



МИНЕРАЛОГИЯ, ПЕТРОГРАФИЯ, ПЕТРОЛОГИЯ

УДК 549.211:549:553.81

СРАВНИТЕЛЬНАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ТИПОМОРФНЫХ ОСОБЕННОСТЕЙ АЛМАЗОВ ИЗ ТЕРРИГЕННЫХ ОТЛОЖЕНИЙ ВОРОНЕЖСКОЙ АНТЕКЛИЗЫ (ЛИПЕЦКАЯ ОБЛАСТЬ) И УКРАИНСКОГО ЩИТА (СРЕДНЕЕ ПРЕДНЕПРОВЬЕ) В СВЯЗИ С ПРОБЛЕМОЙ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ И ПОИСКОВ ИХ КОРЕННЫХ ИСТОЧНИКОВ

Н.Н. Зинчук, А.Д. Савко*, В.И. Коптиль, А.И. Чашка**, Ю.А. Полканов**,
Е.Ю. Палкина**, А.Я. Хренов**, Л.Т. Шевырев*

*АК «АЛРОСА», Якутское научно-исследовательское геологоразведочное предприятие
ЦНИГРИ. г. Мирный, Республика Саха (Якутия)*

**Воронежский государственный университет*

***Украинский государственный институт минеральных ресурсов,
г. Симферополь, Украина*

Приводятся результаты сравнительного анализа комплексных исследований алмазов двух пространственно-разобщенных россыпных алмазоносных районов юго-запада Восточно-Европейской платформы. Алмазы представлены полигенной смесью кимберлит-лампроитового, метаморфогенного, импактного и невыясненного генезиса. Сделаны выводы о преобладании в россыпях алмазов кимберлит-лампроитового генезиса с повышенным содержанием кристаллов эклогитового парагенезиса, в отличие от других регионов (Якутия и север Восточно-Европейской платформы). Приведены сведения по геологическому строению алмазоносных титано-циркониевых россыпей этих районов. Результаты комплексных минералогических исследований алмазов свидетельствует о заметном различии типоморфных особенностей двух регионов, что может свидетельствовать о существовании в пределах юго-запада Восточно-Европейской платформы двух алмазоносных субпровинций. Рекомендуется провести дополнительное опробование более грубозернистых терригенных отложений в этих регионах для наработки представительного количества макроалмазов с детальным комплексом исследований для решения вопроса об их источниках.

Алмаз – полигенный минерал с широким комплексом типоморфных особенностей, отражающих своеобразие термодинамических и геохимических условий его образования. К их числу относятся морфология, конституция (структурно-текстурные особенности), окраска, примесный состав, фиксируемый такими методами как фотолюминесценция, инфракрасная спектроскопия, электромагнитный резонанс, минералогия твердых включений, изотопный состав углерода и др. Многолетний опыт исследований алмазов позволяет выделить комплекс типоморфных особенностей, которые дают возможность с высокой долей вероятности отнести алмаз к определенному генетическому типу: кимберлит-лампроитовому, метаморфогенному, ударно-метаморфогенному (импактному), метеоритному и невыясненного генезиса [1-6].

Алмазы кимберлитов и лампроитов представлены разностями как ультраосновного, так эклогитового парагенезисов. Кристаллы ультраосновного парагенезиса представлены бесцветными или слабо окрашенными октаэдрами, ромбододекаэдрами и кристаллами переходного от октаэдрического к ромбододекаэдрическому габитусам. Характеризуются они преобладающей сине-голубой и розово-сиреневой фотолюминесценцией и «тяжелым» изотопным составом углерода, близким к углероду разностей мантийного генезиса.

Алмазы эклогитового парагенезиса кимберлитов отличаются повышенным количеством бесцветных, серых, желтых и зеленых кубов с желто-зеленой фотолюминесценцией, примесью парамагнитного азота, аномально-утяжеленным или аномально-облегченным изотопным составом углерода.

Алмазы эклогито-гнейсовых комплексов метаморфогенного генезиса [6] характеризуются желтой, желто-зеленой и серой окрасками и преобладанием кубической формы кристаллов. Отличаются слабой фотолюминесценцией, облегченным изотопным составом углерода и примесью парамагнитного азота.

Алмазы импактитов ударно-метаморфогенного генезиса [2, 7, 8] имеют специфическую форму в виде гексагональных табличек, пластинок, чешуек, сланцеватых зерен, желтую до черной, редко белую окраску, отличаются структурными особенностями и примесью лонсдейлита.

Алмазы невыясненного генезиса (карбонадо) характеризуются однофазностью (кубическая фаза углерода), поликристаллическими выделениями, матированными фарфоровидными поверхностями, черной, серой и белой окрасками, облегченным изотопным составом углерода и другими специфическими физическими свойствами.

Исходя из этого, благодаря широкому многообразию алмазосодержащих пород и полигенности кристаллов алмаза, определение их типоморфных пород и полигенности кристаллов, установление их типоморфных особенностей становится важнейшей задачей при исследованиях для решения вопросов прогнозно-поискового характера.

Объектом наших исследований явились алмазы из терригенных отложений Украинского щита (Среднее Приднепровье) и Воронежской антеклизы (Липецкая область), история обнаружения которых насчитывает 40 лет, а поиски коренных источников до настоящего времени не увенчались успехом. Эти территории находятся в пределах юго-западной части Восточно-Европейской платформы в областях кратонов, разделенных Днепровско-Донецким авлакогеном, что согласуется с правилом Клиффорда о приуроченности алмазонасных кимберлитов к участкам, возраст кратонизации фундамента которых превышает 1,5 млрд. лет.

Алмазы обеих территорий представлены микрокристаллами класса $-0,5+0,1$ мм, что соответствует крупности минералов тяжелой фракции алмазонасных терригенных отложений, представленных, преимущественно, мелко- и тонкозернистыми песчаными фациями. Извлечение алмазов производилось в УкрГИМРе (г. Симферополь) по разработанной технологии для извлечения класса $+0,1$ мм, включающей элементы пенной и магнитной сепарации, а также термохимического разложения [9, 13].

Исследование алмазов производилось с использованием минералогической классификации алмазов, предложенной Ю.Л. Орловым [10], имеющей глубокое физическое обоснование [2, 11], с разделением алмазов отдельных разновидностей по габитусу и морфологическим типам кристаллов [2], а также с применением схемы описания алмазов УкрГИМРа [12], на основе которой выделены генетические типы алмазов [4, 5].

В процессе работы над настоящей публикацией нами в полной мере переработаны имеющиеся опубликованные работы [8, 13, 14], а также проведено ревизионное изучение 2358 алмазов Самотканской россыпи специалистами УкрГИМРа и 257 алмазов Малышевского месторождения (Украина) специалистами ЯНИГП ЦНИГРИ. Исследована также сохранный коллекция по Волчинской россыпи, хранящаяся в УкрГИМРе и Воронежском университете, включающая Волчинскую I, III партии и суммарную, коллекцию Ю.А. Полканова (всего 411 шт.). Кроме того, совместно со специалистами УкрГИМРа и ЯНИГП ЦНИГРИ проведено изучение новых находок алмазов территории Воронежской антеклизы (в основном Волчинская россыпь) в количестве 91 шт. В итоге общее количество алмазов по двум территориям, изученных специалистами упомянутых организаций, составляет 3117 штук, что позволяет достаточно полно охарактеризовать типоморфизм кристаллов двух пространственно-разобобщенных регионов юго-западной части Восточно-Европейской платформы и сопоставить их с алмазами других регионов [1, 2, 6].

Алмазы Среднего Приднепровья приурочены преимущественно к неогеновым россыпям обширного региона в пределах северо-восточной части и склонов Украинского щита. В строении россыпного района участвуют породы докембрийского фундамента и перекрывающие их преимущественно кайнозойские и четвертичные осадки. Наиболее древними являются песчано-глинистые осадки бучакской свиты палеогена, мощностью до 20 м. Их перекрывают продуктивные пески полтавской серии (до 40 м) и сарматского яруса (до 30 м). Почти повсеместно развиты четвертичные глины и суглинки мощностью до 40 м.

Алмазонасные россыпи тяготеют к полтавским и сарматским прибрежно-морским отложениям и расположены на склоне Украинского щита, на границе с Днепровско-Донецкой впадиной (бассейны рек Самоткань и Волчья), а также в его северо-восточной части. Наиболее крупная и изученная россыпь (Самотканская) приурочена к верхнему горизонту полтавской серии и к сарматским пескам. Россыпь в бассейне р. Волчьей представлена несколькими залежами в песках среднего сармата. В северо-восточной части Украинского щита одна из россыпей связана с полтавско-сарматскими отложениями, в которых выделяют два горизонта: нижний – светлые мелкие и тонкие кварцевые пески, верхний – кварцевые пески и песчаники. Рудные залежи линзовидные. Другая россыпь в той же части щита приурочена к среднему горизонту полтавской серии и представлена пластовой залежью с линзовидными рудными прослоями.

Неогеновые россыпи отличаются значительной протяженностью рудных залежей - до 15-20 км. при мощности до 15-20 м. Все россыпи являются комплексными титано-циркониевыми. Основные тяжелые минералы: измененный ильменит, рутил.

циркон, ставролит, дистен и силлиманит. Указанные россыпи близки по минеральному составу и отличаются лишь соотношением основных минералов, а полтавские рудоносные пески, по сравнению с сарматскими, также и меньшими размерами минеральных частиц и слабее окатанным песчаным материалом.

Алмазы впервые обнаружены в мелкозернистой россыпи в 1963 году в результате целенаправленных поисков в рудоносных песках Самотканского месторождения [13]. В дальнейшем находки многократно воспроизводились при исследовании исходных песков, различных продуктов технологической переработки и хвостов обогащения в процессе лабораторных и полупромышленных испытаний. попутно и специально. Россыпь послужила модельным объектом для изучения распределения алмазов в мелкозернистых песках бесплотиковых россыпей. В результате исследований было установлено, что алмаз ведет себя в песчаном осадке аналогично другим тяжелым минералам и концентрируется совместно с ними, а не в безрудных прослоях. Полученные данные были использованы при установлении алмазоносности аналогичных по строению и составу мелко- и тонкозернистых отложений россыпей, особенно титано-циркониевых, различных регионов.

Исследованы также меловые россыпи Липецкой области, расположенные в центре Русской плиты, в пределах северо-восточного склона Воронежской антеклизы. Кристаллические породы докембрийского фундамента перекрыты здесь мезокайнозойскими осадками. Рудные залежи меловых россыпей простираются до 15-20 км. Тяжелыми минералами обогащены верхние их части. Нижнемеловая Волчинская россыпь расположена в районе с. Волчье (Липецкая область) и приурочена к аптским отложениям водораздела рек Дон и Воронеж, лежащим на песчано-алевролитовой толще баррема. Мощность продуктивных песков достигает 45 м. Линзовидные рудные залежи расположены кулисообразно. Аптские пески перекрыты четвертичными суглинками и песками. В аптских песках Волчинской россыпи алмазы обнаружены в 1969 году, сначала в частной, а затем в представительной технологической пробе, отобранной из естественного обнажения. Позже кристаллы алмаза дополнительно выделялись из дубликата технологической пробы и из сохранившихся продуктов обогащения. В общей сложности переработано около 2 тонн песков, обогащенных тяжелой фракцией (21,6%). Выделено свыше 400 кристалликов алмаза.

В 2002 году Воронежским государственным университетом были проведены дополнительные опробовательские и технологические работы по извлечению алмазов из Волчинской россыпи, а также из других выходов меловых песчаных отложений в пределах Липецкой области. Отобрано было 14 проб общей массой более 60 тонн, обогащенных в УкрГИМРе. Алмазы были установлены в 5-ти пробах, в том числе в 20-тонной пробе из района с. Волчье –

79 знаков, и в, примерно, 2-х тонных пробах из районов сел Кудияровка (Измалковский район) и Захаровка (Воловский район) – по 1 знаку, В.Колыбелька – 3 знака, из района г. Лев Толстой – 10 знаков. Общее количество извлеченных алмазов составило 91 знак.

Алмазы Среднего Приднепровья

В общей сложности переработана УкрГИМ-Ром тысяча тонн песков Самотканской россыпи и выделено более 20 тысяч зерен алмаза. По остальным россыпям Приднепровья (Волчанская, Зеленоярская, Тарасовская и Красноярская) обогащены первые тонны материала (до 6 т) по каждому объекту и наработаны десятки и сотни зерен алмаза по различным месторождениям. Размер зерен класса $0,5+0,1$ мм колеблется в пределах 70-600 мкм при средней массе зерен от 23 до $230 \text{ мг} \cdot 10^{-4}$ и количестве на 1 карат от 9 до 87 тысяч штук.

Кристалломорфология. Алмазы представлены (рис. 1) кристаллами разного габитуса, среди них – куб, октаэдр, ромбододекаэдр, комбинация этих форм, кристаллы с оболочкой, двойники, сростки, поликристаллические агрегаты (в том числе борт, баллас, карбонадо). Своеобразны космогенные сланцеватые алмазы. По усредненным данным [13] в россыпях Приднепровья среди правильных многогранников преобладают кубы. По результатам более поздних определений преобладающей формой кристаллов в Самотканской россыпи являются октаэдры, их обломки и осколки.

Кристаллы кубического габитуса. В полтавских слоях кубов алмаза несколько больше, чем в сарматских (рис. 2). Грани куба обычно шероховатые, неровные, а ребра выражены нечетко. Алмазы представлены кубом (гексаэдром), его кривоугонным аналогом – кубоидом (гексаэдроидом) и их комбинацией с постепенными переходами между этими формами. Встречаются кубы с оболочкой и мелкозернистые. Отмечены кубы с вогнутыми гранями и блокового строения. Иногда отмечаются дополнительные грани октаэдра и ромбододекаэдра. Встречен тетрагексаэдр. Плоскогранные алмазы представлены кубом в самостоятельном развитии, реже – комбинацией с октаэдром и ромбододекаэдром, изредка – с пирамидальным кубом. Встречаются псевдокубы. Их можно рассматривать как параллельные сростки октаэдрических кристалликов. Кубические поверхности образованы многочисленными вершинками. Плоскогранно-кривоугонные кристаллы часто являются комбинацией куба, кубоида, тетрагексаэдроида и додекаэдроида в разных сочетаниях.

Кубоиды условно можно подразделить на сфероидальные, тетрагексаэдрические и смешанные с различной кривизной граней. Иногда ребра замещены округленными поверхностями (110) и скульптурированы поперечными бороздками и удлиненными холмиками. Иногда ребра едва заметны. В местах

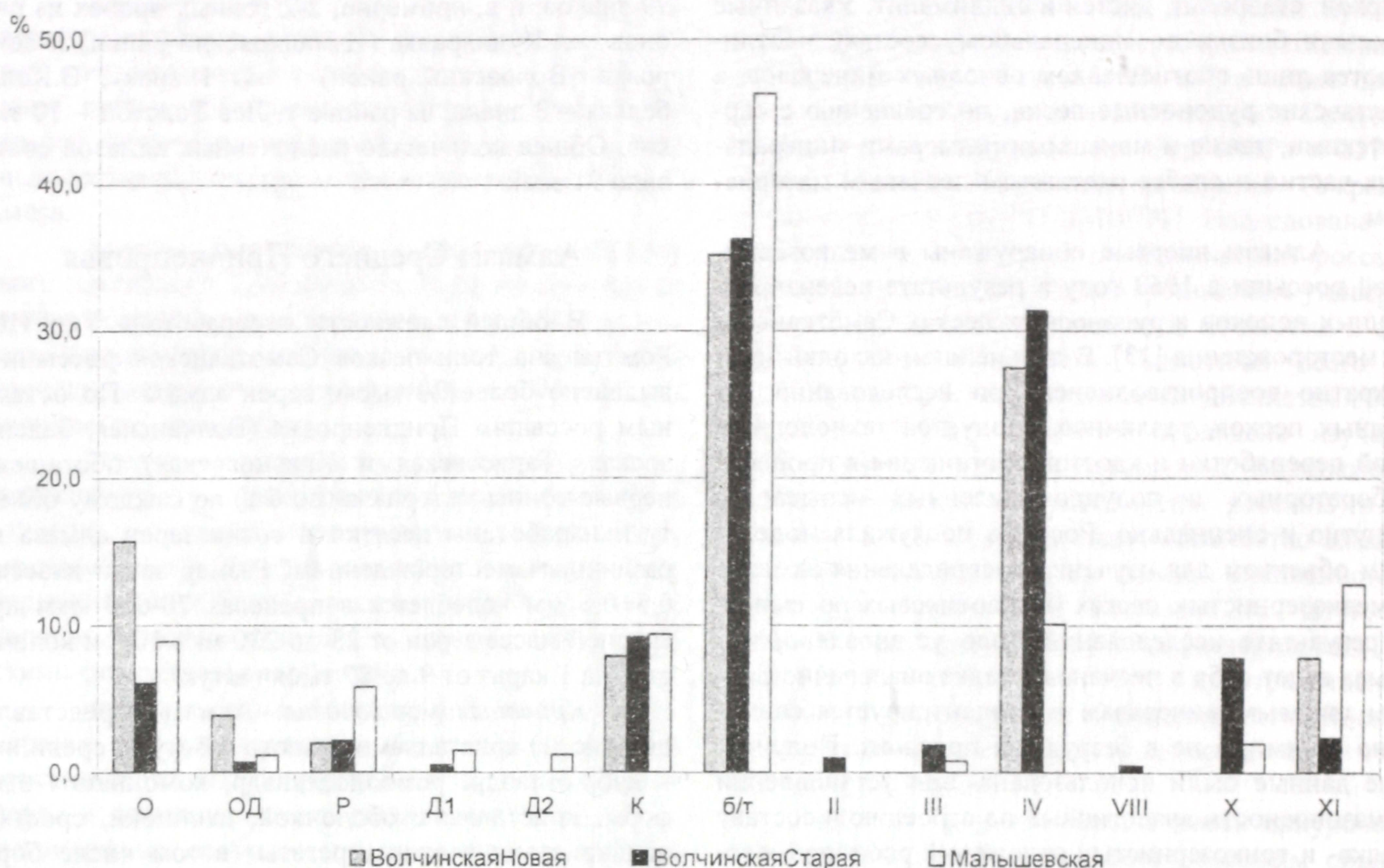


Рис. 1. Типоморфные особенности алмазов россыпей Волчинская Новая, Волчинская Старая, Малышевская: I, II, IV, VIII, X, XI – разновидности алмазов по Ю.Л. Орлову (O – октаэдры, OD – переходные формы, P – ламинарные ромбододекаэдры, D1 – додекаэдры скрытослоистые, D2 – додекаэдры с шагренью, K – кубы, б/т – осколки)



Рис. 2. Алмазы кубического габитуса из россыпей Приднепровья

выхода тройных осей вершины некоторых кубоидов притуплены. На месте отдельных граней могут располагаться округлые углубления или квадратные впадинки. Часть кубоидов имеет зональное строение. Своеобразные сиреневые сфероидальные кубоиды не находят аналогов среди известных материнских источников. Поверхность кубоидов обычно матовая, шероховатая, неровная, часто скульптурирована квадратными углублениями и выступами. Кубы с идеальными гранями встречаются редко. Часто кубоиды матированы.

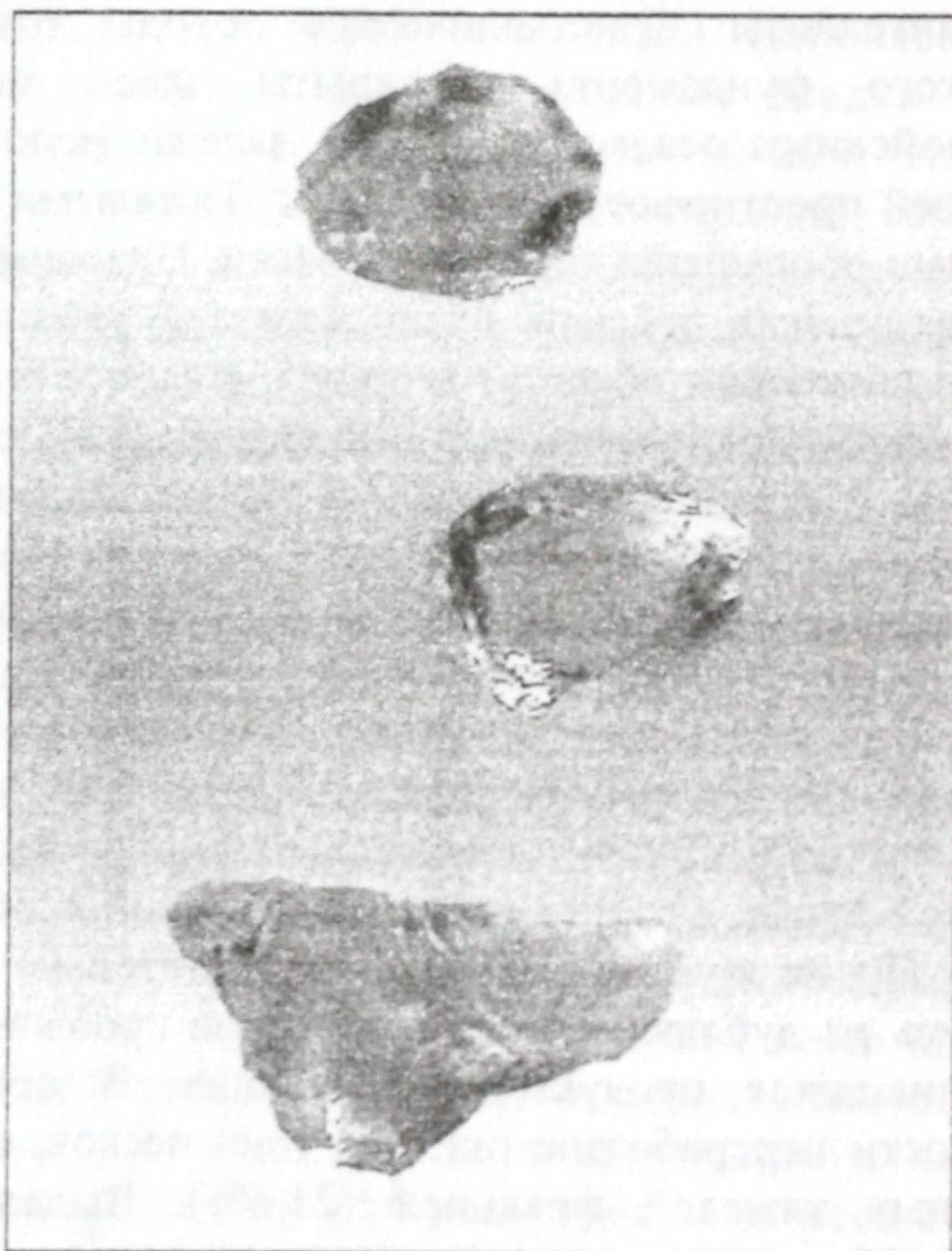


Рис. 3. Алмазы октаэдрического габитуса из россыпей Приднепровья

Кристаллы октаэдрического габитуса (рис. 3) в основном плоскогранные. Октаэдроид встречается редко. Есть переходные плоскогранно-кривогранные октаэдры. Иногда присутствуют дополнительные грани других простых форм. Идеальные октаэдры встречаются редко. Вершины и ребра кристаллов часто округлены, иногда расширяются к

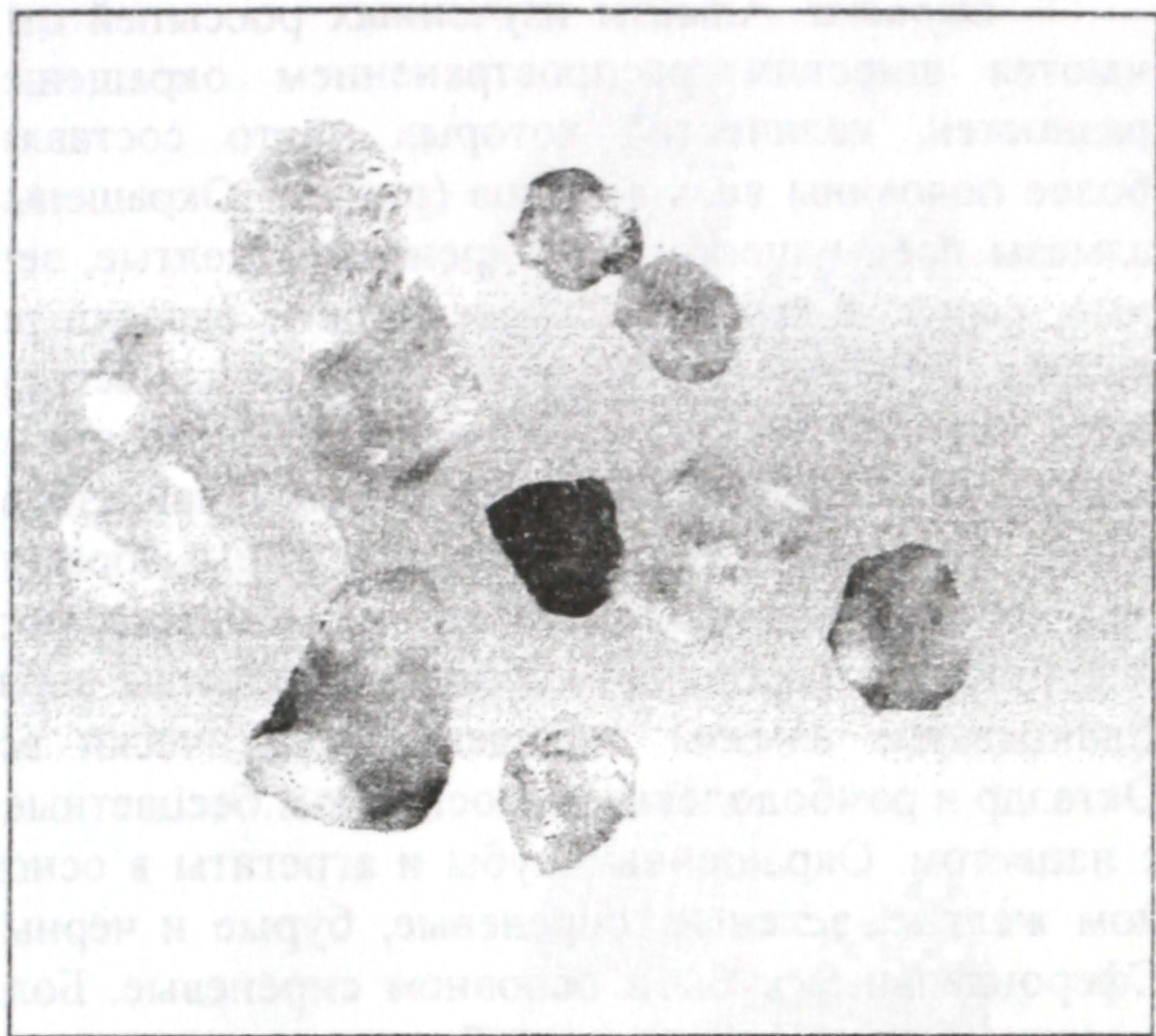


Рис. 4. Алмазы ромбододекаэдрического габитуса из россыпей Приднепровья

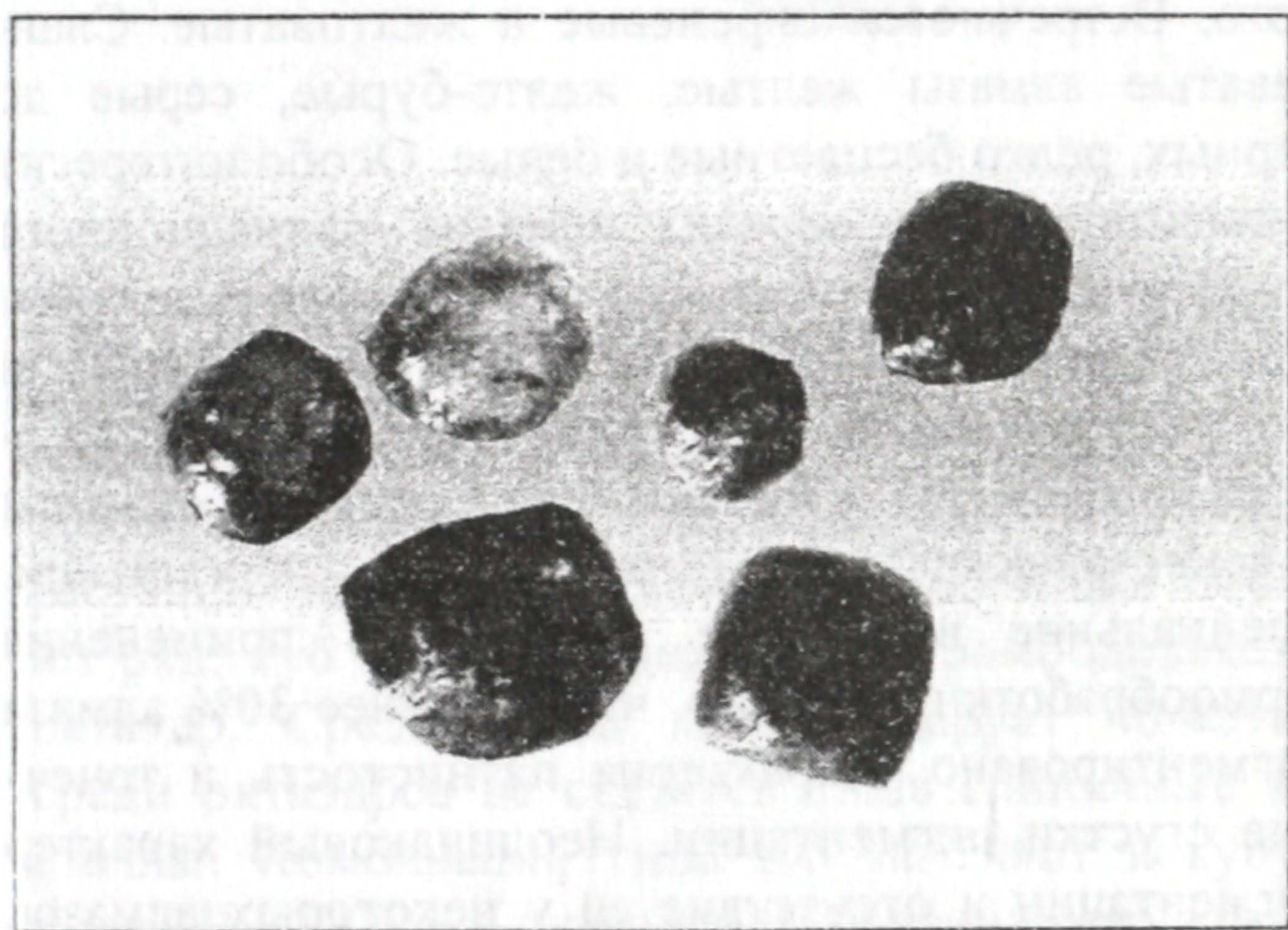


Рис. 5. Алмазы кубического габитуса из россыпей Приднепровья

вершинам кристаллов и покрыты сноповидной штриховкой. Грани октаэдра могут иметь слоистое, тонкопластинчатое до грубоступенчатого строение, у отдельных кристаллов они развиты полицентрически. Встречается многоглавое строение вершин, мелкие вершины иногда образуют ложные кубические поверхности. Большинство октаэдров искажено относительно различных элементов симметрии. Поверхность кристаллов гладкая, матированная, со скульптурным узором, в виде тригональных впадинок, выступов и других образований.

Кристаллы ромбододекаэдрического габитуса (рис. 4). Ромбододекаэдры в самостоятельном развитии встречаются редко. Алмазы чаще представлены псевдоромбододекаэдроидом и додекаэдроидом. Первые возникают при пластинчатом зарастании граней октаэдра. Додекаэдрические поверхности могут рассматриваться в этом случае как ложные грани. Кристаллы часто искажены; их грани матированы, покрыты различным скульптурным узором, либо гладкие, блестящие. Скульптура проявляется в виде штриховки, холмиков, бороздок или черепитчатых образований. Типичные округлые алмазы «уральского» («бразильского») типа, яв-

ляющиеся [2] отрицательным фактором алмазности кимберлитов, крайне редки.

Комбинации форм представлены различными сочетаниями куба, октаэдра и ромбододекаэдра. Встречаются комбинации: куб-ромбододекаэдр (КР), куб-октаэдр-ромбододекаэдр (КОР), октаэдр-ромбододекаэдр (ОР), куб-октаэдр (КО) и сложные кристаллы. Преобладают первые две разновидности. Между различными комбинациями имеются переходные разновидности. В комбинации КР обе формы бывают плоско- и кривогранные. Грани куба обычно шероховатые, матированные. Додекаэдрические поверхности часто исштрихованы или ребристые. В комбинации КОР октаэдр представлен плоскогранной разновидностью, а другие формы бывают и кривогранными. При заметном преобладании куба все грани шероховатые. В комбинации ОР октаэдр представлен плоско- и кривогранными разновидностями и переходными формами, а ромбододекаэдр – ложными гранями либо округлыми додекаэдрическими поверхностями. Грани ромбододекаэдра часто покрыты параллельной или сноповидной штриховкой. КО часто бесцветные и прозрачные.

Осколки кристаллов. Бесформенные осколки составляют до 20-40%. В полтавских песках их меньше, чем в сарматских.

Двойники представлены сросшимися и проросшими индивидами. Чаще сдвойникованы кубы (рис. 5), для них характерно прорастание. Поверхность таких двойников неровная, шероховатая. Для октаэдра характернее двойники срастания. Как правило, они бесцветные и прозрачные.

Сростки можно подразделить на параллельные и незакономерные. К сросткам относим образования, в которых до десяти индивидов. Агрегаты с большим количеством микрозерен относим к борту.

Алмазы с оболочкой (коутид). Чаще это сфероидальные кубы и кубы. Оболочка микрозернистая или волокнистая. Иногда оболочка зональная.

Баллас представлен единичными шаровидными зернами с характерным узором поверхности в виде причудливых многоугольников и концентрической штриховки. В сколах заметно радиально-лучистое строение.

К борту относят обычно яснозернистые, а к карбонадо – скрытокристаллические агрегаты.

Борт (микроборт) представлен неправильными плотными или рыхлыми агрегатами микрозерен, различимых при большом увеличении. Составляющие микрочастицы являются правильными кристалликами либо неправильными зернами. Агрегаты октаэдров встречаются реже, чем кубы и неправильные частицы. Борт интенсивно окрашен в сиреневый, бурый, зеленый или серый до черного цвета.

Карбонадо (рис. 6) представлен неправильно-угловатыми и округлыми зернами; иногда встречается в форме куба. Зерна плотного, реже – сахаро- и коксовидного строения. Иногда с эмалевидной поверхностью. Окраска от белой до черной, коричневая, серая, сиреневая или зеленая. Между бортом и карбонадо есть переходные разновидности.

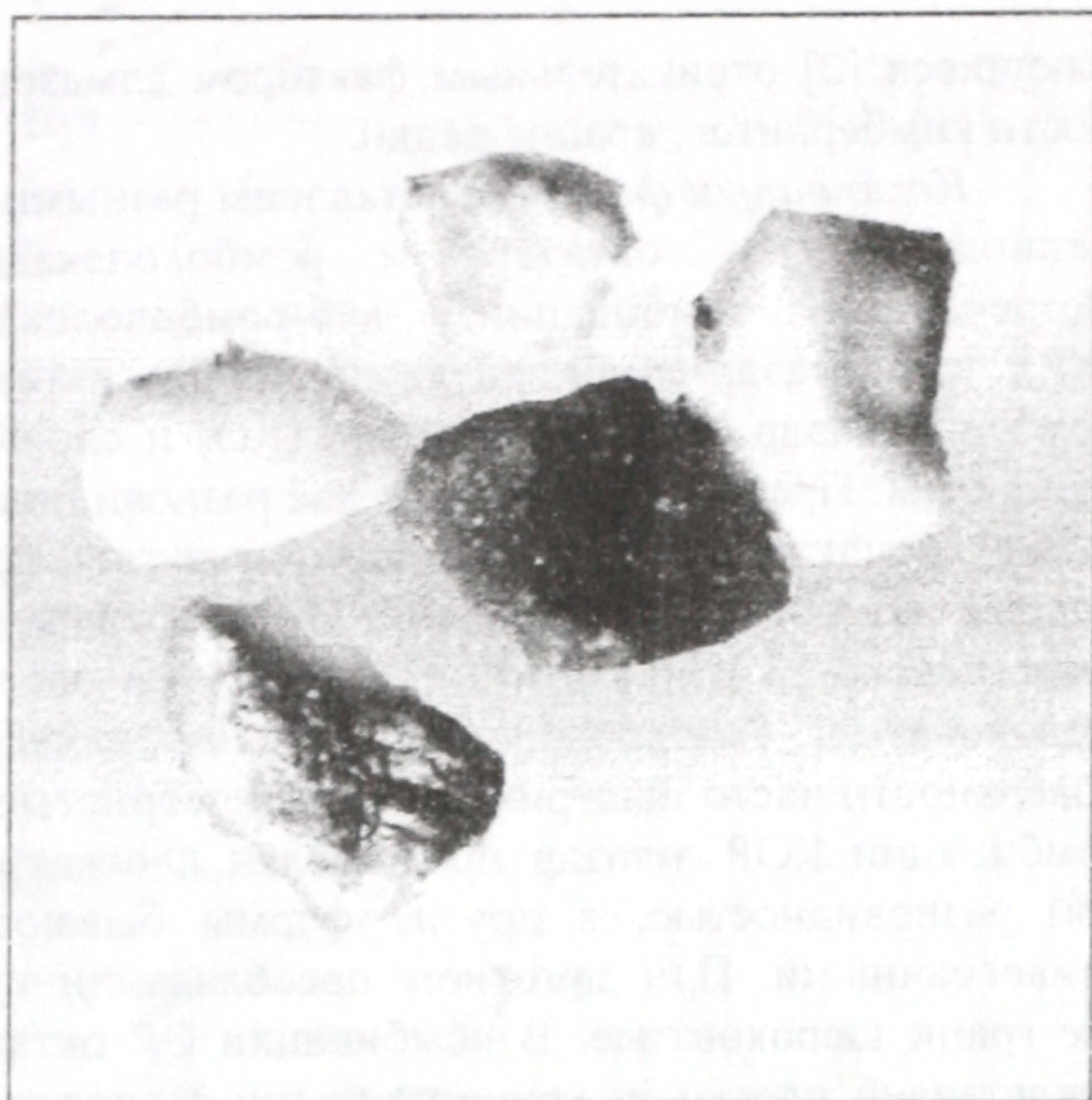


Рис. 6. Карбонадо не выясненного генезиса из россыпей Приднепровья

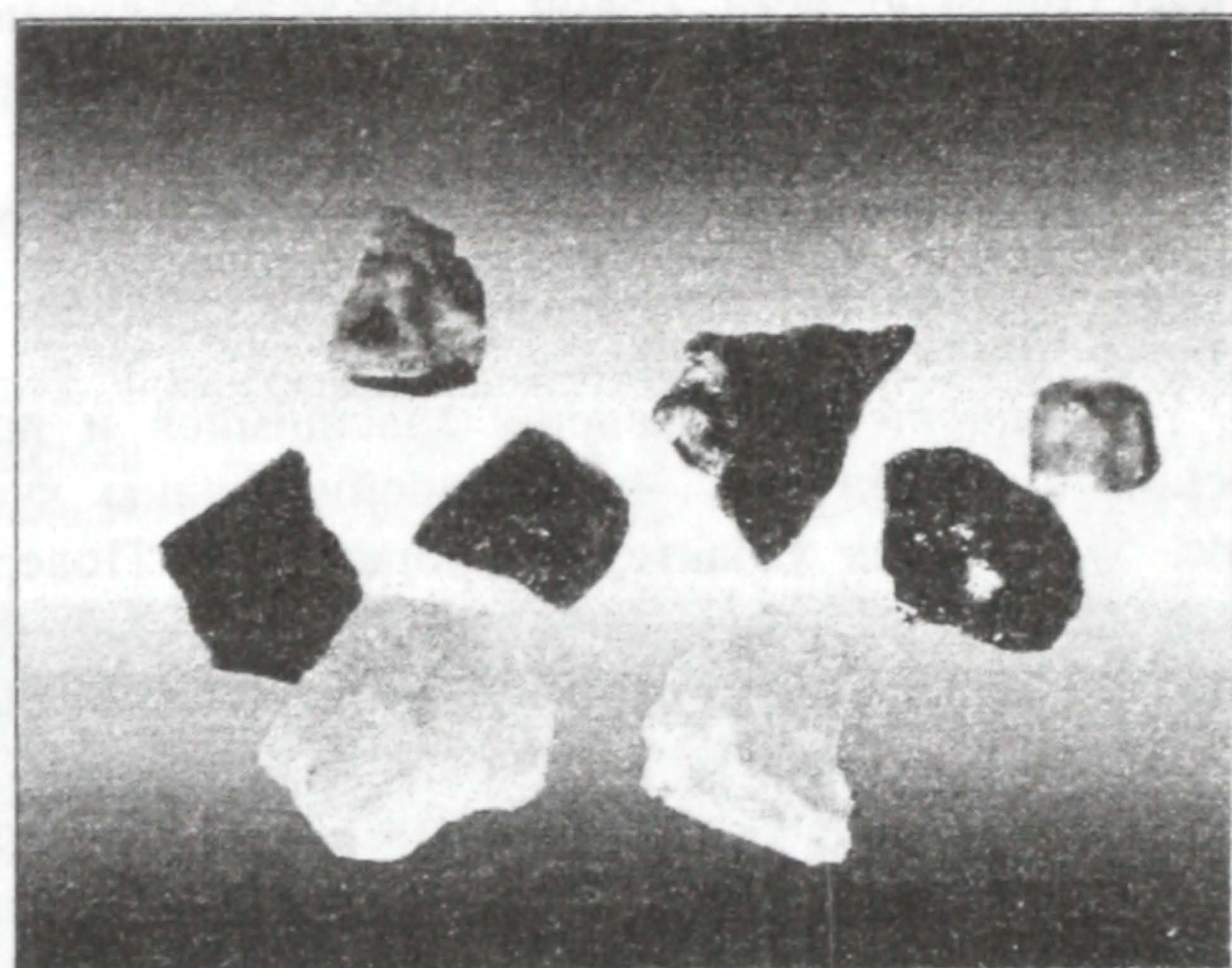


Рис. 7. Алмазы импактного генезиса из россыпей Приднепровья

Сланцеватые алмазы впервые обнаружены в Приднепровье УкрГИМРОм в 1967 году и названы по внешнему сходству с рассланцованным материалом. Сланцеватые алмазы идентичны астроблемным [1, 2, 7, 15]. Алмазы представлены уплощенными, неправильно-угловатыми, округлыми и гексагональными в плане зернами (рис. 7). Реже встречаются правильные гексагональные пластинки и таблички (гексагоны), «чечевицы», неправильные зерна, чешуйки. Цвет от желтого до черного с постепенными переходами. Редко встречаются бесцветные зерна. Поверхность зерен часто шероховатая, матированная, с характерной скульптурой в виде систем параллельных линий и полос, пересекающихся в двух-трех направлениях. Скульптурный узор связан с внутренним строением. Выклинивающиеся линии и полосы при смещении фокуса объектива прослеживаются вглубь зерен. Узор поверхности часто совпадает с картиной двупреломления. Встречаются зерна с микрокавернозной и ямчатой поверхностями.

Окраска. Алмазы изученных россыпей отличаются широким распространением окрашенных разновидностей, количество которых часто составляет более половины всех алмазов (рис. 8). Окрашенные алмазы преимущественно сиреневые, желтые, зеленые, серые и черные. Интенсивность окраски различная. Бесцветные алмазы «чистой воды» встречаются реже кристаллов с нацветом. По возрастанию количества окрашенных зерен и интенсивности окраски основные морфологические типы образуют ряд: октаэдр и ромбододекаэдр – комбинация форм – куб-борт и карбонадо-кубоид-сланцеватые зерна. Сланцеватые алмазы окрашены практически все. Октаэдр и ромбододекаэдр в основном бесцветные и с нацветом. Окрашенные кубы и агрегаты в основном желтые, зеленые, сиреневые, бурые и черные. Сфероидальные кубы в основном сиреневые. Большинство алмазов, кроме карбонадо и сланцеватых зерен, имеет следы пигментационной окраски. Карбонадо окрашены в разные цвета - от белого до черного. Встречаются сиреневые и желтоватые. Сланцеватые алмазы желтые, желто-бурые, серые до черных, редко бесцветные и белые. Особо интересна пигментационная окраска алмазов радиационного происхождения. Изначально она голубая и зеленая. При нагревании переходит в желто-оранжевую и красно-коричневую до черной. При обычной методике выделения слабопигментированные алмазы обесцвечиваются при химическом обогащении. Специальное выделение алмаза без применения термообработки показало, что не менее 30% алмаза пигментировано. Характерна пятнистость и точечные сгустки пигментации. Неодинаковый характер пигментации и отсутствие её у некоторых алмазов свидетельствуют о полигенности и различном геологическом прошлом образцов. Кристаллы с оранжевыми, красно-коричневыми и черными пятнами пигментации прошли стадию термального метаморфизма.

Фотолюминесценция. В изученных россыпях преобладающая часть алмазов люминесцирует. Не светятся в основном некоторые окрашенные зерна. Нелюминесцирующие различия среди алмазов разного цвета составляют (в %): бурые, серые, черные - 40-50; сиреневые - 25-35; желтые - 15-20; зеленые - 8-10; бесцветные - до 2.

По характеру фотолюминесценции (ФЛ) алмазы разных россыпей близки между собой. Преобладает оранжевая ФЛ (до 75% от люминесцирующих алмазов), меньше зерен с желтым и зеленым свечением, подчиненное значение имеют алмазы с сине-голубой ФЛ. Отмечено также розовое, сиреневое, красное и неясное свечение. Необычным по сравнению с известными месторождениями алмаза является преобладание оранжевой ФЛ, обусловленной центром 575 нм [13]. Интенсивность свечения от едва заметной до очень яркой и неодинакова у алмазов с разным цветом ФЛ.

Среди монокристаллов разного габитуса светится от 40 до 100%, а среди агрегатов 40-70%.

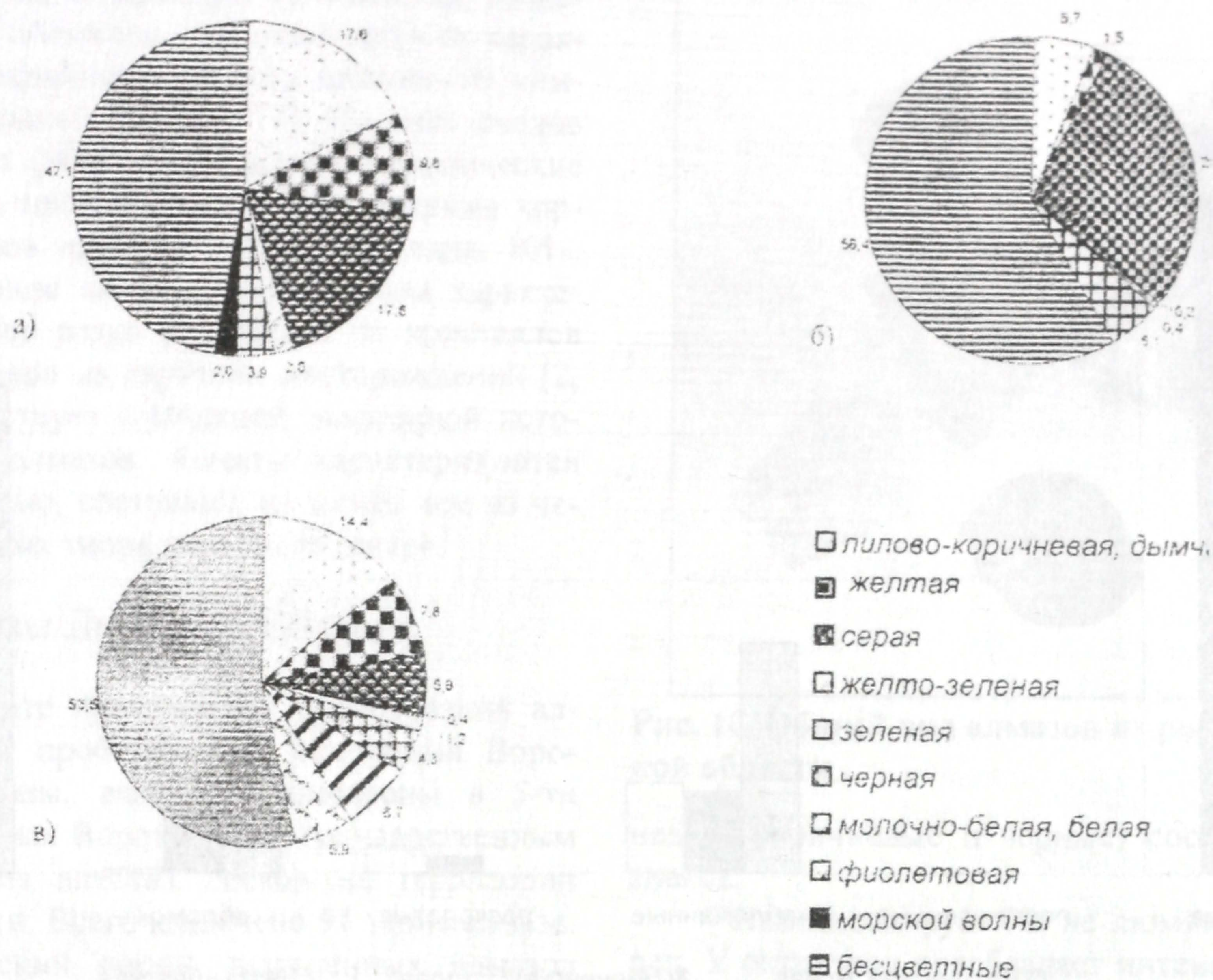


Рис. 8. Окраска алмазов россыпей Волчинская Новая (а), Волчинская Старая (б), Малышевская (в)

Морфологические разновидности отличаются цветом и интенсивностью ФЛ. Монокристаллы по возрасту количества светящихся образцов образуют ряд: куб – комбинация форм и ромбододекаэдр-октаэдр. Среди кубов люминесцирует 40-45%, а среди октаэдров не светятся лишь единичные кристаллы. Комбинации типа КО тяготеют к кубу, а типа КР и КОР – к октаэдру. У большинства алмазов проявляется оранжево-желтая ФЛ.

Кубы и кубоиды люминесцируют преимущественно оранжевым и желто-оранжевым цветом (центр 575 нм). Сине-голубое свечение не наблюдалось, а зеленое и желто-зеленое встречается редко, главным образом у псевдокубов. С увеличением площади граней куба растет количество несветящихся и слабо люминесцирующих зерен и уменьшается число кристаллов с зеленым свечением.

Спектр, характерной для кубов оранжево-красной компоненты при комнатной температуре, состоит из интенсивной линии 575,5 нм. С длинноволновой стороны ее сопровождает широкая полоса, разрешаемая при охлаждении кристаллов в правильную колебательную структуру. Центр, ответственный за оранжево-красное свечение алмазов песчаных отложений, редко встречается у мелких алмазов кимберлитов [1, 17].

У октаэдров преобладает зеленое, желтое и сине-голубое свечение, вызванное в основном центрами N3, N4 и N3. Лишь до 3% люминесцирует оранжевым цветом. Интенсивность ФЛ у идеальных октаэдров выше, чем у кристаллов с дополнительными гранями. В отличие от изученных кристаллов, октаэдры из кимберлитов имеют [17] в основном сине-голубую ФЛ (центр N3).

Ромбододекаэдры люминесцируют в основном желтым и оранжевым цветом. Преобладают центры свечения N3, N4 и 575 нм. Для додекаэдров характерно сильное зеленое свечение, а у псевдоромбододекаэдров – средняя и слабая желто-оранжевая ФЛ.

Комбинации форм светятся по-разному, в зависимости от соотношения основных граней. При наличии граней куба преобладает оранжевая ФЛ (центр 575 нм). Комбинации КР светятся преимущественно зеленым и желтым цветом (центры N3, N4).

Двойники и сростки не отличаются по ФЛ от монокристаллов того же типа, что входят в их состав, но светятся слабее и чаще представлены зернами с желто-оранжевой ФЛ.

Проведенными исследованиями установлено, что имеется четкая связь между морфологией кристаллов и частотой проявления оптических центров люминесценции. Встречаемость центра 575 нм возрастает, а центра N3 убывает в направлении октаэдр-ромбододекаэдр-куб. Характерный для алмазов известных месторождений центр N3 у исследованных кристаллов имеет второстепенное значение. Для кубов характерен центр 575 нм, редкий среди алмазов традиционных источников. Центры N3, N4 широко распространены в исследованных кристаллах и встречаются в алмазах разного габитуса примерно в равном количестве.

Борт в исследованных песках не отличается, как правило, по характеру ФЛ от кубов.

Большинство светлых образцов карбонадо имеет слабую ФЛ. Темные зерна без предварительной обработки свечения не обнаруживают. После прокалывания интенсивность свечения возрастает,

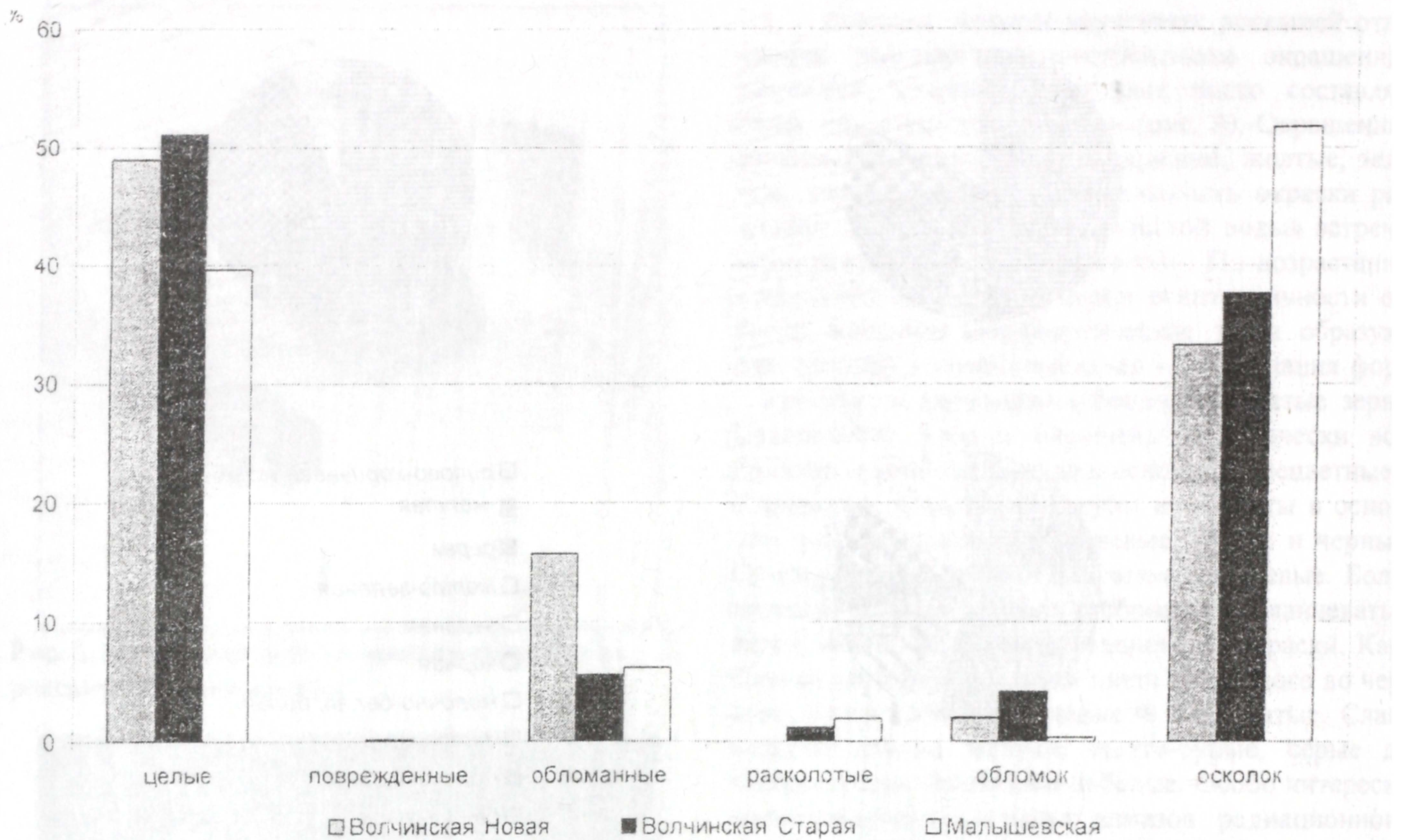


Рис. 9. Сохранность алмазов россыпей Волчинская Новая, Волчинская Старая, Малышевская

начинают светиться и не люминесцировавшие ранее зерна. Визуально фиксируются сине-голубая, розово-лиловая, зеленая, желтая, оранжевая и красная ФЛ. В спектрах ФЛ большинства образцов проявляются электронно-колебательные системы N3, N3, N4 и 575 нм. Статистически преобладает центр N3. Центр 575 нм встречается примерно у четверти всех образцов.

В карбонадо и в монокристаллах в целом фиксируются одинаковые центры свечения. Но, судя по особенностям их проявления, кристаллическая решетка микрозерен карбонадо отличается большей дефектностью и напряженностью.

Сланцеватые (импактные) алмазы люминесцируют в желтых и желто-оранжевых тонах. Сильно светится около 10%, средне – 30% и слабо – 60%. Темные зерна не светятся. В спектрах ФЛ проявляется широкая бесструктурная полоса с максимумом при 580-610 нм, структура более узких полос в области 625-775 нм. Интенсивность свечения связана с содержанием в образцах лонсдейлитовой фазы. Обычные для алмаза центры свечения для сланцеватых (импактных) образцов не характерны. По характеру люминесценции сланцеватые зерна не отличаются от алмазов астроблем [7].

Таким образом, для алмазов Малышевского месторождения характерной особенностью является резкое преобладание (74,3%) алмазов I разновидности по Ю.Л. Орлову, из которых их большинство (46,3%) составляют бесцветные бесформенные осколки без признаков кристаллографической грани. Из других габитусных типов I разновидности в сопоставимых количествах встречаются октаэдры (9,1%), бесцветные и фиолетовые кубоиды (8,4%) и ромбододекаэдры (8,5%), в основном ламинарные.

Окрашенные разновидности представлены желтыми и серыми кубоидами с оболочкой IV разновидности (примерно в равном соотношении - 10,1%), алмазами импактного генезиса XI разновидности (12,8%) и карбонадо X разновидности неясного генезиса (2,0%). Такая полигенная смесь алмазов не характерна для мелких алмазов из кимберлитов и россыпей Сибирской платформы [17]. Обращает на себя внимание преобладание среди изученных алмазов осколочной части I разновидности над ясно ограниченной кристаллической, что не характерно для кимберлитов и может свидетельствовать о сложной экзогенной истории изученных алмазов из россыпей, их неоднократном перемыве и переотложении. Обращает на себя внимание хорошая степень сохранности изученных алмазов IV разновидности из россыпей, что может быть объяснено как их структурно-текстурными особенностями, не способствующими разрушению в процессе их переноса в экзогенных условиях, так и различной удаленностью коренных источников алмазов кимберлит-лампроитового и метаморфогенного типов. В целом среди изученных алмазов преобладают бесцветные разновидности, а на долю окрашенных камней приходится всего около 2/5 от общего количества кристаллов, причем среди последних резко (свыше половины) преобладают лилово-коричневая, дымчато-коричневая и фиолетовая (из-за пластической деформации) окраска I разновидности. В сопоставимых количествах (43,7%) встречаются камни с черной, серой, молочно-белой и желтой окрасками, характерными для алмазов метаморфогенного генезиса. Степень сохранности (целостность) изученных алмазов (рис. 9) характеризуется сопоставимым (40-50%) высоким количеством целых кристаллов и осколков

при крайне низком содержании обломанных, расколотых камней и обломков, чем отличается от характера степени сохранности мелких алмазов из кимберлитов и россыпей Якутии [17]. По типу сколов среди них резко (90%) преобладают механические сколы. На долю протоматических, а также коррозионных сколов приходится в сумме лишь 10%. Такое соотношение алмазов с различным характером сколов также резко отличается от кристаллов различного размера из якутских месторождений [2, 17] и свидетельствует о сложной экзогенной истории изученных алмазов. Алмазы характеризуются полигенной смесью, состоящей не менее чем из четырех генетических типов первоисточников.

Алмазы Липецкой области

В результате проведенных исследований алмазоносности 14 проб меловых отложений Воронежской антеклизы, алмазы установлены в 5-ти пробах, отобранных Воронежским государственным университетом из аптских песков на территории Липецкой области. Всего извлечено 91 зерно алмаза. Гранулометрический состав выделенных алмазов укладывается в интервал крупности $-0,34+0,1$ мм. Наиболее представительным является класс $-0,20+0,16$ мм, составляющий 48,3% всех алмазов. Доли наиболее мелкого ($-0,15+0,1$ мм) и наиболее крупного ($-0,34+0,31$ мм) классов составляют соответственно 6,6 и 3,3%. Крупность изученных алмазов ниже по сравнению с алмазами класса $-0,5+0,2$ мм из кимберлитов и составляет 36000 штук на 1 карат (в кимберлитах 500-2000 шт/кар), что объясняется петрографическими особенностями опробования толщ. Плотность их по результатам фракционирования в растворе Клеричи находится в пределах $3,48 - 3,53$ г/см³.

В распределении алмазов по габитусу и морфологии устанавливается (если исключить импактные разности) общее преобладание кристаллов с четко выраженными кристаллографическими формами (рис. 10). Из общего количества алмазов 25 представлены октаэдрами, 18 – кубами и кубоидами, 27 – обломками без четко выраженных идентифицируемых элементов огранки, 11 – уплощенными неправильно-угловатыми импактными зернами. По несколько (1-3) кристаллов представлены алмазы додекаэдрической, куб-ромбододекаэдрической, куб-октаэдрической, октаэдр-ромбододекаэдрической формы и кристаллы со сложной комбинацией форм. Около трети приходится на обломки и осколки без четко идентифицируемых элементов огранки.

В окраске обнаруженных алмазов преобладают бесцветные разности или с сероватым, желтоватым, розоватым нацветом. Бесцветные и с нацветом кристаллы преобладают среди октаэдров, обломков и осколков, окрашенные – среди кубов и импактных зерен. По окраске преобладающая часть алмазов (63 зерна) бесцветна или со слабым сероватым, желтоватым или розоватым нацветом. Темноокрашенные разности (сиреневые, красно-корич

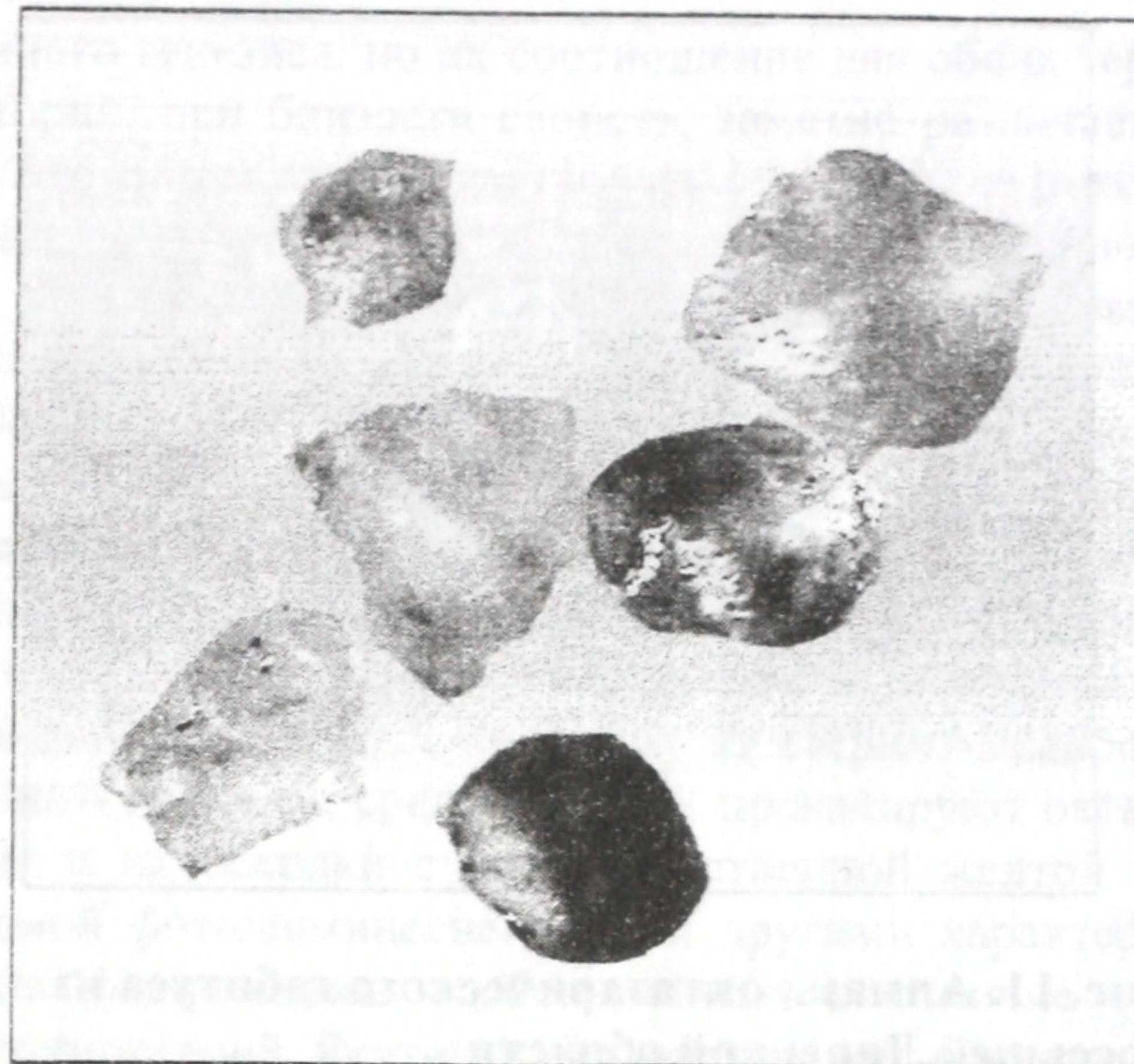


Рис. 10. Общий вид алмазов из россыпей Липецкой области

невые, коричневые и черные) составляют всего 7 знаков.

Люминесцирует 78, не люминесцирует 13 зерен. У октаэдров преобладает интенсивная ФЛ зеленых тонов, у кубов средняя и сильная ФЛ желто-оранжевого цвета, у импактных алмазов желто-оранжевая ФЛ разной интенсивности.

Сравнивая характеристику алмазов, полученных при выполнении данной работы с алмазами, полученными ранее [16], следует отметить наличие довольно существенных различий в соотношении их морфологических разностей и в цветовом спектре. В извлеченных нами алмазах среди ясноограненных кристаллов (53 шт.) преобладают (рис. 1) октаэдры – 47,1%. Доля кубов составляет 33,9%, ромбододекаэдров (додекаэдров) и октаэдр-ромбододекаэдров по 5,7%, сложной комбинации форм – 3,8%, куб-ромбододекаэдров и куб-октаэдров – по 1,9%, типичные округлые алмазы «уральского» («бразильского») типа отсутствуют. В то время как в выборке, полученной И.Ф. Кашкаровым и Ю.А. Полкановым, кубы составляют 72%, а октаэдры всего 13%. Кроме того, по цветовым характеристикам среди описанных ранее алмазов доля бесцветных разностей составляет всего 19%. Остальные были интенсивно окрашены в желтые, сиренево-фиолетовые, серые, розовые, оранжевые и черные тона.

Причина полученных расхождений не совсем ясна, поскольку основное количество алмазов и в том и в другом случае извлечено из песков Волчинской титано-циркониевой россыпи. Правда, проба, обработанная И.Ф. Кашкаровым и Ю.А. Полкановым, отобрана из продуктивных песков россыпи, о чем свидетельствует содержание в ней тяжелой фракции – 21,6%, а в последнем случае – это по сути «пустые» пески с содержанием тяжелой фракции не более 1,75%.

На основе типоморфных признаков (морфология, окраска, фотолюминесценция) можно полагать, что исследованные алмазы представлены кимберлитовыми (ультраосновной и эклогитовой пара-

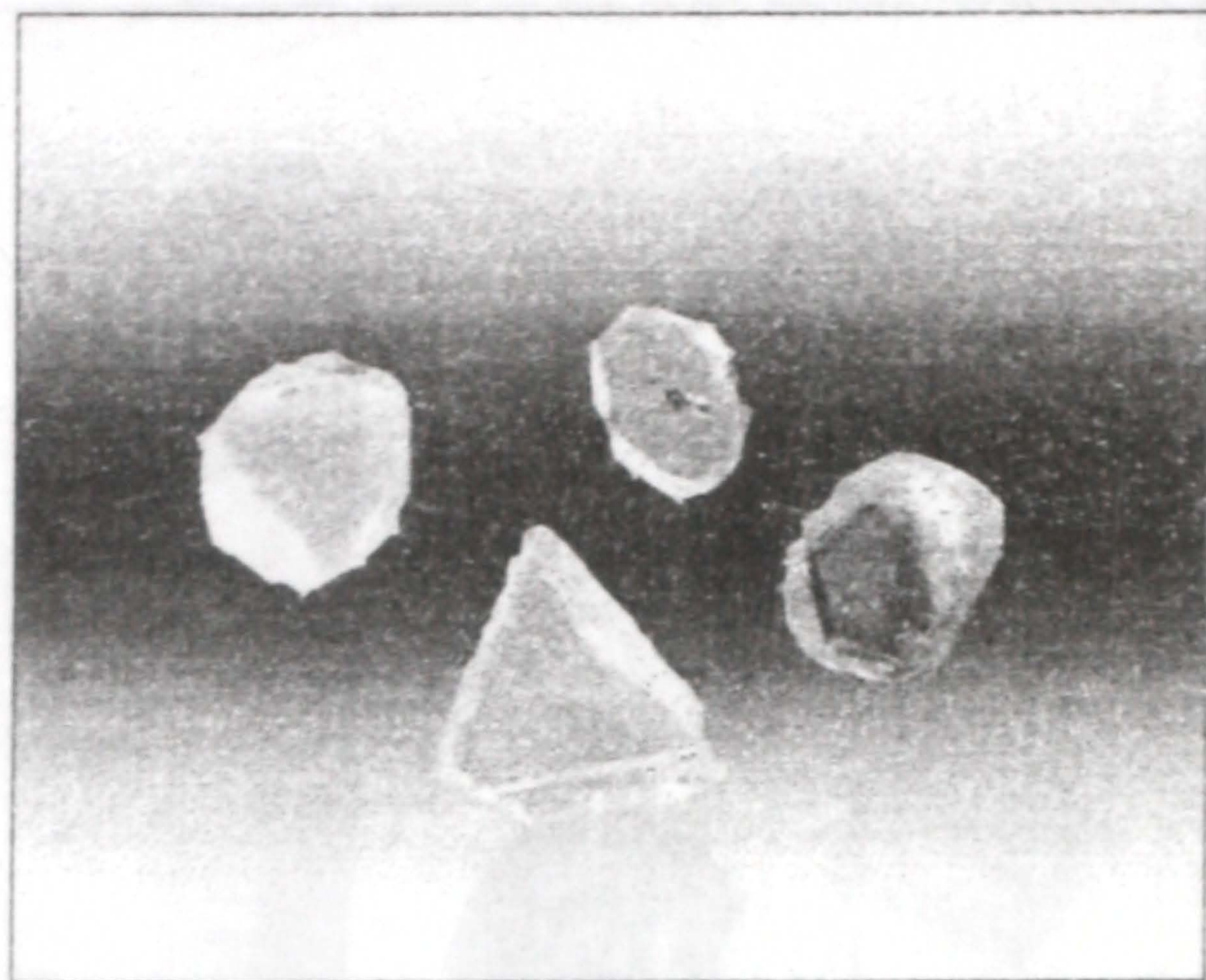


Рис. 11. Алмазы октаэдрического габитуса из россыпей Липецкой области



Рис. 12. Алмазы кубического габитуса габитуса из россыпей Липецкой области

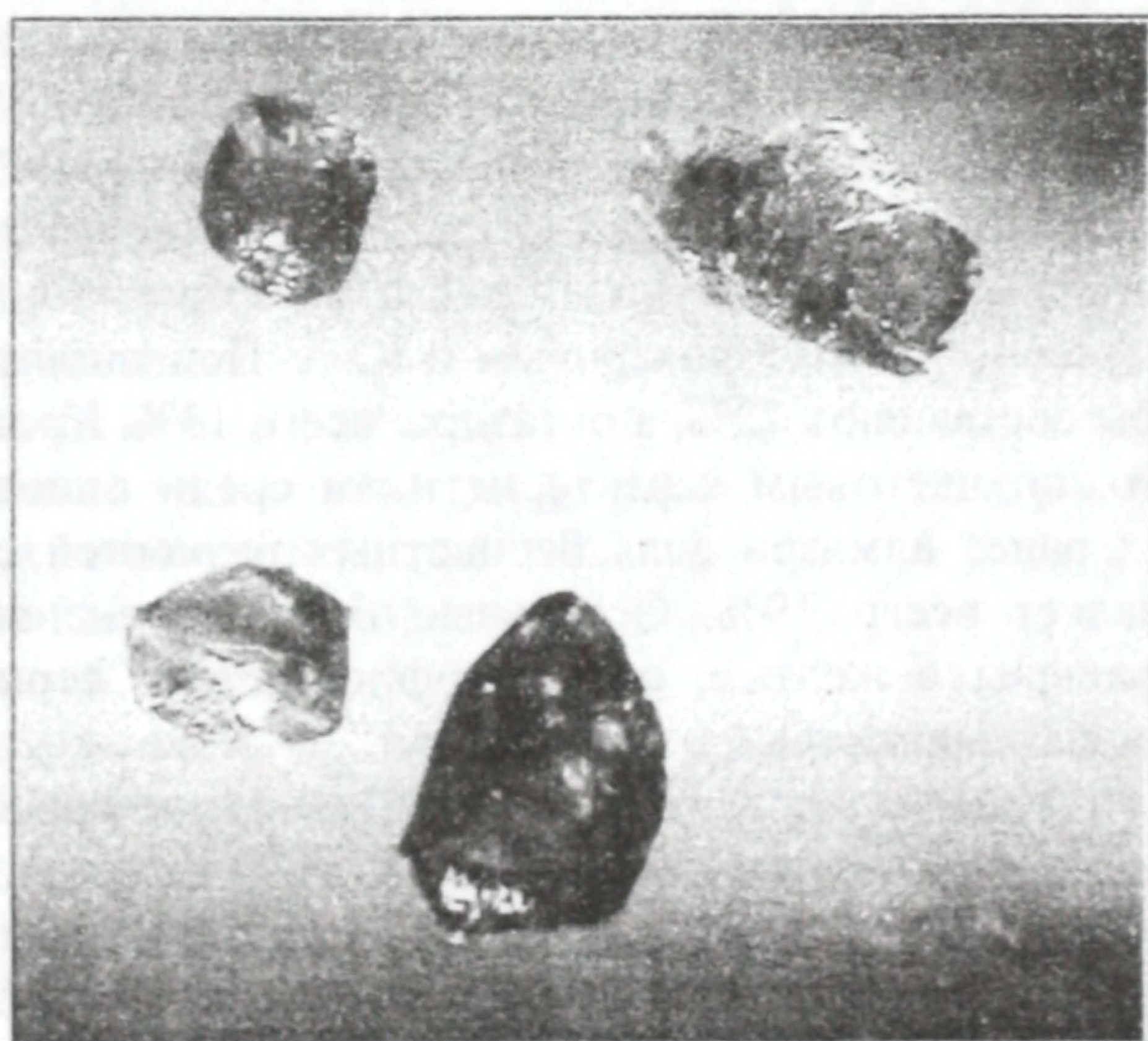


Рис. 13. Алмазы ромбододекаэдрического габитуса из россыпей Липецкой области

генезисы - октаэдры, кубы, обломки, осколки и додекаэдрониды, комбинации форм), метаморфогенными (кубы) и импактными (уплощенные сланцеватые зерна) типами, т.е. полигенной смесью. Для надежного определения доли каждого генетического типа в естественной смеси алмазов необходима наработка и исследование дополнительного количества кри-

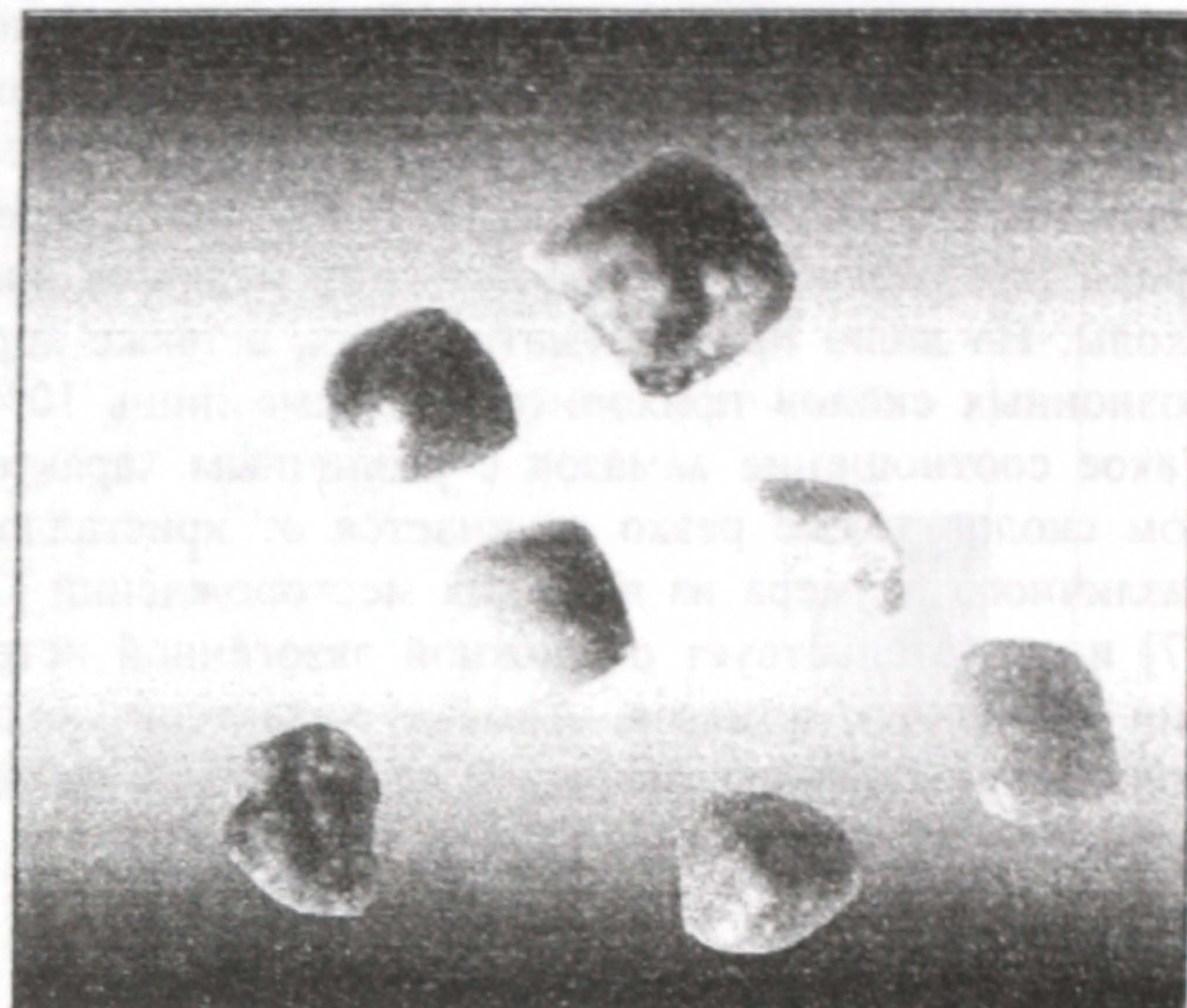


Рис. 14. Карбонадо не выясненного генезиса из россыпей Липецкой области

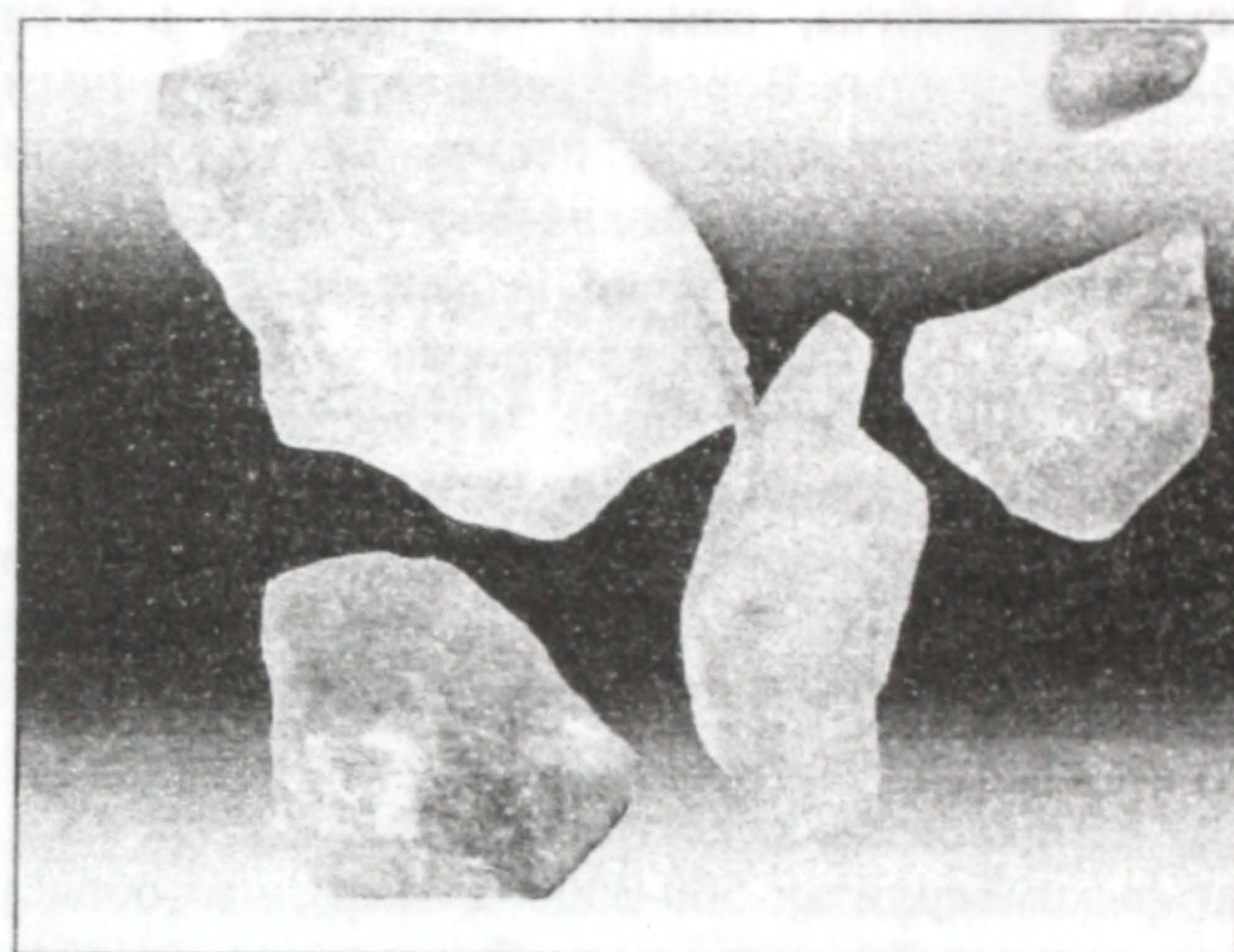


Рис. 15. Алмазы импактного генезиса из россыпей Липецкой области

сталлов для получения статистически представительных данных. Необходимо также выполнить более детальные исследования типоморфизма полученных алмазов с применением точных физических методов.

Результаты ревизионного исследования более ранних находок из Волчинской россыпи свидетельствуют о повышенном (31,4%) содержании среди них алмазов с оболочкой IV разновидности по Ю.Л. Орлову метаморфогенного генезиса, в основном, с серой и черной окрасками, резко преобладающими над желтыми (в отличие от этой группы алмазов из россыпей Среднего Приднепровья). Вместе с тем преобладают (55%) алмазы кимберлит-лампроитового генезиса, представленные в основном (36,3%) бесцветными осколками. Последние преобладают над кристаллической частью алмазов I разновидности, представленной, в основном, октаэдрами - 6,7% (рис. 11), кубоидами - 8,2% (рис. 12), в меньшей степени ламинарными ромбододекаэдрами - 2,7% (рис. 13). В значительном количестве встречены карбонадо не выясненного генезиса - 7,8% (рис. 14) и поликристаллы импактного генезиса - 2,4% (рис. 15). Последняя цифра, возможно,

занижена за счет изъятия (устное сообщение Ю.А. Полканова) из коллекции части таких образований для технологических испытаний.

Таким образом, алмазы из ранней коллекции Волчинской россыпи представлены полигенной смесью алмазов с преобладанием осколков кристаллов кимберлит-лампроитового генезиса, хотя кубоиды преобладают над октаэдрами. Содержание окрашенных камней составляет около половины (45,5%) от общего количества кристаллов (рис. 8), причем свыше половины их (28,7%) составляют серые кристаллы при очень низком (1,5%) - желтых камней. Встречены единичные кристаллы с розово-красной окраской, характерные для лампроитов трубки Аргайл (Австралия). Изученные алмазы ранней коллекции Волчинской россыпи резко отличаются от кристаллов из россыпей Среднего Приднестровья, что может объясняться с позиции различия типоморфных особенностей алмазов метаморфогенного генезиса в двух пространственно-разобренных регионах юго-запада Восточно-Европейской платформы.

Результаты исследования новых находок алмазов из россыпей Липецкой области также свидетельствуют о преобладании (64,7%) бесцветных, реже окрашенных в лилово-коричневые цвета кристаллов I разновидности по Ю.Л. Орлову кимберлит-лампроитового генезиса, половина из которых (35,2%) представлена бесформенными осколками, преобладающими над октаэдрами (19,6%) и бесцветными кубоидами (7,9%). Остальные алмазы представлены окрашенными кубоидами IV разновидности (27,5 %) метаморфогенного генезиса, (серые разновидности преобладают над желтыми) и агрегатами импактного генезиса (7,8%). Последние надежно и независимо идентифицированы как специалистами УкрГИМРа, так и ЯНИГП ЦНИГРИ, что не подтверждает мнение [9] об отсутствии критериев отличия осколков кимберлитовых и импактных алмазов. Степень сохранности (целостность) алмазов (см. рис. 9) является в целом достаточно высокой, причем осколки присутствуют только среди кристаллов кимберлит-лампроитового генезиса при повышенной сохранности кубоидов метаморфогенного генезиса, что может свидетельствовать как о различии их физико-механических свойств из-за различных структурно-текстурных особенностей, так и отличии экзогенной истории коренных источников кимберлит-лампроитового и метаморфогенного генезисов.

Заключение

Таким образом, результаты сравнительного комплексного исследования алмазов из терригенных отложений титано-циркониевых россыпей Украинского щита (Среднее Приднестровье) и Воронежской антеклизы показывают, что в обоих случаях они представлены полигенной смесью из минимум четырех генетических типов: кимберлит-лампроитовый, метаморфогенный, импактный и невыяс-

ненного генезиса, но их соотношение для обеих территорий, при близости свойств, заметно различается. Это может свидетельствовать о специфике и различной роли алмазов отдельных генетических типов в формировании пространственно-разобренных россыпей. Необходимо также отметить специфику кубоидов метаморфогенного генезиса, среди которых, в отличие от кумдыкольских [6], преобладают кристаллы с серой и черной окраской, являющиеся редкостью в эклогитово-гнейсовых комплексах. Свообразными являются и свойства алмазов I разновидности по Ю.Л. Орлову кимберлит-лампроитового генезиса, среди которых преобладают октаэдры и их осколки с преимущественной желтой и зеленой фотолюминесценцией и другими характерными физическими особенностями, в отличие от месторождений Якутии и Архангельской области с преобладающим сине-голубым и розово-сиреневым свечением в ультрафиолетовых лучах. Среди люминесцирующих зерен резко (свыше 50%) преобладает зона с желтой и желто-оранжевой фотолюминесценцией при значительном (более 20%) количестве кристаллов с желтым свечением и при практическом отсутствии индивидов с сине-голубым свечением. Бесцветные октаэдры практически полностью отсутствуют среди алмазов эклогито-гнейсовых комплексов Казахстана. Обращает на себя внимание преобладание бесформенных осколков алмазов кимберлит-лампроитового генезиса как в россыпях Среднего Приднестровья, так и Липецкой области, что свидетельствует о близости условий формирования в прибрежно-морских условиях в двух регионах и удаленностью областей сноса.

В целом установленные особенности алмазоносности изученных россыпей позволяют увязывать их с особенностями алмазоносных пород в областях развития россыпей. Распространение в них алмазов различных генетических типов при практическом отсутствии зерен с признаками механического износа свидетельствует о наличии в областях питания россыпей различного генезиса коренных источников.

Использование мелких кристаллов алмаза при прогнозировании коренных источников позволяет по прямому признаку более оперативно выделять наиболее благоприятные признаки для постановки поисковых работ. Этому способствует концентрация мелких алмазов, обогащенных тяжелой фракцией в естественных шлихах, относительно большая их распространенность в легкообогатимых песчаных отложениях, а, следовательно, вытекающая из этого возможность обнаружения мелких алмазов в сравнительно небольших объемах проб. Мелкие кристаллы являются прямым поисковым признаком крупных кристаллов того же генетического типа, а значит и поисковым признаком соответствующих коренных источников.

При выполнении дальнейших опробовательских работ необходимо выделить и опробовать более грубозернистые фации древних вторичных коллекторов в изученных регионах, что позволит полу-

чить и более крупные алмазы, сделав шаг вперед в решение проблемы их коренных источников. При этом следует принять во внимание, что из-за повышенного количества слаболюминесцирующих в рентгеновских лучах алмазов [2, 6] рентгенолюминесцентный метод может оказаться неэффективным для их извлечения в классе +0,5 мм каждого генетического типа. В естественной смеси алмазов необходима наработка для исследования дополнительного количества алмазов из терригенных отложений Воронежской антеклизы для получения статистически представительных данных, а также выполнить более детальные исследования типоморфизма полученных алмазов с применением точных физических методов.

Комплекс типоморфных особенностей алмазов из терригенных отложений юго-запада Восточно-Европейской платформы свидетельствует о специфике кристаллов кимберлит-лампроитового генезиса, отличающие их как от кимберлитов Сибирской платформы [2, 17], так и кимберлитов севера Восточно-Европейской платформы [18], что указывает на своеобразие их термодинамических и геохимических образований с преобладанием кристаллов эклогитового парагенезиса и существование в пределах этих территорий двух алмазоносных субпровинций.

ЛИТЕРАТУРА

1. Квасница В.Н., Зинчук Н.Н., Коптиль В.И. Типоморфизм микрокристаллов алмаза. -М., 1999. -220 с.
2. Зинчук Н.Н., Коптиль В.И. Типоморфизм алмазов Сибирской платформы. -М., 2003. -603с.
3. Палкина Е.Ю. Типоморфизм мелких алмазов Восточно-Европейской платформы: Автореф. дисс. ... канд. геол.-мин. н. -Львов, 1992. -23 с.
4. Палкина Е.Ю. Алмазы Украины: установление генетической породы кристаллов и отбраковка техногенного засорения в связи с прогнозированием и поисками алмазных месторождений // Минерал. журн. -1994. -Т.16, № 2. -С.78-84.
5. Палкина Е.Ю., Смирнов Г.И., Чашка А.И. Алмазы Украины: региональная, возрастная и генетическая приуроченность // Минеральные ресурсы Украины. -1999. -№ 1. -С. 41-42.
6. Лаврова Л.Д., Печников В.А., Плешаков А.М., Надеждина Е.Д., Шуколюков Ю.А. Новый генетический тип алмазных месторождений. -М., 1999. -221 с.
7. Масайтис В.Л., Гневушев М.А., Футергендлер С.И. Алмазы в импактитах Попигайского метеоритного кратера // Зап. ВМО. -1972. -Ч. 101, В.1. -С.108-112.
8. Полканов Ю.А. Алмазы в россыпях Русской платформы // Синтет. алмазы. -1973. -№ 3. -С.68-70.
9. Савко А.Д., Зинчук Н.Н., Шевырев Л.Т., Ильяш В.В., Афанасьев Н.С. Алмазоносность Воронежской антеклизы // Тр. НИИ Геологии. -Вып. 17. -Воронеж, 2003. -120 с.
10. Орлов Ю.Л. Минералогия алмаза. -М., 1984. -264 с.
11. Бокий Г.Б., Безруков Г.Н., Клюев Ю.А., Налетов А.М., Непша В.И. Природные и синтетические алмазы. -М., 1986. -221 с.
12. Кирикилица С.И., Кашкаров И.Ф., Полканов Ю.А. Методические рекомендации по диагностике и выделению мелких алмазов. -Симферополь, 1981. -106 с.
13. Алмазы песчаных отложений Украины / Юрк Ю.Ю., Кашкаров И.Ф., Полканов Ю.А., Еременко Т.К., Яловенко И.П. -Киев, 1973. -167 с.
14. Цымбал С.Н., Полканов Ю.А. Минералогия титаноциркониевых россыпей Украины. -Киев, 1975. -248 с.
15. Полканов Ю.А., Еременко Г.К., Сохор М.И. Импактные алмазы в мелкозернистых россыпях Украины // Докл. АН УССР. Сер. Б. -1973. -№ 11. -С.989-990.
16. Кашкаров И.Ф., Полканов Ю.А. О некоторых особенностях алмазов из титаноносных россыпей Северного Казахстана // Тр. Минерал. музея им.А.Ферсмана. -1972. -В.21. -С.183-185.
17. Зинчук Н.Н., Коптиль В.И., Квасница В.Н. Особенности мелких алмазов из кимберлитовых тел и россыпей Сибирской платформы (Якутия) // Минерал. журн. -2003. -Т.25, № 4. -С.32-47.
18. Архангельская алмазоносная провинция: геология, петрография, геохимия и минералогия // К 300-летию Геологической службы России / Под ред. О.А. Богатикова. -М., 2000. -552 с.