164-168.
- Гневушев М.А., Шеманина Е.И. (1967) Некоторые особенности уральских алмазов и их возможные первоисточники. *Минералы изверженных горных пород и руд Урала*. Л.: Наука, 27-40.
- Демина Л.И., Симонов Д.А. (1999) Вулканыты как индикаторы процесса континентальной коллизии. *Докл. АН*, **366**(6), 793-796.
- Дир У.А., Хауи Р.А., Зусман Дж. (1965) Породообразующие минералы. Ортосиликаты и кольцевые силикаты. М.: Мир. Т. 1, 371 с.
- Добрецов Н.Л. (1997) Пермотриасовый магматизм и осадконакопление в Евразии как отражение суперплюма. *Докл. АН*, **354**(2), 220-223.
- Душин В.А., Остроумов В.Р., Малюгин А.А., Сердюкова О.П. (2014) Потенциальная алмазоносность Полярного Урала. Екатеринбург: УГГУ, 200 с.
- Душин В.А., Суставов С.Г., Прокопчук Д.И., Трутнев А.К., Козьмин В.С. (2022) Первая находка алмаза из нижнепермских отложений в районе истоков р. Сылва (Свердловская область). *Региональная геология и металлогения*, (91), 68-78. https://doi.org/10.52349/0869-7892_2022_91_68-78
- Золов К.К., Додин Д.А., Коротеев В.А., Морозов А.Ф. (2006) Тектоническое районирование и минералогия Урала. М.: ГЕОС, 179 с.
- Ишков В.Д. (1966) Источники алмазов уральских россыпей на примере Красновишерского района. *Тез. докл. II Всесоюз. совещ. по геологии алмазных месторождений*, 35-37.

- Коротеев В.А., Нечеухин В.М., Душин В.А., Волчек Е.Н. (2020) Особенности формирования и геодинамическая карта Урало-Тимано-Палеоазиатского сегмента Евразии. *Литосфера*, **20**(5), 607-629. <https://doi.org/10.24930/1681-9004-2020-20-5-607-629>
- Лукьянова Л.И., Остроумов В.Р., Рыбальченко А.Я. (2011) Алмазоносные флюидо-эксплозивные образования Пермского Приуралья. (Ред. А.Ф. Морозов). М.; СПб.: ГЕОКАРТ; ГЕОС; ВСЕГЕИ, 240 с.
- Малахов И.А. (1993) Алмазы Урала и их спутники. *Изв. вузов. Горный журнал*, (11), 57-60.
- Медведев А.Я., Альмухамедов А.И., Кирда Н.П. (2003) Геохимия пермотриасовых вулканитов Западной Сибири. *Геология и геофизика*, **44**(1-2), 86-100.
- Нечеухин В.М., Душин В.А., Оловянишников В.Г. (2009) Палеогеодинамические ассоциации и тектоно-геодинамические элементы Урало-Тимано-Палеоазиатского сегмента Евразии. Объяснит. записка к Геодинамической карте Урало-Тимано-Палеоазиатского сегмента Евразии масштаба 1 : 2 500 000. Екатеринбург: УрО РАН; УГТУ, 158 с.
- Остроумов В.Р., Морозов А.Ф., Киреев А.С., Магадеев Б.Д. (1996) Открытие коренных источников уральских алмазов (к 50-летию прииска "Уралалмаз"). *Геологическое изучение и использование недр*. Науч.-технич. информ. сб. АОЗТ. М.: Геоинформмарк. Вып. 6, 3-13.
- Рапопорт М.С., Левин В.Я., Рудица Н.Н. (1998) Алмазоносность Урала (достижения и задачи исследований). *Геология и металлогения Урала*. Кн. 1. Екатеринбург: ОАО УГСЭ, 256-277.
- Рыбальченко А.Я., Колобянин В.Я., Рыбальченко Т.М. (1996) О новом типе магматизма как возможном источнике уральских алмазов. *Моделирование геологических систем и процессов*. Мат-лы регион. конф. Пермь: Перм. ун-т, 111-113.
- Рычагов С.Н., Главатских С.Ф., Сандимирова Е.И. (1996) Рудные и силикатные магнитные шарики как индикаторы структуры, флюидного режима и минералорудообразования в современной гидротермальной системе Бранского (о-в Итуруп). *Геология руд. месторождений*, **38**(1), 31-40.
- Суставов С.Г., Душин В.А., Власов И.А., Трутнев А.К., Жуклин Е.А., Прокопчук Д.И. (2021) Металлические и стеклянные сферулы в рыхлых отложениях истоков реки Пут (Средний Урал). *Литосфера*, **21**(2), 273-282. <https://doi.org/10.24930/1681-9004-2021-21-2-273-282>
- Чайковский И.И. (2001) Петрология и минералогия интрузивных алмазоносных пирокластитов Вишерского Урала. Пермь: Перм. ун-т, 324 с.
- Чурсин А.В., Ставротти В.И., Кудряшов А.М. (1998) Валлообразные 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*. Мат-лы Междунар. конф. Екатеринбург: УрО РАН, 215-217.
- Шарпенко Л.Н., Лукьянова Л.И., Петров О.В. (2018) Геолого-петрологическая модель формирования алмазоносных флюидоэксплозивных брекчиевых структур (уральский тип). *Литосфера*, **18**(5), 743-757. <https://doi.org/10.24930/1681-9004-2018-18-5-743-757>
- Шурубор Ю.В. (1999) Инициативная экспертиза сообщений об открытии магматических источников алмазов на Урале. *Отеч. геология*, (9), 42-45.
- Pearce T.H., Gorman B.E., Birkett T.C. (1977) The Relationship between Major Element Chemistry and Tectonic Environment of Basic and Intermediate Volcanic Rocks. *Earth Planet. Sci. Lett.*, **36**, 121-132.

REFERENCES

- Chaikovskiy I.I. (2001) Petrology and mineralogy of intrusive diamond-bearing pyroclastites of the Vishersky Urals. Perm, Perm. un-t Publ., 324 p. (In Russ.)
- Chursin A.V., Starostin V.I., Kudryashov A.M. (1998) Shaft-like uplifts of the Dorifean basement of the Western slope of the Urals, their reflection in geophysical fields and their connection with diamond bearing. *Problems of geodynamics, seismicity and minerageny of mobile belts and platform areas of the lithosphere*. Materials of the International conference. Ekaterinburg, UrO RAN Publ., 215-217. (In Russ.)
- Demina L.I., Simonov D.A. (1999) Volcanites as indicators of the process of continental collision. *Dokl. Akad. Nauk*, **366**(6), 793-796. (In Russ.)
- Dir U.A., Howie R.A., Zusman J. (1965) Rock-forming minerals. Orthosilicates and ring silicates. Moscow, Mir Publ. V. 1, 371 p. (In Russ.)
- Dobretsov N.L. (1997) Permian magmatism and sedimentation in Eurasia as a reflection of the superplume. *Dokl. Akad. Nauk*, **354**(2), 220-223. (In Russ.)
- Dushin V.A., Ostroumov V.R., Malyugin A.A., Serdyukova O.P., (2014) Potential diamond content of the Polar Urals. Ekaterinburg, UGSU Publ., 200 p. (In Russ.)
- Dushin V.A., Sustavov S.G., Prokopchuk D.I., Trutnev A.K., Koz'min V.S. (2022) The first discovery of a diamond from the Lower Permian deposits in the area of the sources of the Sylva river (Sverdlovsk region). *Regional geology and metallogeny*, (91). 68-78. (In Russ.) https://doi.org/10.52349/0869-7892_2022_91_68-78
- Gnevushev M.A., Shemanina E.I. (1967) Some features of Ural diamonds and their possible primary sources. *Minerals of igneous rocks and ores of the Urals*. Leningrad, Nauka Publ., 27-40. (In Russ.)
- Ishkov V.D. (1966) 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*, 35-37. (In Russ.)
- Koroteev V.A., Necheukhin V.M., Dushin V.A., Volchek E.N. (2020) Features of formation and geodynamic map of the Ural-Timan-Paleoasiatic segment of Eurasia. *Lithosphere (Russia)*, **20**(5), 607-629. (In Russ.) <https://doi.org/10.24930/1681-9004-2020-20-5-607-629>
- Luk'yanova L.I., Ostroumov V.R., Rybalchenko A.Ya. (2011) Diamond-bearing fluid-explosive formations of the Permian Urals. (Ed. A.F. Morozov). Moscow; St.Petersburg, GEOART; GEOS; VSEGEI Publs., 240 p. (In Russ.)
- Malakhov I.A. (1993) Diamonds of the Urals and their satellites. *Izv. Vyssh. Uchebn. Zaved. Mining J.*, (11), 57-60. (In Russ.)

- Medvedev A.Ya., Almukhamedov A.I., Kirda N.P. (2003) Geochemistry of Permian volcanites of Western Siberia. *Geol. Geofiz.*, **44**(1-2), 86-100. (In Russ.)
- Necheukhin V.M., Dushin V.A., Olovyanishnikov V.G. (2009) Paleogeodynamic associations and tectono-geodynamic elements of the Ural-Timan-Paleo-Asiatic segment of Eurasia. Explanation note to the Geodynamic map of the Ural-Timan-Paleoasian segment of Eurasia, scale 1 : 2,500,000. Ekaterinburg, UrO RAN; UGGU Publ., 158 p. (In Russ.)
- Ostroumov V.R., Morozov A.F., Kireev A.S., Magadev B.D. (1996) Discovery of the indigenous sources of Ural diamonds (to the 50th anniversary of the Uralalmaz mine). *Geological study and use of subsurface resources*. Scientific and technical inform. sb. JSC. Moscow, Geoinformmark Publ. Iss. 6, 3-13. (In Russ.)
- Pearce T.H., Gorman B.E., Birkett T.C. (1977) The Relationship between Major Element Chemistry and Tectonic Environment of Basic and Intermediate Volcanic Rocks. *Earth Planet. Sci. Lett.*, **36**, 121-132.
- Rapoport M.S., Levin V.Ya., Ruditsa H.H. (1998) Diamond bearing of the Urals (achievements and research objectives). *Geology and metallogeny of the Urals*. B. 1, Ekaterinburg, UGSE Publ., 256-277. (In Russ.)
- Rybalchenko A.Ya., Kolobyanin V.Ya., Rybalchenko T.M. (1996) On a new type of magmatism as a possible source of Ural diamonds. *Modeling of geological systems and processes*. Materials Regional conference. Perm, Perm. un-t. Publ., 111-113. (In Russ.)
- Rychagov S.N., Glavatskikh S.F., Sandimirova E.I. (1996) Ore and silicate magnetic beads as indicators of structure, fluid regime and mineral ore formation in the modern Bransky hydrothermal system (Iturup Island). *Geol. Rud. Mestorozhd.*, **38**(1), 31-40. (In Russ.)
- Sharpenok L.N., Luk'yanova L.I., Petrov O.V. (2018) Geological and petrological model of the formation of diamond-bearing fluid-explosive breccia structures (Ural type). *Lithosphere (Russia)*, **18**(5), 743-757. (In Russ.) <https://doi.org/10.24930/1681-9004-2018-18-5-743-757>
- Shurubor Yu.V. (1999) Initiative examination of reports on the discovery of magmatic sources in the Urals. *Otech. Geologiya*, (9), 42-45. (In Russ.)
- Sustavov S.G., Dushin V.A., Vlasov I.A., Trutnev A.K., Zhuklin E.A., Prokopchuk D.I. (2021) Metal and glass spheres in loose sediments of the sources of the Prut River (Middle Urals). *Lithosphere (Russia)*, **21**(2), 273-282. (In Russ.) <https://doi.org/10.24930/1681-9004-2021-21-2-273-282>
- Vaganov V.I. (2000) Diamond deposits of Russia and the world (fundamentals of forecasting). Moscow, Geoinformmark Publ., 371 p. (In Russ.)
- Vetchinov V.A. (1980) On the question of the sources of diamonds of the Ural placers. *Geol. Geofiz.*, (9), 164-168. (In Russ.)
- Zoloev K.K., Dodin D.A., Koroteev V.A., Morozov A.F. (2006) Tectonic zoning and mineralogy of the Urals. Moscow, GEOS Publ., 179 p. (In Russ.)