

УДК 549.211

Б.М. Осовецкий¹, А.Г. Попов¹, Ю.Г. Пактовский¹, В.А. Чуйко²

¹Пермский государственный национальный
исследовательский университет, г. Пермь

²ООО «Алмайнинг», г. Пермь

ИСТОЧНИКИ ПИТАНИЯ И ИСТОРИЯ ФОРМИРОВАНИЯ УРАЛЬСКИХ РОССЫПЕЙ АЛМАЗОВ

Приводится обоснование кимберлитовой природы уральских россыпных алмазов. Излагается концепция формирования кайнозойских россыпей алмазов в палеодолинах западного склона Урала за счет перемиыва вторичных коллекторов (такатинской или колчимской свит, а также предположительно ордовика или венда). Предлагаются поисковые признаки, которые могут быть использованы при прогнозировании и поисках россыпей.

Ключевые слова: западный склон Урала, алмазы, россыпи, палеодолины, поисковые признаки.

DOI 10.170072/chirvinsky.2023.196

Введение. Разработка россыпных алмазов на Западном Урале началась в 1940 г. дражным способом. Разрабатывались россыпные аллювиальные отложения в долинах притоков р. Койвы (бассейн р. Чусовой). В 1955 г. алмазодобыча россыпных алмазов продолжилась в бассейне р. Вишеры в связи с открытием здесь более богатых россыпей. При этом значительно расширился перечень геологических объектов алмазодобычи. В их число входили долинные россыпи, речные террасы, погребенные аллювиальные отложения, вторичные коллекторы девонского (такатинская свита) и силурийского (колчимская свита) возраста [1, 2, 7, 9, 10, 17, 19]. Важным этапом в развитии представлений об алмазности территории являлось обнаружение двух алмазных полос (западной и восточной), ориентированных вдоль Урала.

Высокое качество уральских алмазов выдвинуло Уральский регион в число перспективных районов алмазодобычи в стране. В больших масштабах развернулись поисковые работы на алмазы на всей территории западного склона Урала. В результате была установлена алмазность речных отложений в бассейне р. Чикман, что означало открытие нового Яйвинского алмазного района. Россыпепроявления алмазов были обнаружены также в бассейне р. Белой. Таким образом, было установлено, что алмазы присутствуют в аллювиальных отложениях на

значительном протяжении вдоль западного склона Урала с постепенным снижением уровня алмазоносности в южном направлении.

Следующим качественно новым этапом в освоении ресурсов алмазов западного склона Урала являлось открытие промежуточных коллекторов (сначала такатинского, а затем силурийского). Были получены предварительные данные о находках алмазов в еще более древних отложениях (в частности, в ордовике) [16].

В дальнейшем постепенно объемы добычи алмазов сокращались в связи с отработкой богатых и переходом к разработке более бедных объектов. В 2013 г. добыча алмазов на Урале прекратилась. Тем не менее, остались неразработанными небольшие россыпепроявления с промышленными содержаниями алмазов, но с небольшим объемом горной массы, что не позволяло обеспечить загрузку имеющейся обогатительной техники.

На протяжении всего периода разработки россыпных месторождений проводились исследования по поискам коренных источников алмазов. Начиная с пионерской работы А.А. Кухаренко «Алмазы Урала» [8], были высказаны различные точки зрения о вероятных первоисточниках уральских алмазов. Например, А.А. Кухаренко считал, что таковыми являются пикриты. Сотрудник ВСЕГЕИ Ю.Д. Смирнов [23], многие годы занимавшийся изучением уральских алмазов, указывал, что «...алмазы вместе с терригенным материалом поступали с востока Русской платформы и Тимана», а «...наиболее вероятным и главным первоисточником алмазов на Урале следует считать кимберлиты...». Благоприятными для образования кимберлитов на платформе он считал различные периоды – от архея до границы перми и триаса. Тем не менее, идея о присутствии на западном склоне Урала местных коренных источников алмазов продолжала существовать. В частности, Б.Н. Соколов [24] предложил искать коренные источники алмазов на участках головных частей россыпей. Затем была высказана т.н. «туффизитовая» концепция, которую авторы данной статьи считают ненаучной. Все высказанные предположения о возможности присутствия коренных источников алмазов на территории западного склона Урала были проверены и не подтвердились.

В начале текущего века сотрудниками Пермского университета были проведены поисковые работы на территории восточных районов Восточно-Европейской платформы с целью установления признаков коренной алмазоносности, связанной с возможными слабоалмазоносными кимберлитами раннемезозойского возраста. На обширной территории Кировской области и Коми-Пермяцкого автономного округа были

обнаружены минералы-спутники, а в пределах Вятско-Камской впадины – мелкие алмазы [12]. Однако эти работы не позволили обнаружить прямых признаков присутствия раннемезозойских кимберлитов.

О первоисточниках уральских россыпных алмазов. Известно, что россыпные алмазы уральских россыпей отличаются высоким ювелирным качеством и, соответственно, стоимостью. Это обусловлено их большими размерами, прозрачностью и др. Модальный размерный класс алмазов в большинстве отработанных россыпей составлял 8–4 мм.

Детальное изучение изотопного состава углерода в уральских россыпных алмазах показало, что они ничем не отличаются от типичных кимберлитовых алмазов. В частности, для россыпных алмазов Урала значения $\delta^{13}\text{C}$ варьируют от $-1,74$ до $-24,3$ с модой в диапазоне от -4 до -7 , т.е. соответствуют типичным значениям для кимберлитовых алмазов [3]. В то же время он существенно отличается от алмазов другого генезиса [22].

Морфологически уральские алмазы представлены в основном октаэдроидами и додекаэдроидами. Некоторыми исследователями отмечалось, что округленность кристаллических форм уральских алмазов свидетельствует об особых типах коренных источников, имеющих не-кимберлитовое происхождение. Однако было установлено, что образование криволинейных поверхностей граней вместо гладкогранных является результатом растворения именно в мантийных условиях. При этом на поверхности образуются характерные мелкие бугорки, которые относят к регенерационным формам. Так, присутствие большого количества кристаллов с признаками природного растворения отмечено в трубке Юбилейная (Якутия) [6]. Другими исследователями было обосновано, что округленность форм алмазов является характерной особенностью их нахождения в кимберлитах окраинных частей платформ.

О кимберлитовой природе уральских алмазов свидетельствуют детальные исследования поверхностных форм под электронным микроскопом, проведенные в Пермском университете [11]. В частности, в свое время внимание исследователей привлекло присутствие на поверхности кимберлитовых алмазов свособразной непрозрачной оболочки (т.н. оболочечные алмазы). Их изучение под электронным микроскопом показало, что оболочки представлены агрегатами округлых микро- и наночастиц углерода, которые образовались на одной из стадий продвижения кимберлитов из глубинных зон мантии к поверхности (рис. 1). О одновременности образования в мантийных условиях центральных частей и внешней оболочки алмазов свидетельствуют также данные изотопного состава углерода [22, 27].

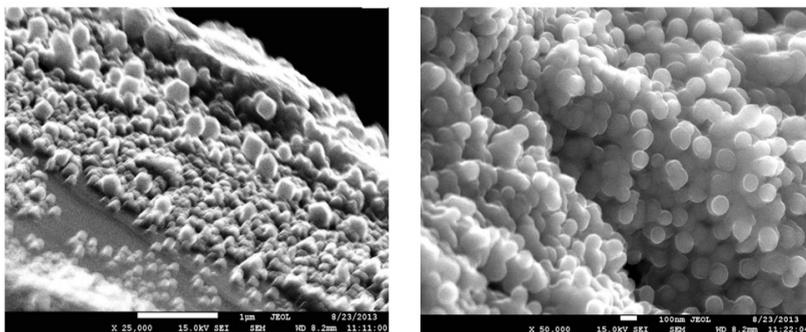


Рис. 1. Структура оболочки на кристаллах алмазов

Электронномикроскопические исследования высокого разрешения показали, что рост алмазов происходил в результате послойного отложения углеродного вещества с формированием исключительно правильной микро- и даже нанослоистости. Такой рост возможен только в мантийных условиях с длительным сохранением стабильной обстановки роста кристалла (рис. 2). На поверхности алмазов также часто обнаруживаются микроуглубления правильной геометрической формы [13]. Исследования других ученых показали, что они образуются только в мантийной обстановке [24].

Наконец, под электронным микроскопом на снимках с увеличением до 75 тыс. крат сотрудниками Пермского университета [13] были выявлены отчетливые признаки растворения на поверхности граней октаэдрических алмазов, которые могли появиться только в мантийных условиях (рис. 3).

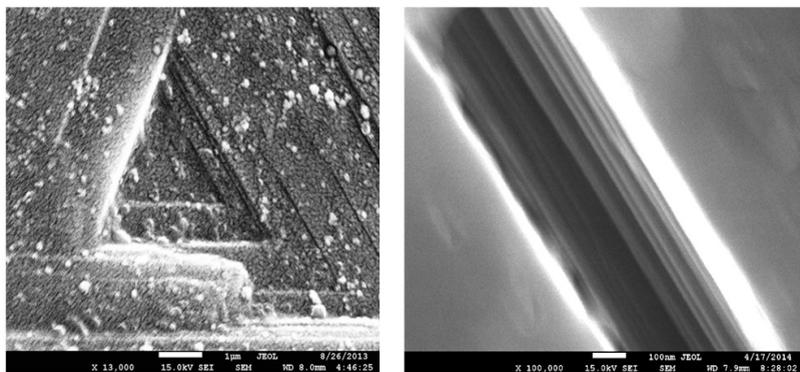


Рис. 2. Микро-и нанослоистость алмазов Урала

Все изложенное выше и работы других исследователей [20, 21] дают основание утверждать, что первоисточниками уральских россыпных алмазов являются кимберлиты. Главными остаются вопросы: каков их возраст и где они находятся.

Мы придерживаемся представления о том, что коренными источниками уральских россыпных алмазов являются кимберлиты предположительно докембрийского возраста, расположенные в восточных районах Восточно-Европейской платформы. Общеизвестно, что благоприятными зонами для формирования кимберлитов являются щиты в пределах платформ. На Восточно-Европейской платформе известны три таких щита: Балтийский (Скандинавский), Сарматский (Украинско-Воронежский) и Волго-Уральский.

В пределах Балтийского щита кимберлиты с промышленной алмазоносностью установлены в Архангельской провинции и слабоалмазоносные в Финляндии. При этом генетически связанных с ними россыпей не обнаружено. В пределах Сарматского щита кимберлиты найдены на Кировоградской площади Украины с присутствием слабоалмазоносных россыпей в неоген-палеогеновых отложениях [4].

Только в пределах Волго-Уральского щита кимберлиты пока не найдены. Основной причиной, по нашим данным, является их более древний возраст по сравнению с кимберлитами других щитов. В результате они залегают на больших глубинах (более 1,5 км) и отсюда недоступны для поисков и опробования.

Однако только здесь, на примыкающей территории западного склона Урала, имеется полоса промышленной россыпной алмазоносности значительной протяженности, ориентированная вдоль восточной

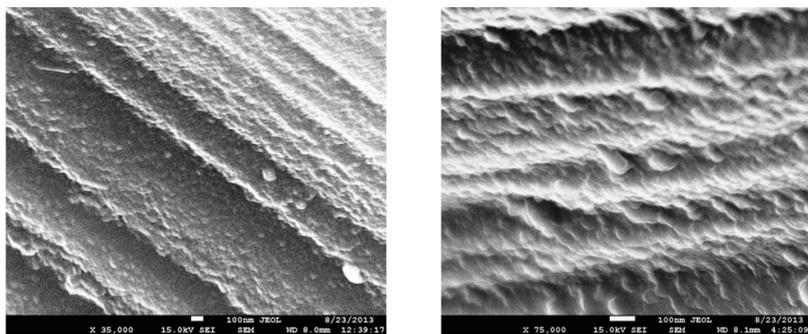


Рис. 3. Микро- и наносероховатость октаэдрических граней алмазов Красновишерского района

окраины щита. Кроме того, восточнее расположена еще одна аналогичная полоса с более слабой алмазонасностью. Наконец, алмазы присутствуют и в промежуточных коллекторах силурийского и девонского возраста.

Все эти особенности Уральского алмазонасного района могут быть обусловлены древним возрастом кимберлитов, расположенных на большой глубине на восточной окраине Волго-Уральского щита. В пользу высказанной концепции можно привести результаты определения абсолютного возраста зерен циркона в алмазонасных такатинских отложениях Вишерского района [19]. Он оказался в пределах от 1,86 до 3,05 млрд лет, что полностью исключает возможность их поступления за счет размыва близлежащих пород и в то же время указывает на древний возраст пород – первоисточников этих зерен, которыми могут быть древние коры выветривания в пределах Волго-Уральского щита. Эти же коры выветривания могли перекрывать и кимберлиты.

История формирования россыпности на западном склоне Урала. Возникает вполне закономерный вопрос: каким образом древние кимберлиты, расположенные за сотни и более километров от кайнозойских алмазонасных россыпей западного склона Урала, могли оказаться источниками их питания? Невозможно представить ситуацию, когда на таком удалении от кимберлитового источника в речной обстановке могли бы сформироваться промышленные россыпи алмазов. На примере Якутии известно, что по мере переноса от кимберлитового тела происходит закономерное снижение содержания россыпных алмазов, и уже на расстояниях до нескольких десятков километров они становятся непромышленными [5].

Ответ на данный вопрос может быть дан с учетом особенностей истории геологического развития Уральского региона. В частности, необходимо определить роль пород Волго-Уральского щита в процессах осадконакопления на прилегающих районах западного склона Урала. Основное значение при этом имеет факт длительного периода континентального выветривания пород кристаллического фундамента на востоке платформы, охватывающего промежуток времени до середины девона.

Гипотетические древние кимберлитовые тела в восточных районах Волго-Уральского щита, оказавшиеся на поверхности, в течение длительного периода континентального перерыва подвергались интенсивному выветриванию с формированием мощной коры выветривания. Такая кора выветривания на гнейсах и кристаллических сланцах фундамента вскрыта всеми глубокими скважинами, пробуренными на данной территории.

В то же время длительный процесс формирования коры выветривания на кимберлитах Волго-Уральского щита представлял собой проявление первого механизма концентрации алмазов, который сыграл важную роль в формировании промышленной россыпенности на западном склоне Урала.

Размыв алмазоносных кор выветривания осуществлялся реками последовательно в раннем силуре и раннем девоне. Предложенная концепция о древнем возрасте кимберлитов позволяет поставить вопрос о возможности речного переноса алмазов в ордовике и даже в венде. Это объясняет присутствие отдельных находок алмазов в ордовике, что ранее было использовано некоторыми специалистами как свидетельство наличия местных первоисточников алмазов на Урале.

Перенос алмазов древними палеопотоками происходил в восточном направлении, до морского побережья. При этом существование двух полос алмазоносности на западном склоне Урала могло быть результатом смещения в геологическом времени границ морского побережья, на котором происходило накопление алмазов. Несомненно, по мере транспортировки должно было происходить постепенное снижение концентраций алмазов в руслах палеорек, которые явно не могли достигать промышленных значений.

Однако в условиях прибрежно-морской волновой деятельности в раннем силуре и затем в раннем девоне на побережьях реализовался процесс формирования «естественных» шлихов с появлением локальных высоких концентраций алмазов. Одновременно под влиянием преобладающего направления ветра происходила транспортировка алмазов вдоль побережий древних морей на значительное расстояние. При этом в благоприятных для сортировки алмазов фациальных зонах происходило их накопление. Именно эти процессы привели к формированию протяженных полос алмазоносности вдоль западного склона Урала до территории Башкирии и способствовали образованию промежуточных коллекторов алмазов в терригенных отложениях колчимской и такатинской свит с промышленной алмазоносностью.

Аналогом этих коллекторов может служить протяженная зона современных прибрежно-морских россыпей алмазов на морском побережье Намибии [25, 28]. Существует ряд признаков, которые указывают на сходство условий их образования: концентрация алмазов в отдельных линзовидных прослоях, постепенное снижение содержаний алмазов вдоль побережья и др.

Важнейшим является вывод о том, что прибрежно-морская сортировка обломочного материала на побережьях силурийского и

девонского морей оказалась проявлением второго механизма концентрации кимберлитовых алмазов. Необходимо подчеркнуть, что он совершался уже на территории, расположенной далеко к востоку от первоисточников алмазов.

Остается выяснить вопрос о механизме формирования промышленной алмазоносности в кайнозойской речной сети на территории западного склона Урала. Важность этого вопроса объясняется тем, что именно эти отложения были главным источником добычи алмазов и могут стать таковыми в будущем.

На основании изложенной выше концепции следует вывод о том, что такие россыпи могли сформироваться только в долинах рек, размывающих промежуточные коллекторы алмазов. Однако такой размыв в большинстве случаев неизбежно должен был сопровождаться снижением концентраций алмазов в долинах рек, которые вряд ли могли достигать промышленных кондиций.

Для объяснения природы формирования промышленных россыпей алмазов кайнозойского возраста необходимо учитывать проявление еще одного фактора концентрации алмазов – энергию руслового потока. Соответствующая гидродинамика речных кайнозойских палеопотоков оказалась третьим в длительном периоде геологического времени механизмом концентрации кимберлитовых алмазов и обязательным условием для формирования россыпей этого возраста на западном склоне Урала.

Для реализации этого механизма, кроме наличия вторичного коллектора, требуются и другие благоприятные условия – активная роль неотектонического фактора и блоковой тектоники, стимулирующих энергичный и длительный размыв отложений вторичного коллектора, и достаточно крупная палеодолина, что обеспечивает накопление значительных объемов горной массы.

Критерии поисков россыпных алмазов на западном склоне Урала. Предлагаемая концепция формирования кайнозойской россыпности на западном склоне Урала должна быть дополнена в дальнейшем привлечением более обширного фактического материала. Одной из первоочередных задач следующего этапа является разработка эффективного прогнозно-поискового комплекса (ППК) на россыпные алмазы данного района. В его состав наряду с тектоническими, геофизическими, палеогеографическими и геоморфологическими следует включить тематические исследования, которые вытекают из рассмотренных выше прогнозных критериев алмазоносности. В частности, необходимо учесть вопросы, связанные с формированием древней речной сети

(прежде всего, четвертичного, но также миоценового и олигоценного возраста) на западном склоне Урала.

Специалистами должны быть намечены и обоснованы районы для проведения прогнозно-поисковых работ на россыпные алмазы в палеодолинах. Они, прежде всего, должны быть приурочены к районам распространения крупнообломочных литофаций такатинских и колчимских терригенных пород. Необходимы надежные геофизические методы, позволяющие установить блоковое строение района исследования, идентифицировать активно опускающиеся блоки, оконтурить древнюю речную долину с установлением ее параметров. Изначально следует учитывать, что алмазы могут накапливаться только в грубообломочных русловых фациях палеодолин с накоплением достаточных для разработки объемов горной массы.

Одной из проблем, требующих специального исследования, остается выяснение вопроса о возможности существования более древних промежуточных коллекторов алмаза (ордовик, венд) и их роли как источников питания кайнозойских россыпей.

При переходе к этапу поискового бурения в перспективных палеодолинах необходимо применять эффективную комплексную методику изучения kernового материала с оценкой гранулометрии и морфологии обломочного материала (как индикаторов динамики водного палеопотока) и минерального состава аллювия (как индикатора размыва вторичного коллектора и роли других источников питания в качестве разубоживающего фактора).

Закключение. Авторами статьи предложена концепция формирования алмазоносных промежуточных коллекторов и кайнозойских россыпей алмазов в палеодолинах западного склона Урала, основанная на признании кимберлитовой природы алмазов. Предполагается присутствие кимберлитов докембрийского возраста на восточной окраине Волго-Уральского щита. В течение длительного геологического времени на них формировалась мощная кора выветривания. Размыв продуктов выветривания производился древними речными потоками с переносом алмазов в восточном направлении (в частности, в силурийское и такатинское время). На морских побережьях происходила концентрация алмазов за счет прибрежно-морской волновой деятельности с формированием промежуточных коллекторов алмазов. Кайнозойские россыпи, приуроченные к древним палеодолинам, были сформированы за счет размыва соответствующих промежуточных коллекторов [18].

Речные отложения кайнозойского возраста в палеодолинах на территории западного склона Урала, по мнению авторов статьи, являются

перспективными источниками россыпных алмазов, которые могут обеспечить возобновление и в перспективе наращивание алмазодобычи в этом районе страны [14, 15, 19]. В связи с этим указано на необходимость разработки эффективного прогнозно-поискового комплекса на россыпные алмазы Урала с использованием данной концепции.

Рассмотренные в статье проблемы связи россыпей с удаленными источниками питания могут быть учтены и использованы специалистами, работающими и в других алмазоносных районах страны, в первую очередь в Якутии и прилегающих алмазоносных районах Иркутской области и Красноярского края.

Библиографический список

1. *Бекасова Н.Б.* К методике литолого-минералогического изучения осадочных и осадочно-метаморфических толщ // Матер. по геологии и металлогении Кольского полуострова. Апатиты, 1971. Вып. 2. С. 21–30.
2. *Беккер Ю.Р., Бекасова Н.Б., Ишков А.Д.* Алмазоносные россыпи в девонских отложениях Северного Урала // Литол. и полезн. ископаемые, 1970. № 4. С. 65–75.
3. *Галимов Э.М., Соболев Н.В., Ефимова Э.С. и др.* Изотопный состав углерода алмазов, содержащих минеральные включения, из россыпей Северного Урала // Геохимия, 1989. №9. С. 1363–1370.
4. *Гейко Ю.В., Гурский Д.С., Лыков Л.И. и др.* Перспективы коренной алмазности Украины. Л.: Центр Европы, 2006. 224 с.
5. *Граханов С.А., Шаталов В.И., Штыров В.А. и др.* Россыпи алмазов России. Новосибирск: ГЕО, 2007. 457 с.
6. *Егоров К.Н., Карпенко М.А., Кошкарев Д.А. и др.* Вещественно-индикационные признаки алмазности многофазных кимберлитовых трубок (на примере трубки «Юбилейная») // Алмазы и благородные металлы Тимано-Уральского региона. Сыктывкар, 2006. С. 21–22.
7. *Каминский Ф.В., Клюев Ю.А., Константиновский А.А. и др.* Находки алмазов в палеозойских отложениях Тимана // Докл. АН СССР. 1976. № 4. С. 917–920.
8. *Кухаренко А.А.* Алмазы Урала. М.: Гостеолтехиздат, 1955. 515 с.
9. *Лунев Б.С., Осовецкий Б.М.* Мелкие алмазы Урала. Пермь: Пермский ун-т, 1996. 128 с.
10. *Осовецкий Б.М.* Эволюция мезозойского континентального осадконакопления и алмазность территории Вятско-Камской впадины // Уч. зап. Казанского ун-та. 2011. Вып. 153, № 4. С. 218–221.
11. *Осовецкий Б.М.* Наноминералогия. Уч. пособие. Пермь: Пермский ун-т, 2021. 182 с.
12. *Осовецкий Б.М., Казымов К.П., Губин С.А.* Поиски кимберлитов на востоке Восточно-Европейской платформы // Известия вузов. Геология и разведка. 2010. № 4. С. 37–43.
13. *Осовецкий Б.М., Наумова О.Б.* Мелкие алмазы и их поисковое значение. Пермь: Пермский ун-т, 2014. 142 с.
14. *Осовецкий Б.М., Пактовский Ю.Г., Попов А.Г.* Перспективы алмазности Пермского края // Матер. V Всерос. конф., посвящ. 50-летию Алмазной лаб. ЦНИГРИ – НИГП АК «Алроса» (ПАО). Мирный, 2018. С. 144–148.
15. *Осовецкий Б.М., Попов А.Г., Пактовский Ю.Г.* Пермский университет и программа прогнозно-поисковых работ на алмазы // Геология и полезные ископаемые Западного Урала. Пермь, 2015. С. 45–51.

16. *Пактовский Ю.Г.* Проблема алмазности помянёновской свиты // Проблема минералогии, петрографии и металлогении. Вып. 25. Пермь: Изд-во Пермского ун-та, 2022. С. 199–208.
17. *Пактовский Ю.Г.* Силурийский промежуточный коллектор алмазов (Южное Притиманье, Пермский край) // Вестник Пермского университета. Геология. 2021. Том 20, № 4. С. 301–319.
18. *Попов А.Г.* Геодинамика и россыпи алмазов Урала // Россыпи и месторождения кор выветривания: изучение, освоение, экология. Мат-лы XV Международного совещания по геологии россыпей и месторождений кор выветривания (РКВ – 2015). Перм. гос. нац. исслед. ун-т. Пермь, 2015. С. 199–200.
19. *Попов А.Г.* Алмазность Урала – XXI век // Научно-методические основы прогноза, поисков, оценки месторождений алмазов, благородных и цветных металлов. X Международная науч.-практ. конф. (13–16 апреля 2021 г., Москва, ФГБУ «ЦНИГРИ»). Сб. тезисов докладов. М.: ФГБУ «ЦНИГРИ», 2021. С. 175–176.
20. *Прокопчук Б.И., Суходольская О.В., Метелкина М.П.* Использование специфических свойств уральских алмазов для оценки возраста и генезиса их источников // Разведка и охрана недр. 1974. № 5. С. 6–8.
21. *Пыжова Е.С., Потова И.С.* Результаты изотопного датирования обломочных (детритовых) цирконов из песчаников алмазносной эмской (нижний девон) такатинской свиты Западного Урала // Вестник РУДН. Серия Инженерные исследования. 2015. №1. С. 45–51.
22. *Силаев В.И., Петровский В.А., Сухарев А.Е.* Изотопно-углеродная неоднородность карбонадо в связи с проблемой происхождения алмазов // Алмазы и благородные металлы Тимано-Уральского региона. Сыктывкар, 2006. С. 34–37.
23. *Смирнов Ю.Д.* Источники алмазов уральских россыпей // Геология россыпей. М.: Наука, 1965. С. 279–282.
24. *Соколов Б.Н.* Образование россыпей алмазов. Основные проблемы. М.: Наука, 1982. 94 с.
25. *Шмаков И.И., Божко Е.Н.* Происхождение морских россыпей алмазов Намибии // Вестник ВГУ. Серия Геология. № 1. 2008. С. 116–126.
26. *Bangert U., Barnes R., Houmsome L.S. et al.* Electron energy loss spectroscopic studies of brown diamonds // Phil. Mag. 2006. Vol. 29–30. P. 4757–4779.
27. *Boyd S., Pineau F., Javoy M.* Modelling the growth of natural diamonds // Chemical Geology. 1994. Vol. 116. P. 29–42.
28. *Sutherland D.G.* The transport and sorting of diamonds by fluvial and marine processes // Econ. Geol. 1982. Vol. 77, No 7. P. 1613–1620.

THE SOURCE ROCKS AND THE HISTORY OF THE URALS PLACER DIAMONDS FORMING

B.M. Osovetsky, A.G. Popov, Y.G. Paktovskiy, V.A. Chuyko

opal@psu.ru

The kimberlite origin of the placer diamonds in the Urals is stated. The conception of Cenozoic diamond placers forming in paleovalleys of the western slope of the Urals is suggested. They were originated due to re-washing of the Devonian or Silurian intermediate collectors. The prospecting criteria for prognostication of placers are offered.

Keywords: the Western Urals, diamond placers, kimberlites, paleovalleys, prospecting criteria.