

Сюзёвское месторождение россыпных алмазов: новый этап изучения алмазоносности Западного Урала

В. А. Чуйко¹, В. А. Синкин¹, В. А. Наумов^{2,3}, И. А. Плюснин¹, К. П. Калинин¹

¹ООО “Алмайнинг”, 614081, Пермский край, г. Пермь, ул. Кронштадтская, 35

²Институт геологии и геохимии им. академика А.Н. Заварицкого УрО РАН, 620110, г. Екатеринбург, ул. Академика Вонсовского, 15

³Пермский государственный национальный исследовательский университет (ГНИУ), 614068, Пермский край, г. Пермь, ул. Букирева, 15

Поступила в редакцию 11.04.2023 г., принята к печати 11.05.2023 г.

Объект исследования. Геологические особенности строения и состава Сюзёвской россыпи алмазов в Александровском районе Пермского края. Россыпь выявлена в пограничной зоне двух региональных тектонических структур Урала: Западно-Уральской внешней зоны складчатости и Центрально-Уральского поднятия; развита в пределах эрозионно-карстовой (?), эрозионно-структурной или тектонически обусловленной Чикман-Нярской депрессии. **Материалы и методы.** Россыпь выявлена в 2017–2022 гг. при геологическом изучении участка недр “Глубокий” (лицензия ПЕМ 02687 КП ООО “Алмайнинг”). Проведены горные, обогащательные работы по оригинальной схеме обогащения с использованием грейферного способа опробования, тяжелосредной и электромагнитной сепарации. Выделены и описаны морфометрические характеристики нескольких сотен алмазов, подготовлены отчетные материалы и проведена оценка запасов. **Результаты.** В разрезе Сюзёвской россыпи четко выделены два алмазоносных пласта, разделенные убого- и неалмазоносными отложениями, установлена аномально высокая для уральских россыпей мощность пластов (до 14–16 м), высокая площадная продуктивность россыпи (до 0.7–1.2 кар/м²) и высокое содержание алмазов (до 0.5 кар/м³ на пробу и в среднем по россыпи 0.09 кар/м³). Россыпь отнесена к типу россыпей зон тектонических уступов. Запасы россыпных алмазов массой 430.5 тыс. кар Сюзёвского месторождения оценены по категориям C₁ + C₂ на участке, ограниченном площадью между разведочными линиями 107–116 (размер 1000 × 750 м), утверждены протоколом ГКЗ Роснедра №7139 от 18.11.2022 и, по прогнозам, будут увеличены. Свидетельство об установлении факта открытия месторождения полезных ископаемых № ПЕМ 23 ДРК 10147 выдано Федеральным агентством по недропользованию РФ ООО “Алмайнинг” 29.03.2023. Более 90% алмазов имеют ювелирное качество. Средняя масса кристаллов в контуре подсчета запасов – 87 мг, за контурами – 29 мг. Ведущие по массе классы крупности –8 + 4 и –4 + 2 мм составляют 93.9 и 72.3% по количеству со средней массой кристалла алмаза 99.9 мг. По форме преобладают додекаэдровиды (66.9%), меньше обломков кристаллов с гранями и несохраненной формой (14.9%) и осколков кристаллов (13.1%); редко встречаются октаэдры (2.4%) и тетраэдровиды (2.2%), единичны ромбододекаэдровиды (0.4%). Сохранность кристаллов хорошая: полные кристаллы составляют 63.7%, обломки кристаллов –16.3%, осколки – 12.9%. Большинство кристаллов не имеют износа (42.4%) либо имеют слабый износ вершин и ребер (43.0%), средний и сильный износ отмечен лишь у 13.7% кристаллов. Средняя стоимость алмазов оценена в 361.59 USD за 1 кар. **Выводы.** Открыто уникальное глубокозалегающее месторождение алмазов, которое рассматривается как новый тип глубокозалегающих алмазоносных россыпей зон тектонических уступов. Определены геологические критерии для выявления подобных месторождений алмазов на Урале. Отработана новая технологическая схема поисков и разведки глубокозалегающих россыпей алмазов в пределах эрозионно-карстовых и тектонически обусловленных депрессий, которая применима для поисков россыпей благородных металлов.

Ключевые слова: алмазы, россыпи, Сюзёвское месторождение, тектонические уступы, поиски, депрессия

Источник финансирования

Работы выполнены при финансовом обеспечении ООО “Алмайнинг” и АО “Нью Граунд” (обоснование и выбор объекта, юридическое сопровождение, горно-технические, обогащательные, лабораторные работы, оценка и защита запасов, минералогическая характеристика кристаллов), научно-методическое сопровождение выполнено по гранту РНФ 22-17-00177 (концептуализация, обсуждение результатов, анализ геологических предпосылок) и государственному заданию ИГГ УрО РАН № 123011800011-2 (профессиональные консультации)

Для цитирования: Чуйко В.А., Синкин В.А., Наумов В.А., Плюснин И.А., Калинин К.П. (2023) Сюзёвское месторождение россыпных алмазов: новый этап изучения алмазоносности Западного Урала. *Литосфера*, **23**(4), 701–713. <https://doi.org/10.24930/1681-9004-2023-23-4-701-713>

For citation: Chuiko V.A., Sinkin V.A., Naumov V.A., Plyusnin I.A., Kalinin K.P. (2023) Syuzevskoye diamond placer: A new stage in studying the diamond potential of Western Urals. *Lithosphere (Russia)*, **23**(4), 701–713. (In Russ.) <https://doi.org/10.24930/1681-9004-2023-23-4-701-713>

© В.А. Чуйко, В.А. Синкин, В.А. Наумов, И.А. Плюснин, К.П. Калинин, 2023

Syuzevskoye diamond placer: A new stage in studying the diamond potential of Western Urals

Vitaly A. Chuiko¹, Vladimir A. Sinkin¹, Vladimir A. Naumov^{2,3}, Ilya A. Plyusnin¹, Kirill P. Kalinin¹

¹Almining LLC, 35 Kronshtadtskaya st., Perm 614081, Russia

²A.N. Zavaritsky Institute of Geology and Geochemistry, UB RAS, 15 Academician Vonsovsky st., Ekaterinburg 620110, Russia

³Perm State National Research University (PSNRU), 15 Bukirev st., Perm 614068, Russia

Received 11.04.2023, accepted 11.05.2023

Research subject. Geological features of the structure and composition of the Syuzevskoye diamond placer in the Aleksandrovsky region of the Perm Krai. The placer was found in the border zone of two regional tectonic structures of the Urals: the Western Ural outer folding zone and the Central Ural uplift. This placer was developed within the erosion-karst (?), erosion-structural or tectonically determined Chikman-Nyarskaya depression. **Materials and methods.** The placer was identified in the period from 2017 to 2022 during a geological study of the subsoil area “Glubokiy” (License PEM 02687 KP LLC “Almining”). Mining and enrichment works were carried out according to the original enrichment scheme using the clamshell sampling method, heavy media and electromagnetic separation. The morphometric characteristics of several hundred diamonds were identified and described; reports were prepared; and reserves were assessed. **Results.** In the section of the Syuzevskoye placer, two diamond-bearing strata are clearly distinguished, separated by poor- and non-diamond-bearing deposits; anomalously high seam thickness for the Ural placers (up to 14–16 m) was established; high areal productivity of the placer (up to 0.7–1.2 ct/m²) and high diamond content (up to 0.5 ct/m³ per sample and an average of 0.09 ct/m³ for the placer). The placer is attributed to the type of placers of tectonic scarp zones. Reserves of alluvial diamonds weighing 430.5 thousand ct of the Syuzevskoye deposit are estimated at C₁ + C₂ categories in the area limited by the area between exploration lines 107–116 (size 1000 × 750 m); approved by the Minutes of the GKZ Rosnedra No. 7139 dated November 18, 2022 and will be increased. Certificate No. PEM 23 DRK 10147 confirming the discovery of a mineral deposit, issued by the Federal Agency for Subsoil Use of the Russian Federation to LLC Almining on March 29, 2023. Over 90% of diamonds are of gem quality. The average mass of crystals in the reserve calculation loop is 87 mg, and behind the loops is 29 mg. The leading size classes by mass – 8 + 4 and – 4 + 2 mm are 93.9% and 72.3% in quantity with an average mass of a diamond crystal of 99.9 mg. The shape is dominated by dodecahedroids (66.9%), less fragments of crystals with an unpreserved shape (14.9%) and fragments of crystals (13.1%); octahedrons (2.4%) and tetrahedroids (2.2%) are rare, rhombic dodecahedroids (0.4%) are rare. The preservation of crystals is good: full crystals make up 63.7%, fragments of crystals – 16.3%, fragments – 12.9%. Most of the crystals do not have wear (42.4%), or have weak wear of the tops and ribs (43.0%), medium and strong wear was noted only in 13.7% of the crystals. The average cost of diamonds is estimated at 361.59 USD per 1 ct. **Conclusions.** A unique deep-seated diamond deposit has been discovered, which is considered as a new type of deep-seated diamond-bearing placers in tectonic ledge zones. The geological criteria for identifying such diamond deposits in the Urals were determined. A new technological scheme for prospecting and exploration of deep-seated diamond placers within erosion-karst and tectonically determined depressions was developed, which is applicable for prospecting for precious metal placers.

Keywords: diamonds, placers, Syuzevskoye deposit, tectonic ledges, prospecting, depression

Funding information

The work was carried out with the financial support of Almining LLC and New Ground JSC (substantiation and selection of the research object; legal support; mining, processing, laboratory works; assessment and protection of reserves; mineralogical characterization of crystals). The scientific and methodological support was received under the grant No. RSF 22-17-00177 (conceptualization, results and discussion, analysis of geological prerequisites) and the state assignment of the Zavaritsky Institute of Geology and Geochemistry of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences No. 123011800011-2 (professional consultations)

Acknowledgements

The authors express their sincere gratitude to the employees of the New Ground companies, represented by the director of the company, Yury Germanovich Startsev, who proposed and ensured the introduction of the clamshell pit driving technology; LLC “Almining” represented by the director Yolshin Aleksey Vladimirovich, who ensured the possibility and achievement of the result on the discovery of the deposit, as well as the Head of the mining section of JSC “New Ground” Gorbunov Vadim Andreevich, the mineralogist of LLC “Almining” – Sinkina Irina Valerievna, as well as all employees, involved in the discovery of the deposit. The authors are grateful to the faculty of the Department of Geology of the Perm University and the staff of the abolished Department of Geology of the Natural Science Institute of the Perm University, where the authors received their basic education, had a constant opportunity to receive professional advice and work on the project.

ВВЕДЕНИЕ

Пермский край – территория, где были найдены первые алмазы в России и впервые начаты изучение и промышленная добыча алмазов (Копылов и др., 2015). В период с 1938 по 2014 г. здесь отра-

батывали россыпи. До открытия алмазов в Якутии (1956 г.) это был единственный известный в России алмазоносный регион. За все время разработки алмазоносных россыпей Пермского края добыто около 4.5 млн кар алмазов (рис. 1). Более 90% из них отличают хорошая сохранность, ювелирное ка-

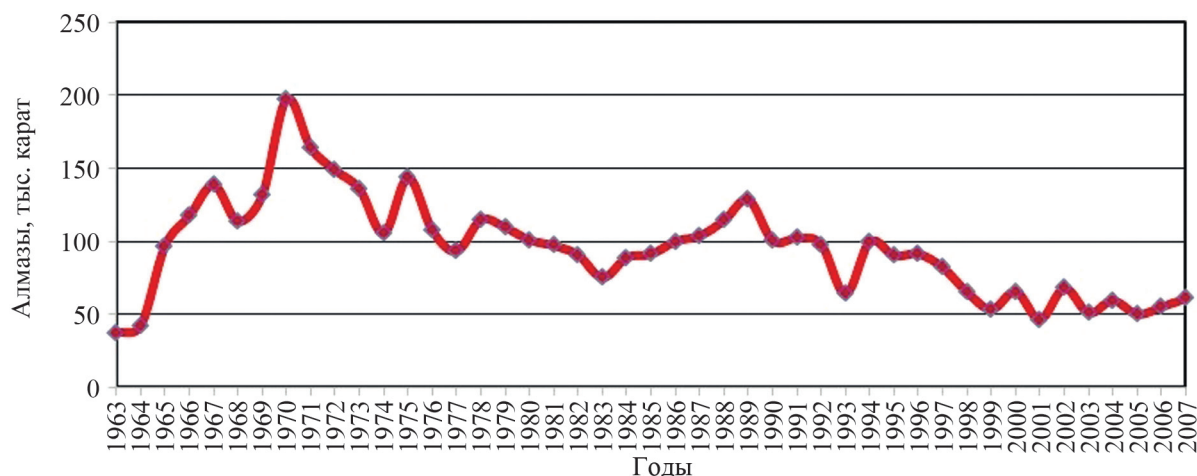


Рис. 1. Добыча алмазов прииском “Уралалмаз” в 1963–2007 гг.

Fig. 1. Diamond mining at the Uralalmaz mine in 1963–2007.

чество и высокая стоимость (в среднем по месторождениям Вишерского алмазоносного района – до 450–500 USD за 1 кар).

В Пермском крае разведаны и отработаны относительно простые, неглубоко залегающие россыпи четвертичного и палеоген-неогенового возраста, а также палеороссыпь (Ишковский участок) нижнедевонского возраста (рис. 2).

Поиски россыпей алмазов в бассейне р. Яйвы были начаты в 1953 г. Алмазоносность четвертичного аллювия р. Яйвы и ее притоков (рр. Ульвич, Чикман, Сюзь и Кадь) установлена поисковыми работами партии № 72 Владимирской экспедиции (1953–1957 гг.) путем проходки шурфов, пахарных канав. После открытия россыпей в Вишерском районе основные усилия по поискам россыпей распространились на эту территорию. Исследования проводились на доступных при шурфовой проходке глубинах и не затронули глубокие горизонты опущенных блоков тектонических депрессий. Следует отметить, что в условиях Урала при опробовании россыпей необходимый объем крупнообъемной пробы составляет 30–50 куб. м³. Часто в сложных условиях проходки (высокая обводненность, неустойчивые породы) глубокие горизонты россыпей опробованы в недостаточном объеме либо и вовсе не опробованы.

В истории изучения алмазоносности Западного Урала было несколько мощных всплесков, обусловленных находками и определением перспектив выявления россыпей и коренных источников алмазов (Кухаренко, 1955; Беккер и др., 1970; Лунев, Осовецкий, 1996; Граханов и др., 2007; Осовецкий, Наумова, 2014).

Открытие и официальная регистрация Сюзёвской россыпи – начало нового этапа в решении проблем коренной и россыпной алмазоносности.

Уникальное глубокозалегающее месторождение россыпных алмазов в Александровском районе Пермского края выявлено ООО “Алмайнинг” при геологическом изучении участка недр “Глубокий” (лиц. ПЕМ 02687 КП) в период с 2017 по 2022 г. Впервые информация о геологии и характеристике этого месторождения озвучена на конференции “Рудник Урала” в ноябре 2022 г. В.А. Чуйко, главным геологом ООО “Алмайнинг”.

По материалам исследований проведены горные, обогатительные работы, выделены и описаны алмазы, подготовлены отчетные материалы (Чуйко и др. 2022). Проведена оценка запасов алмазов по категориям С₁ и С₂ на лицензионном участке “Глубокий” Сюзёвского месторождения. Запасы россыпных алмазов утверждены протоколом ГКЗ Роснедра №7139 от 18.11.2022 (табл. 1) и пока ограничиваются площадью между р. л. 107–116. Работы продолжаются на сопряженных участках.

Размер участка россыпи, на которой выполнен подсчет запасов, составляет примерно 1000 × 750 м. В настоящее время россыпь не оконтурена вверх (выше р. л. 116) и вниз по долине (ниже р. л. 107) р. Сюзь. Запасы алмазов и границы россыпи будут уточнены последующими работами и, судя по геологической ситуации, приращены.

Геологическое положение, состав и строение россыпи

В тектоническом отношении Сюзёвское месторождение россыпных алмазов находится в пределах Западно-Уральской внешней зоны складчатости (структура I порядка), Кизеловско-Дружининской структуры, Кизеловского синклинория, Яйвинско-Кадьинской синклинали. На юго-востоке от месторождения находится Язвинско-

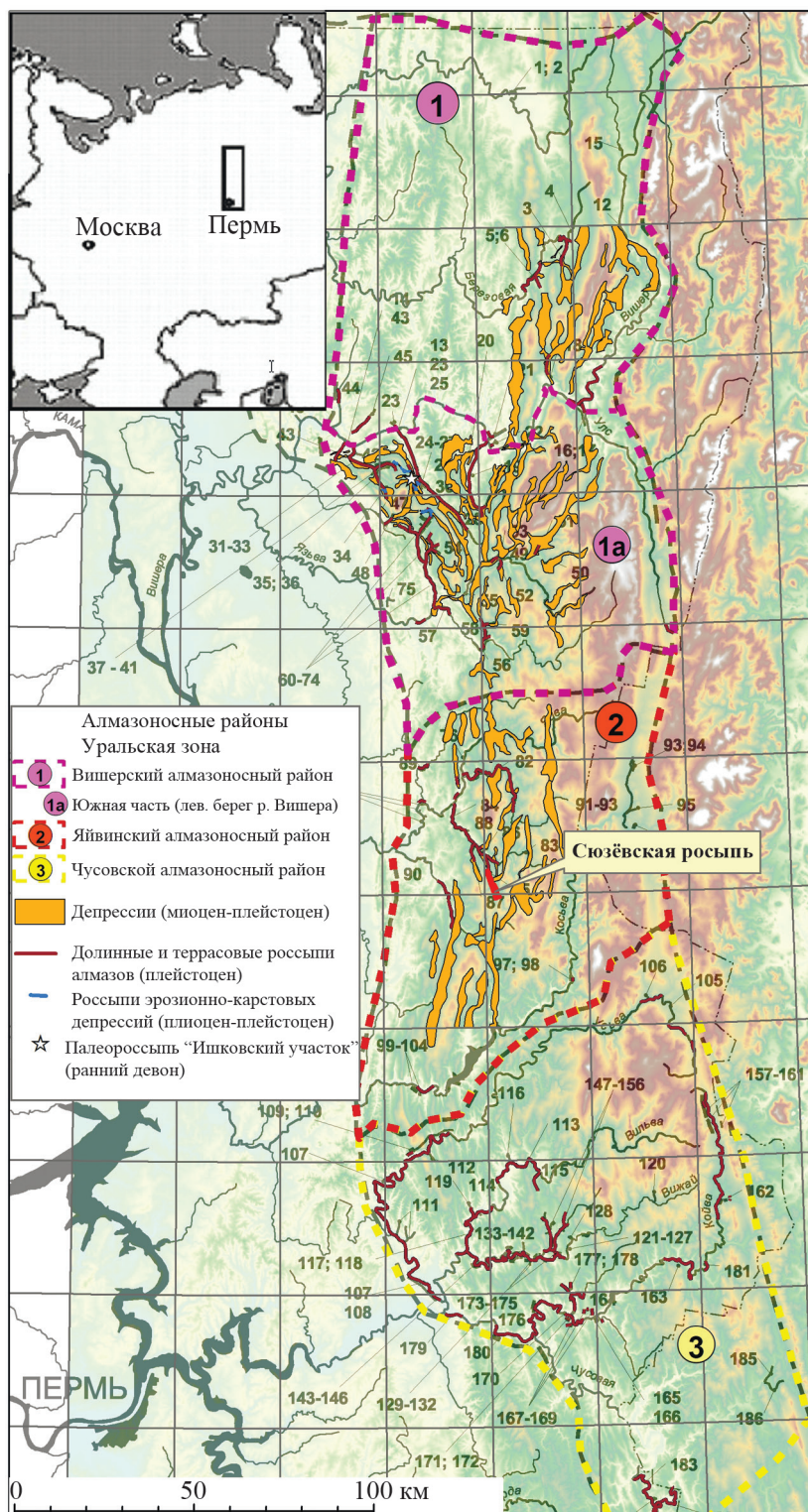


Рис. 2. Схема расположения алмазоносных россыпей и депрессий северо-западного склона Урала (составил Чуйко В.А. по данным (Марусин, 1990; Пунтусова и др., 2003; Попов, 2007)).

Цифрами на карте обозначены точки, описания которых даны в работе А.Г. Попова (2007).

Fig. 2. General layout of diamond-bearing placers and depressions of the northwestern slope of the Urals (compiled by Chuiko V.A. according to (Marusin, 1990; Puntusova et al., 2003; Popov, 2007)).

The numbers on the map indicate the points, the descriptions of which are given in the work of A.G. Popov (2007).

Таблица 1. Запасы Сюзёвского месторождения россыпных алмазов

Table 1. Reserves of the Syuzevsky alluvial diamond deposit

Категория запасов	Запасы песков, тыс. м³	Среднее содержание алмазов		Запасы алмазов, тыс. кар
		мг/м³	кар/м³	
Балансовые запасы				
C ₁	1510	14.98	0.07	113.1
C ₂	3400	18.67	0.09	317.4
C ₁ + C ₂	4910	17.54	0.09	430.5
Забалансовые запасы				
C ₂	20	8.12	0.04	0.8

Кадинский надвиг, который является границей крупных тектонических структур первого порядка – Западно-Уральской внешней зоны складчатости и Центральнo-Уральского поднятия. Таким образом, положение россыпи тектонически обусловлено размещением ее в пограничной зоне развития двух региональных тектонических структур Урала (рис. 3).

Формирование Сюзевской россыпи алмазов связано с развитием Чикман-Нярской эрозионно-карстовой (?), эрозионно-структурной или тектонически обусловленной депрессии. Развитие отрицательной структуры как природной гравитационной ловушки позволило сохранить в опущенном тектоническом блоке алмазоносные осадки.

Природа Чикман-Нярской депрессии не имеет однозначного геологического толкования и традиционно рассматривается как эрозионно-карстовая. Не исключена позиция, что это эрозионно-тектоническая депрессия, в пределах которой была заложена палеодолина. Вероятно, что расшифровка и понимание геологического происхождения, механизма формирования депрессии, генетических типов отложений, их соотношение и закономерности расположения послужат одним из ключевых звеньев для объяснения условий образования повышенных концентраций алмазов на локальных участках.

Депрессия заложена на контакте силикатных терригенных пород нижнего-среднего девона и карбонатов позднего девона–карбона. Ложе депрессии осложнено несколькими тектоническими нарушениями. В основании депрессии, вдоль ее тальвега и далее в северо-западном направлении, предполагаются дополнительные нарушения, перекрытые рыхлыми отложениями. В разрезе Чикман-Нярской эрозионно-карстовой депрессии (рис. 4) выделены три крупных литологических горизонта (сверху вниз).

1. Коричневые глины и суглинки с “щебнем” и “валунами” кварцевых песчаников; неалмазоносные породы составляют “торфы” россыпи; мощность горизонта убывает от западного борта палеодолины (до 20–27 м) на восток (1–2 м).

2. Желто-коричневые, красновато-коричневые песчано-гравийные, гравийно-песчаные отложе-

ния, в основном слабоглинистые с галькой и гравием кварцевых песчаников, с прослоями песчаных, реже глинистых отложений; алмазоносны в верхней и нижней частях (выделяется “верхний пласт” и “нижний пласт”), средняя часть убогоалмазоносна или вовсе не алмазоносна. Максимальная мощность горизонта (до 60 м) приурочена к осевой части депрессии; на флангах уменьшается до 20–30 м, вплоть до полного выклинивания у западного борта на контакте карбонатного плотика с песчаниками раннесреднедевонского возраста.

3. Темно-серые, серые известняки, часто закарстованные, представлены на большей части площади и являются коренными породами ложа депрессии – “плотиком” россыпи (см. рис. 4); вдоль западного борта депрессии замещаются кварцевыми песчаниками; над карбонатными породами развит элювий мощностью 0.5–4.0 м, представленный темно-серыми глинами, до черных, с щебнем и валунами.

Возраст отложений горизонта 1 – поздний плейстоцен, горизонта 2 – плиоцен–поздний плейстоцен, горизонта 3 – поздний девон–ранний карбон.

Основной разлом, обусловивший формирование россыпи, имеет восток-северо-восточное направление, разделяет допалеозойский и палеозойский комплексы пород и ограничивает с юга палеодолину р. Сюзь (см. рис. 4).

Технология вскрытия, отбора проб и обогащения материала россыпи

Сюзёвская россыпь алмазов выявлена по результатам работ, выполненных ООО “Алмайнинг”. Для вскрытия и опробования глубокозалегающей (более 50 м от дневной поверхности) россыпи алмазов впервые применена новая технология горных работ, которая позволила обеспечить представительность опробования (интервал опробования – 2 м, средний объем рядовой пробы – 14.5 м³), качественный отбор и характеристику разных интервалов опробования.

Новая технология вскрытия, отбора и обогащения песков глубокозалегающих алмазоносных россыпей включала в себя следующие технические решения.



Рис. 3. Тектоническая схема.

Структуры I порядка: I – Западно-Уральская внешняя зона складчатости, II – Центральное-Уральское поднятие. Структуры II порядка: I₂ – Кизеловско-Дружининская структура, II₁ – Кваркушско-Каменногорский мегаантиклинорий, II₂ – Улсовско-Висимский мегасинклиний. Структуры III порядка: I₂^a – Кизеловский синклиний, II₁^a – Язвинско-Косвинский моноклиний, II₆¹ – Кваркушско-Басегский антиклинорий, II₂^a – Улсовско-Тыпыльский синклиний. Цифры в кружках: 1 – Яйвинско-Кадинская синклиналь, 2 – Полуденско-Рассольнинская моноклираль, 3 – Молмыско-Чикманская зона линейной складчатости, 4 – Бурнимский тектонический блок, 5 – Кваркушская антиклиналь, 6 – Рассохинско-Кыринский тектонический блок, 7 – Луговской тектонический блок (по (Коротков, 2004)).

Fig. 3. Tectonic scheme.

Structures of the I order: I – West Ural outer zone of folding, II – Central Ural uplift. Structures of the II order: I₂ – Kizelovsko-Druzhininskaya structure, II₁ – Kvarushsky-Kamenogorsk megaanticlinorium, II₂ – Ulsovsko-Visimskiy megasynclinorium. Structures of the III order: I₂^a – Kizelovsky synclinorium, II₁^a – Yazvinsko-Kosvinsky monoclinorium, II₆¹ – Kvarushsko-Basegsky anticlinorium, II₂^a – Ulsovsko-Typyl synclinorium. Numbers in circles: 1 – Yaivinsko-Kadinsky syncline, 2 – Poludensko-Rassolninskaya monocline, 3 – Molmyssko-Chikmanskaya zone of linear folding, 4 – Burnim tectonic block, 5 – Kvarushskaya anticline, 6 – Rassokhinsky-Kyrinsky tectonic block, 7 – Lugovskoy tectonic block (according to (Korotkov, 2004)).

1. Проходка шурфов выполнялась грейферным экскаватором XCMG XG480D с заполнением выработанного пространства бентонитовым раствором. Бентонитовый раствор за счет гидростатического давления удерживал стенки грейферного шурфа в вертикальном положении без их обрушения. В результате такого способа проходки опробованы алмазные отложения на ранее недоступных глубинах (до 60 м), обеспечены высокая скорость и механизация горных работ.

2. Размещение и складирование всего извлеченного материала рядовых проб в мягкие контейнеры (биг-бэги), а не на почву (или рельеф, как это было принято ранее). Это позволило предотвратить потери и разубоживание проб, не допустить “заражения” алмазами других проб на

всех стадиях процесса складирования, перевозки и обогащения.

3. Использование модуля тяжелосредной сепарации (производительность 5 т/ч) на этапе получения гравитационного концентрата обогащения алмазных проб.

4. Использование магнитного сепаратора на постоянных магнитах БСМ-СМВИ (производитель – компания ЭРГА, г. Калуга) для сокращения объема алмазного концентрата, поступающего на просмотр проб.

В результате такого подхода получены максимально объективные результаты по выделению алмазных горизонтов, определению содержания, гранулометрических и других характеристик алмазов, строению и вещественному составу отложений Сюзёвской россыпи.

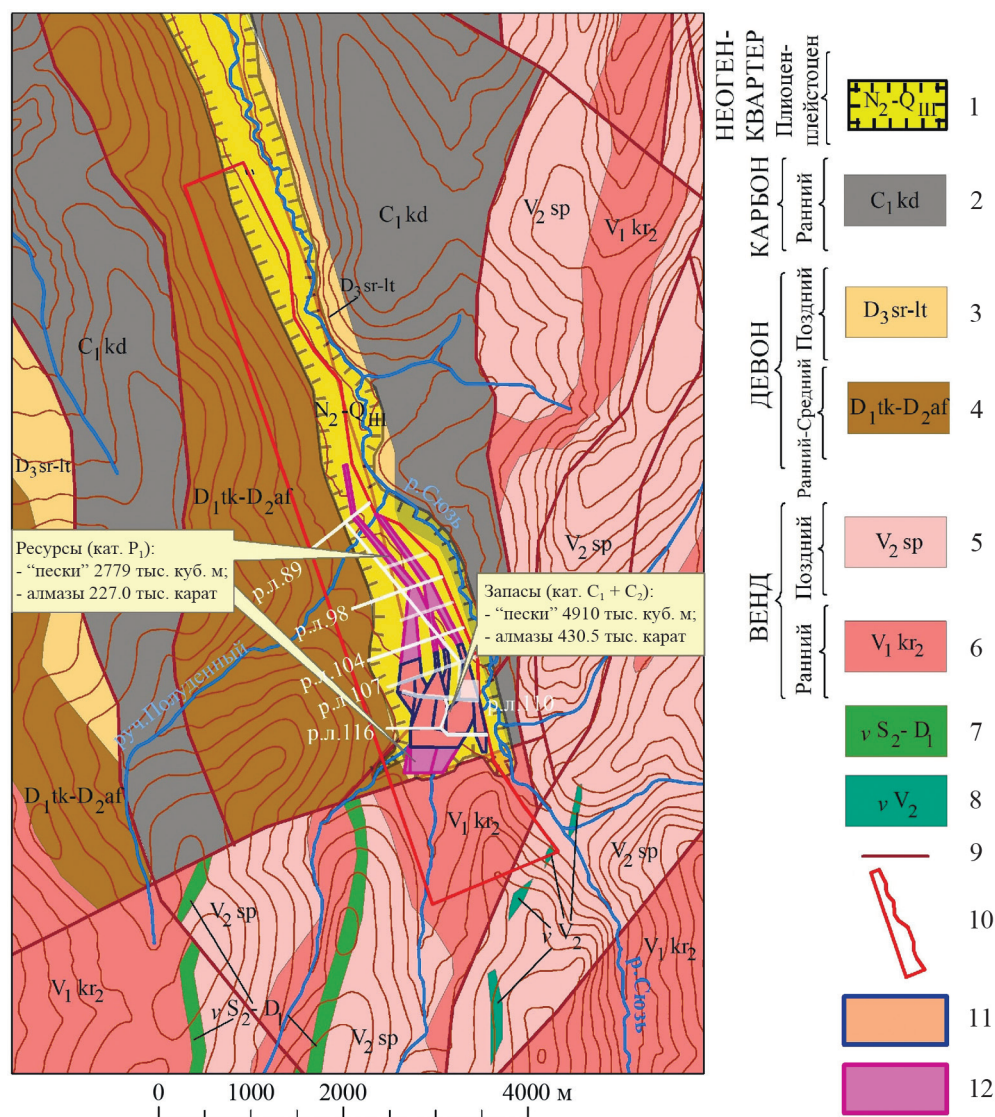


Рис. 4. Схема геологического строения Сюзёвского месторождения россыпных алмазов.

1 – песчано-гравийные, гравийно-песчаные слабоглинистые отложения желто-коричневого цвета с галькой и валунами песчаников кварцевых (отложения Чикман-Нярской депрессии, нерасчлененные); 2 – алевролиты, аргиллиты, известняки, песчаники с прослоями кремней (кадьинская толща); 3 – известняки с прослоями доломитов (саргаевская, доманиковская, золотихинская губахинская и лытвинская свиты объединенные); 4 – известняки, известняки глинистые с прослоями аргиллитов и доломитов, в основании – песчаники с прослоями гравелитов (такатинская, вязовская, койвенская, бийская, афонинская свиты нерасчлененные); 5 – алевролиты, аргиллиты, песчаники полевошпат-кварцевые, в основании – конгломераты (старопечнинская свита); 6 – пестроцветные глинистые сланцы с прослоями полевошпат-кварцевых песчаников, полимиктовые песчано-глинистые конгломераты (верхнекерноская подсвита); 7 – дайки, реже штоки и sillы габбро-диабазов и диабазов; 8 – штоки и линзовидные тела зеленокаменных диабазов; 9 – тектонические нарушения; 10 – границы лицензионного участка; 11 – границы подсчета запасов категорий C₁ и C₂; 12 – границы подсчета прогнозных ресурсов категории P₁.

Fig. 4. Scheme of the geological structure of the Syuzevskoye placer diamond deposit.

1 – sand-gravel, gravel-sand weakly clay deposits of yellow-brown color with pebbles and boulders of quartz sandstones (deposits of the Chikman-Nyar depression, undivided); 2 – siltstones, mudstones, limestones, sandstones with flint interbeds (Kad'ya sequence); 3 – limestones with interlayers of dolomites (Sargaevskaya, Domanik, Zolotikha Gubakha and Lytvinskaya suites combined); 4 – limestones, clayey limestones with interlayers of argillites and dolomites, at the base - sandstones with interlayers of gravelstones (takatinskaya, vyazovsky, koyvenskaya, biyskaya, afoninskaya suites undivided); 5 – siltstones, mudstones, feldspar-quartz sandstones, at the base – conglomerates (Staropechninskaya suite); 6 – variegated shales with interlayers of feldspar-quartz sandstones, polymictic sandy-argillaceous conglomerates (Upper Kernos Subformation); 7 – dikes, more rarely stocks and sills of gabbro-diabases and diabases; 8 – stocks and lenticular bodies of greenstone diabases; 9 – tectonic disturbances; 10 – boundaries of the license area; 11 – boundaries for calculating reserves of categories C₁ and C₂; 12 – boundaries for calculating predicted resources of category P₁.

Кроме прочего, такой подход показал универсальность, так как может применяться на других россыпных объектах (драгоценные камни, золото, минералы платиновой группы и пр.), представленных рыхлым и слабоцементированным материалом.

Строение Сюзёвской россыпи

Геологическое строение Сюзёвской россыпи весьма необычно. В разрезе четко выделены два алмазоносных пласта (рис. 5), разделенные убого- и неалмазоносными отложениями. Для месторождения установлена аномально высокая для уральских россыпей мощность пластов (до 14–16 м). Кроме того, отмечена высокая площадная продуктивность россыпи (до 0.7–1.2 кар/м²) и высокое содержание алмазов (до 0.5 кар/м³ на пробу и в среднем по россыпи 0.09 кар/м³).

Общая доказанная протяженность полосы алмазоносных отложений составляет не менее 3000 м. В разрезе выделены два пласта: верхний и нижний. Мощность верхнего пласта закономерно увеличивается от р. л. 107 (2 м) к р. л. 116 (до 10–12 м). Мощность нижнего пласта также увеличивается от р. л. 107 (2–4 м) к р. л. 116 (до 16–17 м). Такое распределение алмазоносности в разрезе не имеет аналогов среди известных россыпей Урала и может свидетельствовать о вероятности близкого (до 1 км) нахождения источника питания россыпи.

Процесс поисков алмазов проведен собственнo по алмазам. Минералы-спутники алмаза в продуктивных осадках не изучены. По результатам ранее проведенных работ установлено, что агрегаты гидроксидов железа (лимонит) часто содержат в своем составе сцементированные зерна первичных минералов, которые находились на месте образования лимонита в период формирования осадка. После разложения гидроксидов железа в кислоте высвобождается большое количество минералов легкой фракции. Минералы тяжелой фракции, выделенные из лимонита по вещественному составу, практически идентичны аллотигенным минералам тяжелой фракции осадка. Однако здесь отмечены сульфиды и интерметаллиды. Кроме того, ряд исследователей считают лимонит гидравлическим спутником алмаза, который переносится в флювиальных потоках одновременно с алмазами.

Проведенные нами исследования многообразных форм нахождения гидроксидов железа (лимонита) позволяют сделать предварительное заключение, что часть из них, отличающаяся особым строением и составом, может представлять интерес как индикатор или фоновый показатель наличия алмазов в отложениях. В таких агрегатах гидроксидов железа также можно ожидать и кристаллы алмазов, сцементированные вместе с первичным алмазоносным осадком.

Сюзёвская россыпь – россыпь зоны тектонических уступов

Сюзёвское месторождение россыпных алмазов – первая на Урале россыпь, которую можно отнести к типу россыпей зон тектонических уступов (РЗТУ). Касситеритовые РЗТУ известны в арктической зоне Российской Федерации. По запасам это крупные и уникальные месторождения (Патык-Кара и др., 1997). Особенности, которые позволяют отнести новую россыпь к типу РЗТУ:

- структурно-тектонический контроль (россыпь находится на границе тектонических структур I порядка),
- возраст формирования пород продуктивной толщи (олигоцен-плейстоцен),
- наличие нескольких (минимум двух) продуктивных пластов,
- значительная (до 14–16 м) мощность алмазоносных пластов.

Кроме указанных выше особенностей, отметим тот факт, что алмаз и касситерит имеют близкие значения константы гипергенной устойчивости (1.54 и 1.65 соответственно) (Шило, 2002), а значит, характеризуются сходным поведением в процессе россыпеобразования.

Алмазы Сюзёвской россыпи

Качество алмазов в россыпи высокое, более 90% алмазов относятся к ювелирным. Средняя масса кристаллов в контуре подсчета запасов – 87 мг, за контурами – 29 мг. Ведущими по массе являются классы –8 + 4 и –4 + 2 мм, составляющие в сумме 72.3% по количеству и 93.9% по массе (рис. 6). Средняя масса ведущих классов составила 99.9 мг. Среди алмазов преобладают додекаэдрониды (66.9%), меньшая часть – обломки кристаллов с отдельными сохраненными гранями (14.9%) и осколки кристаллов, форму которых невозможно восстановить (13.1%), очень редко встречаются октаэдры (2.4%) и тетраэдрониды (2.2%), единичны формы ромбододекаэдронидов (0.4%). Сохранность кристаллов хорошая (рис. 7): полные кристаллы составляют 63.7%, обломки кристаллов – 16.3%, осколки – 12.9%. Большинство кристаллов не имеют износа (42.4%) либо имеют слабый износ вершин и ребер (43.0%), средний и сильный износ отмечен лишь у 13.7% кристаллов, 0.8% кристаллов имеют шаровидную степень износа.

По цвету преобладают бесцветные разности с различными нацветами (см. рис. 7), составляющие в сумме 77.3%, из них бесцветных высших – 2.2%, бесцветных – 13.9%, с едва уловимым оттенком – 27.9%, с незначительным оттенком – 29.9%, с небольшим нацветом – 3.4%, объединенной цветовой позиции – 1.0%. Среди нацветов преобладает желтоватый, присутствуют сероватый и чайный, из

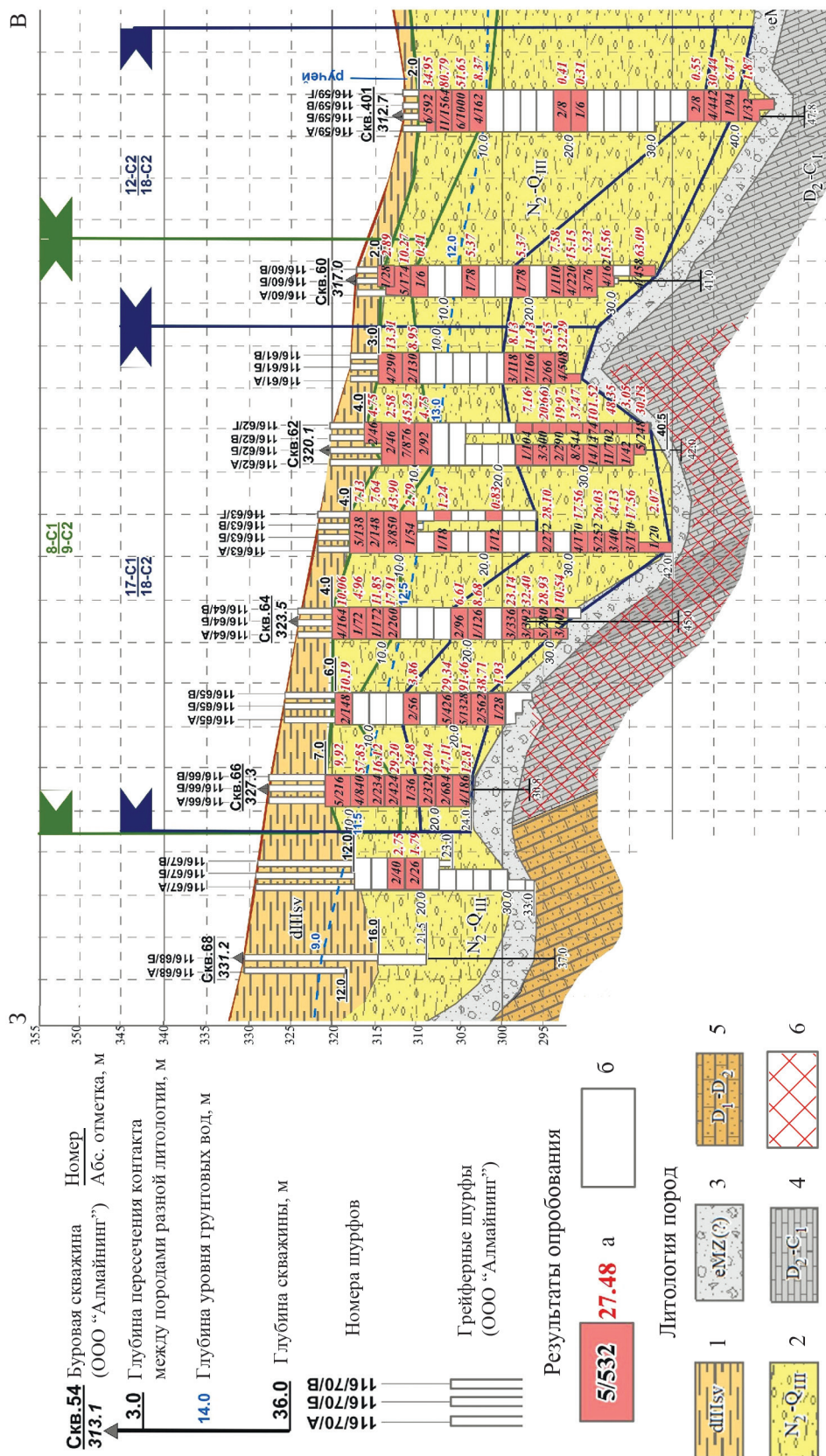


Рис. 5. Фрагмент геологического разреза по линии 116.

а – количество алмазов в пробе/суммарная масса в мг/содержание в мг/м³; б – пробы без алмазов; 1 – делювиальные отложения: глины, суглинки покровные с редким щебнем и валунами песчаников; 2 – плиоцен-позднелейстоценовые аллювиальные, аллювиально-делювиальные, делювиальные отложения нерасчлененные: песчано-гравийно-глинистые отложения с галькой и валунами песчаников кварцевых (продуктивные алмазоносные отложения палеодепрессии); 3 – элювий (кора выветривания): глинисто-щебенчатые отложения с валунами коренных пород; 4 – известняки серые, до темно-серых, тонкозернистые, закарстованные; 5 – кварцевые песчаники мелко- и среднезернистые, с прослоями алевролитов, аргиллитов, в основании – прослой гравелитов; 6 – зона тектонического нарушения.

Fig. 5. A fragment of the geological section along line 116.

a – the number of diamonds in the sample/total mass in mg/content in mg/m³; б – samples without diamonds; 1 – deluvial deposits: clays, cover loams with rare crushed stone and boulders of sandstones; 2 – Pliocene-Late Pleistocene alluvial, alluvial-deluvial, deluvial deposits undivided: sandy-gravel-argillaceous deposits with pebbles and boulders of quartz sandstones (productive diamond-bearing deposits of paleodepression); 3 – eluvium (weathering crust): clay-rubble deposits with bedrock boulders; 4 – gray to dark gray limestone, fine-grained, karst; 5 – Quartz sandstones fine-grained, medium-grained, with interlayers of siltstones, mudstones, at the base – interlayers of gravelstones; 6 – tectonic fault zone.

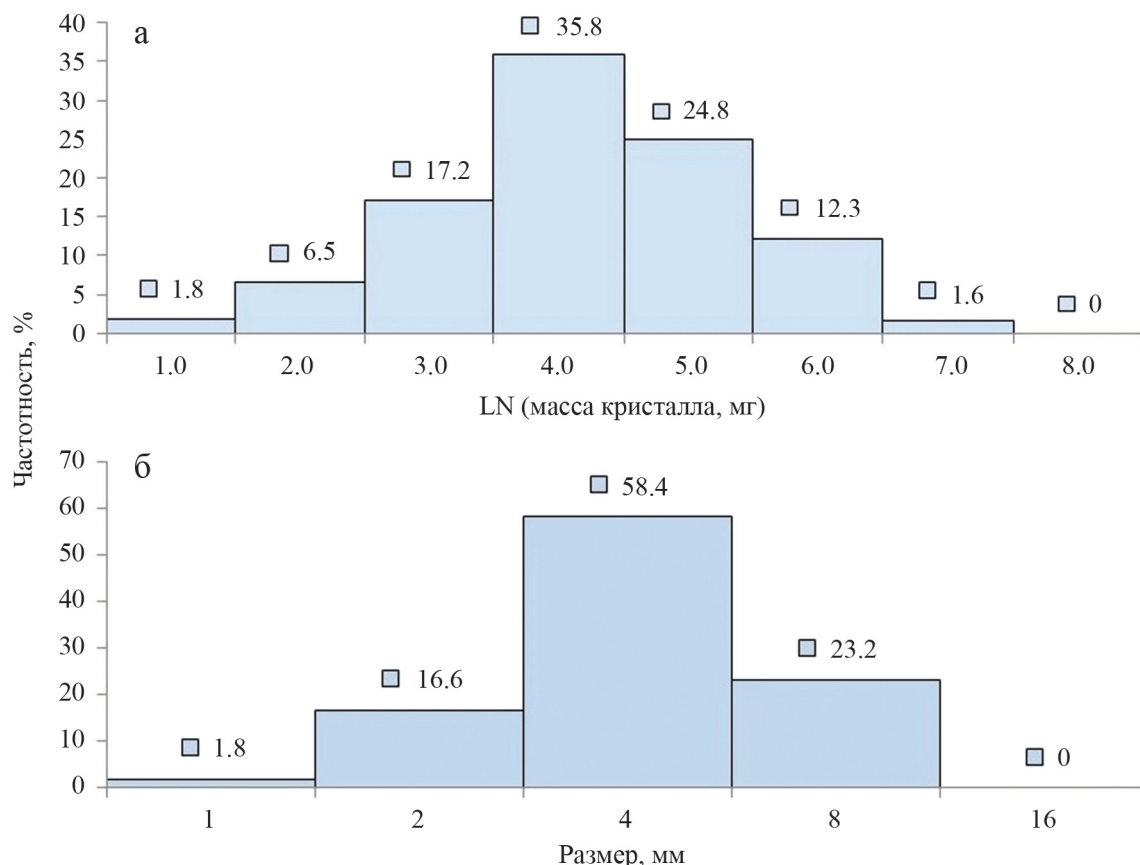


Рис. 6. Распределение алмазов Сюзёвской россыпи по массе (а) и размеру (б), выборка из 505 кристаллов.

Fig. 6. Distribution of diamonds in the Syuzevskaya placer by weight (a) and size (б) for a sample of 505 crystals.

окрашенных – желтые кристаллы алмаза (14.5%), коричнево-серые (6.6%), серые (0.6%).

Средняя стоимость алмазов из представленной выборки первых находок алмазов на поисковой стадии оценена специалистами Единой сбытовой организации (ЕСО) АК “АЛРОСА” по действующему прейскуранту Минфина РФ на природные алмазы в 361.59 USD за 1 кар.

Перспективы и направления дальнейшего ведения работ

Открытие Сюзёвского месторождения россыпных алмазов значительно увеличивает перспективы выявления алмазоносных россыпей на Урале. Необходимо продолжить изучение настоящей россыпи по разным направлениям: определить непосредственный источник поступления алмазов (промежуточный коллектор или иной источник питания); механизм образования концентраций алмазов при формировании россыпи; минералого-петрографические характеристики осадка; более полную характеристику алмазов и их включений. Сюзёвское месторождение рос-

сыпных алмазов представляет собой первый эталонный объект, изучение которого позволит сделать прогноз и открыть аналогичные россыпи на Урале и в других алмазоносных провинциях России и мира.

Выявленный тип двухуровневого строения глубокозалегающих россыпей алмазов Сюзёвской россыпи показывает, что такие россыпи имеют более сложное строение, чем мы представляли ранее. Участки выявленной алмазоносности в современных долинах рек (притоках р. Койвы в Горнозаводском районе, реках Александровского и Красновишерского районов Пермского края), совмещенные или развитые в пределах депрессий северо-восточного направления, могут являться потенциально алмазоносными. В их пределах можно ожидать или предполагать развитие в нижних горизонтах высоких концентраций россыпных алмазов.

Основными критериями для выделения потенциально алмазоносных районов следует считать следующие:

1) находки алмазов в пределах аллювиальной долины,



Рис. 7. Фотографии и основные кристаллографические формы типичных кристаллов алмаза.

Слева – номер кристалла по реестру, справа – масса кристалла, мг; сетка 1×1 мм.

Fig. 7. Photographs and main crystallographic forms of typical diamond crystals.

On the left – crystal number according to the registry, on the right – crystal mass, mg; grid 1×1 mm.

2) наличие депрессии тектонического или эрозионно-карстового типа преимущественно северо-восточного направления,

3) большие глубины или мощности осадков в пределах линейно вытянутой депрессии,

4) структурно-геологическая позиция развития депрессии рядом с надвиговой зоной и системами разломов на контакте пород Центрально-Уральского поднятия и Западно-Уральской зоны складчатости,

5) выходы известных промежуточных коллекторов алмазов в пределах водосборной площади бассейна.

Одним из поисковых признаков, указывающих на потенциальную алмазоносность отложений, могут служить индикаторы алмазоносных отложений – прослой или участки с повышенным содержанием гидроксидов железа (лимонита) в тяже-

лой фракции в основании и разрезе толщи терригенных комплексов в пределах депрессии. В районах золотоносных россыпей практики используют косвенные признаки для оконтуривания россыпей, косвенным признаком алмазоносности может быть площадное развитие особого типа гидроксидов железа, широко представленных в концентратах тяжелой фракции Сюзёвского месторождения.

Применение новых технологий, доказавших свою высокую эффективность при проведении работ на Сюзёвском месторождении россыпных алмазов, дает возможность изучение благородных металлов глубокозалегающих горизонтов эрозионно-карстовых депрессий на Восточном Урале. На их высокий, продуктивный потенциал указывали многие специалисты по россыпному золоту (Баранников, 2013; Баранников, Осовецкий, 2014). Использование технологии грей-

ферных шурфов при проведении крупнообъемного технологического опробования россыпей золота и минералов платиновой группы позволит исключить неопределенность, связанную с достоверностью учета крупных классов металла, которая неизбежно есть при промывке проб керна малого объема.

Благодарности

Авторы выражают искреннюю благодарность сотрудникам АО “Нью Граунд” в лице директора компании Старцева Юрия Германовича, который предложил и обеспечил внедрение технологии проходки грейферных шурфов; сотрудникам ООО “Алмайнинг” в лице директора Ёлшина Алексея Владимировича, который обеспечил возможность и достижение результата по открытию месторождения, а также начальнику горного участка АО “Нью Граунд” Горбунову Вадиму Андреевичу, минералогу ООО “Алмайнинг” Синкиной Ирине Валерьевне, а также всем сотрудникам, причастным к открытию месторождения. Авторы благодарны преподавателям геологического факультета Пермского университета и сотрудникам упраздненного отдела геологии Естественнонаучного института Пермского университета, где авторы получили базовое образование, имели постоянную возможность получать профессиональные консультации и работать над проектом.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Баранников А.Г. (2013) Рудоносность заполненного мезозойского карста на Урале: проблемы изучения. *Руды и металлы*, (4), 23-29.
- Баранников А.Г., Осовецкий Б.М. (2014) Платиновые и платиносодержащие россыпи Урала, критерии и признаки их пространственной связи с первоисточниками. *Изв. Уральского гос. горн. ун-та*, 3(35), 12-29.
- Беккер Ю.Р., Бекасова Н.Б., Ишков А.Д. (1970) Алмазные россыпи в девонских отложениях Северного Урала. *Литол. и полез. ископаемые*, (4), 65-75.
- Граханов С.А., Шаталов В.И., Штыров В.А., Кычкин В.Р., Сулейманов А.М. (2007) Россыпи алмазов России. Новосибирск: Академ. изд-во “Гео”, 457 с.
- Копылов И.С., Наумов В.А., Наумова О.Б., Харитонов Т.В. (2015) Золото-алмазная колыбель России. Пермь: ПГНИУ, 132 с.
- Коротков И.В. (2004) Информационный отчет по геологическому доизучению м-ба 1 : 200 000 листа 0-40-V. ФГУП “Геокарта-Пермь”.
- Кухаренко А.А. (1955) Алмазы Урала. М.: Госгеолтехиздат, 515 с.
- Лунев Б.С., Осовецкий Б.М. (1996) Мелкие алмазы Урала. Пермь: Изд-во Перм. ун-та, 128 с.
- Марусин В.М. (1990) Отчет о результатах общих поисков россыпей алмазов в мезокайнозойских депрессиях за 1981–1990 гг. Фонды ТГФ.
- Осовецкий Б.М., Наумова О.Б. (2014) Мелкие алмазы и их поисковое значение. Пермь: Изд-во Перм. ун-та, 142 с.
- Патык-Кара Н.Г., Беневольский Б.И., Быховский Л.З. и др. (1997) Россыпные месторождения России и других стран СНГ. М.: Науч. мир, 454 с.
- Попов А.Г. (2007) Аллювиальные россыпи алмазов Урала Пермского края. (База данных АлРосА ПК). Пермь, 146 с.
- Попов А.Г., Пактовский Ю.Г., Осовецкий Б.М. (2018) Перспективы алмазоносности Пермского края. *Эффективность геологоразведочных работ на алмазы: прогнозно-ресурсные, методические, инновационно-технологические пути ее повышения*: Мат-лы V Всерос. науч.-практич. конф. с междунар. участием, посвящ. 50-летию Алмазной лаборатории ЦНИГРИ – НИГП АК “АЛРОСА” (ПАО). Мирный: АЛРОСА, 144-148.
- Пунтусова Г.О. и др. (2003) Отчет по теме: “Составление прогнозно-металлогенической карты масштаба 1 : 200 000 Северного и Среднего Урала в пределах Центрально-Уральского поднятия и Западно-Уральской зоны складчатости”. Фонды ТГФ. Кн. 1. Пермь, 232 с.
- Чуйко В.А. (2022) Отчет о результатах геологического изучения (поиски и оценка) россыпных алмазов на участке недр “Глубокий” в Александровском муниципальном районе Пермского края (по состоянию на 01.06.2022). ФГБУ “Росгеолфонд”. ООО “Алмайнинг”. Пермь, 258 с.
- Шилов Н.А. (2002) Учение о россыпях. Теория россыпеобразующих рудных формаций и россыпей. Владивосток: Дальнаука, 575 с.

REFERENCE

- Barannikov A.G. (2013) Ore content of the filled Mesozoic karst in the Urals: problems of study. *Rudy i Metalliy*, (4), 23-29. (In Russ.)
- Barannikov A.G., Osovetskii B.M. (2014) Platinum and platinum-bearing placers of the Urals, criteria and signs of their spatial connection with primary sources. *Izv. Ural'skogo Gosudarstvennogo Gornogo Universiteta*, 3(35), 12-29. (In Russ.)
- Bekker Yu.R., Bekasova N.B., Ishkov A.D. (1970) Diamond-bearing placers in the Devonian deposits of the Northern Urals. *Litol. Polezn. Iskop.*, (4), 65-75. (In Russ.)
- Chuiiko V.A. (2022) Report on the results of the geological study (search and evaluation) of alluvial diamonds at the “Glubokiy” subsoil plot in the Aleksandrovsky municipal district of the Perm Territory (as of 01.06.2022). FGBU “Rosgeolfond”. ООО “Almaning”. Perm, 258 p. (In Russ., unpublished)
- Grakhanov S.A., Shatalov V.I., Shtyrov V.A., Kychkin V.R., Suleimanov A.M. (2007) Placers of Russian diamonds. Novosibirsk, Academic publishing house “Geo”, 457 p. (In Russ.)
- Kopylov I.S., Naumov V.A., Naumova O.B., Kharitonov T.V. (2015) Gold-diamond cradle of Russia. Perm, PGNIU, 132 p. (In Russ.)
- Korotkov I.V. (2004) Information report on geological additional study of scale 1 : 200,000 sheet 0-40-V. FSUE Geomap-Perm.
- Kukharenko A.A. (1955) Ural diamonds. Moscow, Gosgeoltekhizdat Publ., 515 p. (In Russ.)
- Lunev B.S., Osovetskii B.M. (1996) Small diamonds of the Urals. Perm, Perm University Publishing House, 128 p. (In Russ.)
- Marusin V.M. (1990) Report on the results of the general

- search for diamond placers in the Meso-Cenozoic depressions for 1981–1990. THF funds. (In Russ., unpublished)
- Osovetskii B.M., Naumova O.B. (2014) Small diamonds and their search value. Perm, Perm University Publishing House, 142 p. (In Russ.)
- Patyk-Kara N.G., Benevol'skii B.I., Bykhovskii L.Z. et al. (1997) Placer deposits of Russia and other CIS countries. Moscow, Nauch. Mir Publ., 454 p. (In Russ.)
- Popov A.G. (2007) Alluvial placers of diamonds in the Urals of the Perm Territory (Database AlRosA PK). Perm, 146 p. (In Russ.)
- Popov A.G., Paktovskii Yu. G., Osovetskii B.M. (2018) Prospects for the diamond content of the Perm Territory. *Efficiency of geological exploration for diamonds: predictive-resource, methodological, innovative and technological ways to increase it*. Materials of the V All-Russian Scientific practical conference with international participation dedicated to the 50th anniversary of the TsNIGRI Diamond Laboratory – NIGP AK “ALROSA”. Mirny, ALROSA (Public Joint Stock Company), 144–148. (In Russ.)
- Puntusova G.O. et al. (2003) Report on the topic: “Compilation of a predictive metallogenic map at a scale of 1 : 200,000 of the northern and middle Urals within the Central Ural uplift and the West Ural folding zone.” THF funds. Book 1. Perm, 232 p. (In Russ., unpublished)
- Shilo N.A. (2002) The doctrine of placers. Theory of placer-forming ore formations and placers. Vladivostok, Dal'nauka Publ., 575 p. (In Russ.)