

Типоморфные свойства алмазов из дяхтарской толщи россыпи Нюрбинская (Сибирская платформа)

©2020 Т. В. Кедрова[✉], И. Н. Богуш, Н. Н. Зинчук,
Л. Д. Бардухинов, А. Н. Липашова

Научно-исследовательское геологическое предприятие АК «АЛРОСА» (ПАО), Чернышевское шоссе, 16, 678170, Мирный, Республика Саха (Якутия), Российская Федерация

Аннотация

Введение: Россыпь Нюрбинская – уникальное погребенное месторождение алмазов ближнего сноса в Накынском кимберлитовом поле (НКП) Сибирской платформы. Нижнюю залежь россыпи представляют отложения дяхтарской толщи, для которой характерно неравномерное распределение кимберлитовых минералов. С целью выявления закономерностей размещения алмазов в осадочных отложениях исследованы особенности кристаллов дяхтарской толщи и проведен анализ изменения их свойств с удалением от трубки Нюрбинская.

Методика: Результаты исследований базируются на комплексной минералогической и оптико-спектроскопической характеристике более 2000 кристаллов из дяхтарских отложений россыпи Нюрбинская крупностью от 8 до 0.25 мм. Помимо гранулометрических характеристик для каждого кристалла определены 13 физиографических параметров, получены интегральные спектры поглощения в инфракрасной области, рассчитаны концентрации C-, A-, B1-, B2-дефектов, усредненные значения концентраций азота в определенных формах и водорода. Построены статистические распределения алмазов по определенным параметрам.

Результаты и обсуждение: Кристаллы из отложений дяхтарской толщи характеризуются признаками, характерными для НКП в целом. По сравнению с верхними горизонтами трубок Нюрбинская и Ботуобинская в отложениях дяхтарской толщи в среднем отмечается повышение доли кристаллов класса –1+0.5 мм. Среди них чаще встречаются кристаллы с зелеными пятнами пигментации и окраской «морской волны». Анализ распределения свойств алмазов дяхтарской толщи показал отсутствие планомерного изменения свойств алмазов с удалением от трубки Нюрбинская. Уже на участке россыпи в пределах карьера трубки Нюрбинская и рядом с ним наблюдается примесь кристаллов, более характерных для мелких даечных тел НКП. Алмазы одного из участков россыпи, удаленного от трубки Нюрбинская, по совокупности своих параметров ближе к трубке Ботуобинская.

Выводы: В пределах россыпи Нюрбинская наблюдается зональность по свойствам алмазов в отложениях дяхтарской толщи. Различия отдельных участков россыпи, скорее всего, обусловлены особенностями строения плотика россыпи и концентрации материала из разных коренных источников, чем сортировкой кристаллов в процессе осадконакопления. Полученные результаты имеют значение для решения вопросов локального прогнозирования коренных источников на изучаемой территории.

Ключевые слова: алмазы, россыпи ближнего сноса, Накынское кимберлитовое поле.



Контент доступен под лицензией Creative Commons Attribution 4.0 License.

[✉] Кедрова Татьяна Владимировна, e-mail: tvkedr@mail.ru

Для цитирования: Кедрова Т. В., Богущ И. Н., Зинчук Н. Н., Бардухинов Л. Д., Липашова А. Н. Типоморфные свойства алмазов из дяхтарской толщи россыпи Нюрбинская (Сибирская платформа) // *Вестник Воронежского государственного университета. Серия: Геология*. 2020. №3. С. 45–54. DOI: <https://doi.org/10.17308/geology.2020.3/3008>

Введение

Геологическое строение и данные по алмазности россыпи Нюрбинская Накынского кимберлитового поля (НКП) довольно подробно освещены в ряде публикаций [1–4 и др.], из которых следует, что погребенное россыпное месторождение алмазов ближнего сноса Нюрбинское является уникальным и по сумме ресурсов превышает крупнейшие россыпи севера и юга Якутской алмазоносной провинции (ЯАП). Алмазоносные пески пространственно сближены и сопряжены с кимберлитовой трубкой Нюрбинской, которая является основным источником формирования россыпи. Максимальная продуктивность наблюдается в россыпных коллекторах над этой трубкой и в ближайшем околотрубочном пространстве [1]. В россыпи также отмечается материал из трубки Ботуобинская и дайкообразного тела Майское.

Нижнюю залежь россыпи представляют отложения дяхтарской толщи (J_{1dh}), которые характеризуются плохой сортировкой терригенного материала, незначительным расстоянием транспортировки кимберлитовых минералов и крайне неравномерным их распределением, как в разрезе, так и по латерали [2, 3]. Исследователями установлено, что в нижней части разреза дяхтарской толщи содержание алмазов снижается по мере удаления от кимберлитового тела. С удалением от коренных объектов в россыпи наблюдается незначительное сокращение количества мелких кристаллов [2]. Это свидетельствует о некоторой сортировке алмазов в осадочных отложениях. Большую роль в формировании россыпи сыграли карстовые и эрозионно-карстовые формы рельефа, которые были ловушками кимберлитовых минералов. Концентрированные шлейфы последних четко контролируются бортами депрессии и протягиваются в юго-западном направлении [3].

Нами за период с 2004 по 2019 год исследованы особенности кристаллов дяхтарской толщи и проведен анализ изменения свойств алмазов из отложений непосредственно как над трубкой Нюрбинская, так и с удалением от нее более чем на 4 км к юго-западу, в том числе и участка россыпи к северо-западу от трубки Ботуобинская. В настоящей работе приводятся наиболее полные данные по результатам изучения алмазов, необходимые для выявления особенностей их размещения в осадочных отложениях, сортировки по тем или иным параметрам при формировании россыпей, что очень важно для локального прогнозирования коренных источников на изучаемой территории.

Методика и объемы исследований

Алмазы россыпи Нюрбинская были исследованы минералогическими и оптико-спектроскопическими методами. Из отложений дяхтарской толщи в пределах

россыпи Нюрбинская в общей сложности изучено 2831 кристалл размерностью $-8+0.5$ мм. Алмазы извлечены из керновых проб 260 скважин, пройденных в ходе геологоразведочных работ Ботуобинской, Мирнинской и Вилуйской экспедиций АК «АЛРОСА» (ПАО). В анализе распределения алмазов с теми или иными параметрами в плане россыпи использовались скважины, из керна которых было извлечено не менее 10 кристаллов. Такую выборку представляют 2238 алмазов из 62 скважин.

Исследование алмазов проводилось с применением минералогической классификации по комплексу взаимосвязанных признаков и свойств, предложенной Ю. Л. Орловым [5] и дополненной другими исследователями [6–9]. Выполнено разделение алмазов отдельных генетических разновидностей по габитусу и морфологическим типам кристаллов [10, 11]. Для каждого кристалла определено наличие и тип скульптур травления, характер двойникования кристаллов. Изучены их гранулометрия, сохранность, характер сколов, трещиноватость, включения, степень прозрачности, цвет, пятна пигментации визуальная характеристика фотолюминесценции, ожелезнение, наличие и степень механического износа. Анализ свойств алмазов проводился с разделением по гранулометрическим классам крупности. Физикографическое изучение выполнено под бинокулярами Leica Wild M420, для возбуждения фотолюминесценции при визуальном определении цвета свечения использован лазер АИЛ – 3 (λ – 337 нм).

Спектроскопические исследования проводились на Фурье спектрометрах фирмы Bruker VERTEX-70 с микроскопом Nuregion 2000 в диапазоне $400–4500$ см^{-1} и Tensor-27 с микроскопом Nuregion 3000 в диапазоне $600–4500$ см^{-1} . Рассматривались интегральные спектры, нормирование которых осуществлялось по поглощению в двухфононной области [12]. По спектрам определялись концентрации C-, A-, B1-, B2-дефектов алмазов. Согласно современным представлениям эти дефекты обусловлены: C – одиночными атомами азота, A – парами атомов азота в соседних узлах решетки [13], B (B1) – агрегатами из четырех атомов азота, расположенных тетраэдрически вокруг вакансии [14] B2 (B' или P) – пластинчатыми дефектами (platelets) [15]. Для расчёта спектров алмазов смешанного IaAB типа применяли предварительное разложение суммарного ИК-спектра с выделением контуров, соответствующих C-, A- и B-системам полос, полученных с природных алмазов чистых типов Ib, IaA и IaB. Определение концентрации азота в A и B1 формах вычисляли в соответствии с [16, 17]. Содержание B2-дефектов определялось по коэффициенту поглощения полосы в диапазоне $1358–1380$ см^{-1} , а размер – по положению максимума его полосы [18]. При сравне-

нии алмазов широко применяется такой параметр как агрегация азота – процентное содержание азота в В-форме. Относительные погрешности определения коэффициентов поглощения для А, В1 и В2 центров составили около 10%. По полученным спектрам поглощения алмазов в инфракрасной области определены значения концентраций ряда основных и дополнительных дефектов кристаллической структуры, построены статистические распределения алмазов по определенным параметрам. Найдены также усредненные значения концентраций азота в определенных формах и водорода.

Обсуждение результатов

Максимальное количество кристаллов в отложениях дяхтарской толщи извлечено из керна скважин, расположенных в непосредственной близости от карьера трубки Нюрбинская. С удалением от нее количество алмазов падает. Только на участке россыпи к северо-западу от трубки Ботубинская наблюдается

повышение количества кристаллов до 30 зерен в скважине (рис. 1). Среди исследованных алмазов наиболее представительными по количеству являются кристаллы класса $-1+0.5$ мм (69%). Алмазы класса $-2+1$ мм составляют в среднем 26% от общего количества. Доля кристаллов класса $-4+2$ мм низкая (4%), а на алмазы классов $-8+4$ и $-0,5$ мм приходится менее 1% изученной выборки. Средний вес алмазов класса $-1+0,5$ мм составляет 0.7 мг, $-2+1$ мм – 4,8 мг. В целом гранулометрические характеристики изученной выборки близки к таковым в трубках Нюрбинская и Ботубинская. В среднем по россыпи отмечается несколько повышенное (на 8–11%) содержание мелких кристаллов. Алмазы крупностью $-2+1$ мм распределены неравномерно в плане россыпи, их содержание снижается в районе трубки Ботубинская. Для кристаллов класса $-1+0.5$ мм наблюдается обратная закономерность, их доля возрастает на участке к северо-западу от трубки Ботубинская и в юго-западной части россыпи в целом (см. рис. 1).

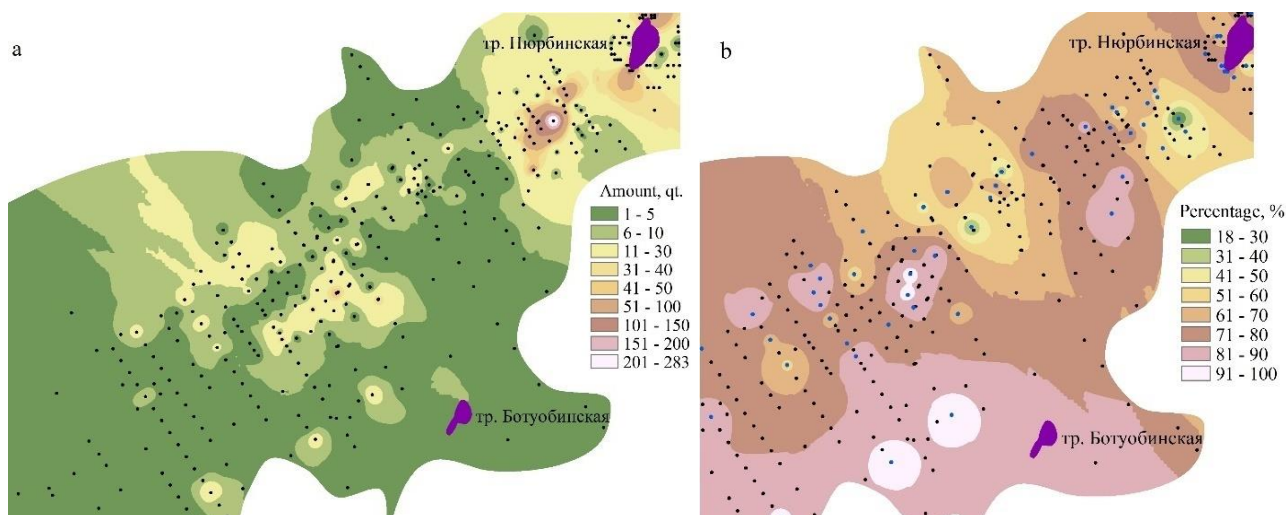


Рис. 1. Распределение общего количества алмазов (а) и содержания кристаллов класса $-1+0.5$ мм (б) в отложениях дяхтарской толщи.

[Fig. 1. Distribution total diamonds (a) and the content of crystals of class $-1 + 0.5$ mm (b) in the Dyakhtar strata.]



Рис. 2. Общий вид алмазов из отложений дяхтарской толщи (класс $-2+1$ мм).

[Fig. 2. General view of diamonds from the Dyakhtar strata (class $-2+1$ mm).]

Большинство алмазов россыпи представлено кристаллами I разновидности (93%, рис. 2), среди которых в близких количествах встречаются октаэдры, ламинарные ромбододекаэдры и переходные между ними формы (по 19–25%), округлые додекаэдрониды встречаются редко (2%).

Доля кристаллов октаэдрического габитуса на 9% возрастает среди алмазов класса $-2+1$ мм. Преобладают камни с розово-сиреневой фотолуминесценцией (51%) при заметной доле кристаллов с желтым, оранжевым и желто-зеленым свечением (в сумме 29%). Такое распределение алмазов по характеру свечения в УФ-лучах очень близко к таковому в трубках. Помимо алмазов I разновидности в выборке присутствуют кристаллы IV (6%), чаще всего желтой, желто-зеленой цветовой гаммы. Нередко оболочка имеет незначительную толщину, встречаются сростки

кристаллов с различной её толщиной.

На рисунке представлен сросток индивидов, у одного из них оболочка практически полностью отсутствует, другой кристалл имеет фрагментарно её сохранившуюся, у третьего она тонкая, но равномерно распределенная (рис. 3).

Редко встречаются поликристаллические сростки VIII разновидности (1%), алмазы II и III разновидности (единичные находки). Среди алмазов различного габитуса доминируют индивиды со сноподвидной, сноподвидно-заноюзистой штриховкой, а также с полицентрическим строением граней.

По характеру морфологии алмазы из дяктарских отложений в среднем занимают промежуточное положение между алмазами трубок Нюрбинская и Ботуобинская, в том числе кристаллов сопоставимых классов крупности. Распределение алмазов по габитусу в плане россыпи неравномерное, наблюдается чередование участков с повышенными содержаниями октаэдров и ламинарных ромбододекаэдров (рис. 4). Причем участки с увеличенной долей ламинарных ромбододекаэдров I разновидности, которые более характерны для трубки Ботуобинская, находятся как в районе этой трубки, так и рядом с

карьером трубки Нюрбинская. Повышенные содержания кристаллов такого габитуса отмечались ранее в дайке рядом с трубкой Нюрбинская [19–21].



Рис. 3. Сросток алмазов IV разновидности из отложений дяктарской толщи.

[Fig. 3. Aggregates of diamond variety IV from the Dyakhtar strata.]

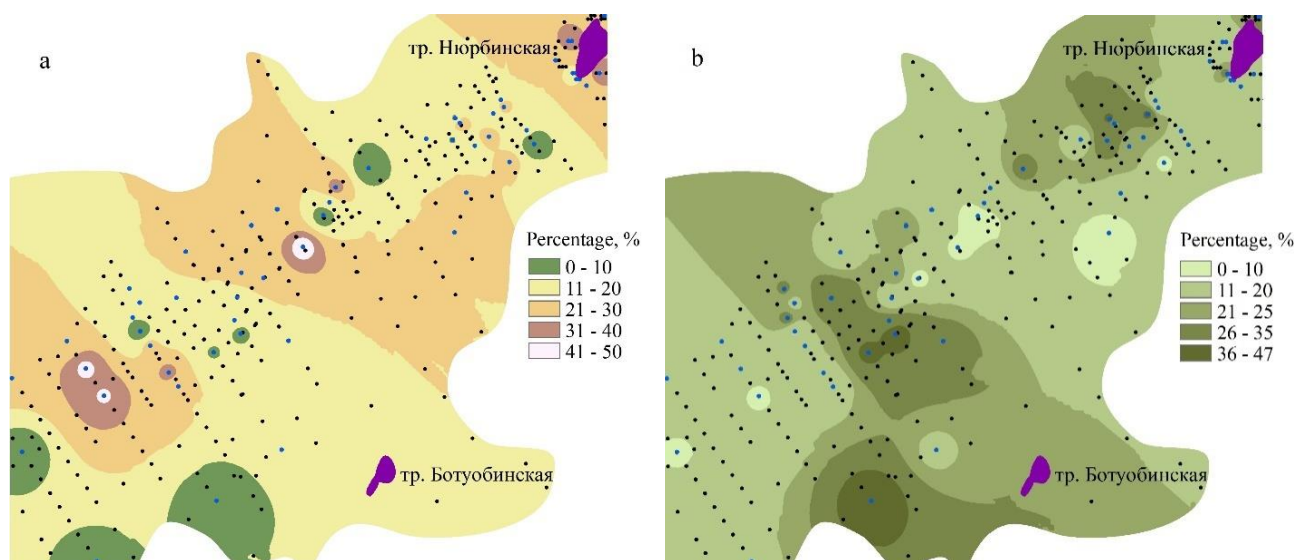


Рис. 4. Распределение октаэдров (а) и ламинарных ромбододекаэдров (б) I разновидности в отложениях дяктарской толщи.
[Fig. 4. Distribution of octahedrons (a) and laminar dodecahedrons (b) of variety I from the Dyakhtar strata.]

Обращает на себя внимание высокое содержание в россыпи кристаллов со скульптурами травления, которые в среднем составляют половину исследованных алмазов (51%). Повышенное содержание индивидов с травлением характерно для верхних горизонтов трубки Ботуобинская (53%), в то время как среди алмазов трубки Нюрбинская доля таких кристаллов не превышает третью часть выборки. Скульптуры травления представлены в основном каналами травления «шрамами». Высокое содержание кристаллов со скульптурами сохраняется при сравнении алмазов одной крупности. Максимальное содержание таких алмазов в

пределах россыпи наблюдается на участке к северо-западу от трубки Ботуобинская (рис. 5).

Доля окрашенных кристаллов в отложениях дяктарской толщи довольно низкая (26%). В основном они окрашены в дымчато- и лилово-коричневые цвета. Отличия алмазов из россыпи от трубок Нюрбинская и Ботуобинская по этому параметру находятся в пределах 10%. В плане россыпи наблюдается снижение частоты встречаемости цветных алмазов на участке к северо-западу от тр. Ботуобинская, а максимальное их содержание наблюдается на крайнем юго-западном фланге (см. рис. 5).

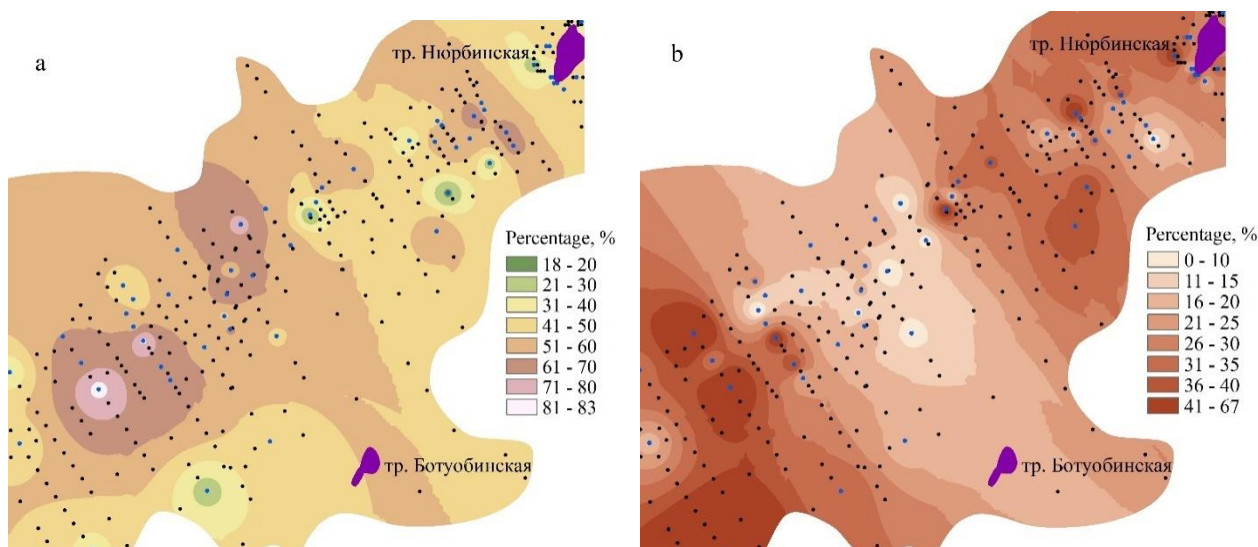


Рис. 5. Распределение алмазов со скульптурами травления (а) и окраской (б) в отложениях дяхтарской толщи.
[Fig. 5. Distribution of diamonds with sculptures (a) and color (b) in the Dyakhtar strata.]

Среди алмазов дяхтарской толщи относительно часто и независимо от их крупности встречаются железненные кристаллы (14%) и камни с зелеными пятнами пигментации (3%), окраской «морской волны» (2%). Для сравнения: среди алмазов верхних горизонтов трубки Нюрбинская такие кристаллы составляют десятые доли процента. По содержанию железненных камней алмазы россыпи близки к таковым из трубки Ботуобинская. Доля алмазов с включениями (39%), а также двойников и сростков (16%) также находится на уровне тр. Ботуобинская и повышено относительно трубки Нюрбинская как в среднем, так и в классах $-2+1$ и $-1+0,5$ мм. В плане россыпи алмазы с данными параметрами распределены закономерно. Механический износ на кристаллах из отложений дяхтарской толщи отсутствует. Однако встречаются единичные индивиды с тонкой матировкой, заходящей на поверхность скола или практически полностью покрывающей скол (рис. 6). Возможно, такая матированная поверхность является результатом механического воздействия на кристалл, так как одинаково развита как на остатках граней кристалла, так и на его сколе.

По внешнему виду такие поверхности отличаются от классической матировки в результате окисления алмаза в приповерхностных условиях. Кристаллы с такой матировкой имеют крупность от 4 до 0,5 мм, встречаются на различных участках россыпи и не зафиксированы в пределах карьера трубки.

Сохранность (целостность) алмазов дяхтарской толщи невысокая, половина выборки представлена обломками (33%) и осколками (23%) кристаллов. Доля целых и в незначительной степени поврежденных камней составляет 21%. Наиболее низкая степень сохранности характерна для алмазов класса $-1+0,5$ мм. По характеру сколов среди изученных алмазов в близком содержании встречаются индивиды с прото-



Рис. 6. Матировка на поверхности скола кристалла алмаза из дяхтарской толщи.
[Fig. 6. Matting on the surface of a cleavage of a diamond crystal from the Dyakhtar strata.]

магматическими (25%), механическими, техногенными (в сумме 28%) и комбинационными (33%) сколами. Различия по характеру сколов алмазов наиболее представительных по количеству классов крупности находятся в пределах 10%. Большинство алмазов трещиновато (60%), в основном такие кристаллы имеют единичные поверхностные и глубокие трещины. Доля трещиноватых камней выше среди кристаллов класса $-2+1$ мм.

Более высокая степень сохранности алмазов из отложений дяхтарской толщи характерна для части россыпи рядом с карьером трубки Нюрбинская и участка к северо-западу от трубки Ботуобинская (рис. 7). Следует заметить, что среди алмазов верхних горизонтов трубки Нюрбинская доля камней с высокой степенью сохранности составляет 21%, а трубки Ботуобинская – 32%.

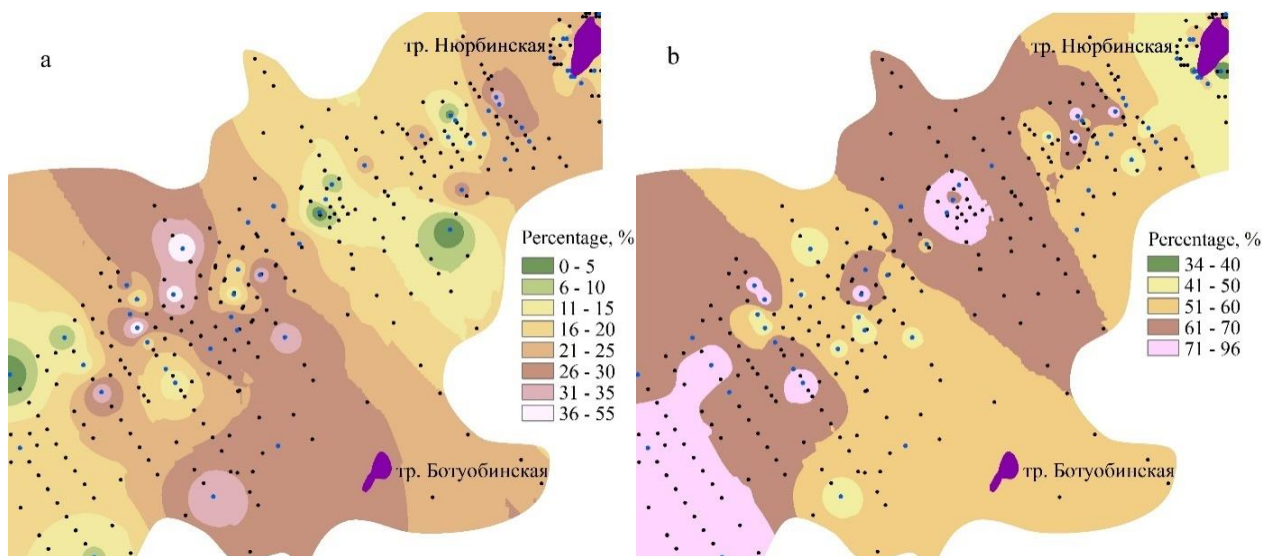


Рис. 7. Распределение алмазов высокой (а) и низкой (б) степени сохранности в отложениях дяктарской толщи.
[Fig. 7. Distribution of diamonds high (a) and low (b) degree of integrity from the Dyakhtar strata.]

По данным ИК-спектроскопии среди изученных алмазов из дяктарской толщи в близких долях присутствуют кристаллы с малыми (до 400 at. ppm) и средними (от 400 до 800 at. ppm) концентрациями структурного азота – 36 и 42% соответственно, а с высокой (от 800 до 2500 at. ppm) примесью – около 17%. Распределение по содержанию суммарного азота имеет основной максимум на 400–600 at. ppm. Среднее значение содержания структурной примеси по выборке – 543 at. ppm. «Безазотных» (с концентрацией менее 25 at. ppm, тип Ia) – около 2%, остальные алмазы можно отнести к физическому типу Ia.

Распределение по содержанию азота в В-форме имеет основной максимум на 25%. Коэффициенты поглощения В2-центров в спектрах достигают 52.6 cm^{-1} , а у 71% кристаллов типа Ia они более 2 cm^{-1} . Содержания примеси водорода повышены у 42%

алмазов, коэффициент поглощения узкой линии на 3107 cm^{-1} у них более 1 cm^{-1} при максимальном значении 35.5 cm^{-1} , а усредненный по выборке – 2.2 cm^{-1} . Основные формы алмазов I разновидности практически не отличаются друг от друга по содержанию суммарного азота и степени агрегации. Сравнение кристаллов классов -2+1 и -1+0.5 мм также показало близость анализируемых ИК-параметров. В целом, по содержанию суммарного азота и примеси азота в В-форме алмазы из дяктарских отложений занимают промежуточное положение между алмазами трубок Нюрбинская и Ботуобинская. Анализ распределения кристаллов с данными свойствами в плане россыпи показал, что к северо-западу от трубки Ботуобинская выделяется участок с доминированием средне- и малоазотистых кристаллов с пониженной степенью агрегации этой примеси (рис. 8).

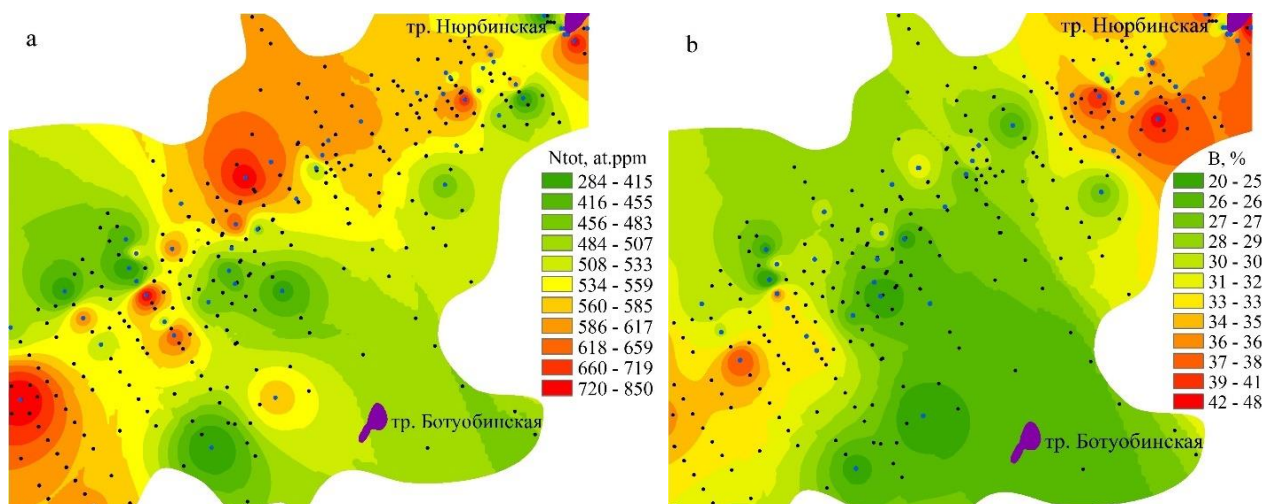


Рис. 8. Распределение алмазов дяктарской толщи по содержанию суммарного азота (а) и процентному содержанию азота в В-форме (б).
[Fig. 8. Distribution of diamonds Dyakhtar strata by the total nitrogen content (a) and the percentage of nitrogen in the B-form (b).]

Алмазы этого участка ближе к алмазам трубки Ботуобинская, для верхних горизонтов которой усредненное значение суммарного азота в кристаллах составляет 418 ат. ppm, а содержание азота в В-форме – 25%. Алмазы трубки Нюрбинская имеют более высокие усредненные значения этих параметров: суммарное содержание примеси азота 594 ат. ppm и азота в В-форме 29%.

Заключение

Проведёнными комплексными исследованиями установлено, что кристаллы алмаза из отложений дяхтарской толщи характеризуются признаками, характерными для НКП в целом. К ним относятся: преобладание в сумме кристаллов октаэдрического и переходного габитуса, заметная доля ламинарных ромбододекаэдров I разновидности, низкая доля округлых додекаэдридов, относительно высокое содержание алмазов с оболочкой IV разновидности, резкое преобладание камней с розово-сиреневым свечением, при низкой (менее 15%) доле кристаллов с сине-голубой люминесценцией. Основная часть кристаллов ассоциации имеет средние концентрации примеси азота (от 200 до 600 ат.ppm) и среднюю степень её агрегации (от 20 до 40%).

По сравнению с верхними горизонтами трубок Нюрбинская и Ботуобинская в отложениях дяхтарской толщи в среднем отмечается повышение доли кристаллов класса -1+0.5 мм. Среди них чаще встречаются кристаллы с зелеными пятнами пигментации и окраской «морской волны». По остальным параметрам алмазы дяхтарской толщи занимают в основном промежуточное положение между трубками Нюрбинская и Ботуобинская.

Анализ распределения свойств алмазов дяхтарской толщи в плане россыпи показал отсутствие планомерного изменения свойств алмазов с удалением от трубки Нюрбинская. Так, в непосредственной близости от карьера трубки, на участке с максимальным количеством алмазов, повышается содержание кристаллов класса -2+1 мм и сокращается количество мелких, менее 1 мм, кристаллов. Здесь же возрастает содержание ламинарных ромбододекаэдров и кристаллов со скульптурами травления, индивидов с повышенной степенью агрегации примеси азота, характерных для дайки рядом с трубкой Нюрбинская. Далее на юго-запад от трубки Нюрбинская гранулометрический состав алмазов варьирует. Участки с повышенным содержанием мелких алмазов перемежаются с участками, где возрастает доля кристаллов класса -2+1 мм, вплоть до территории примерно в 2 км от карьера трубки Нюрбинская и сопряженной с трубкой Ботуобинская. На этой территории наблюдается всплеск по количеству кристаллов, извлеченных из керна скважин, возрастает доля алмазов класса -1+0.5 мм. По совокупности морфологических и оптико-спектральных параметров алмазы этой части россыпи максимально близки к таковым из верхних горизонтов

трубки Ботуобинская. Здесь снижается доля окрашенных камней и повышается степень сохранности алмазов, увеличивается содержание ламинарных ромбододекаэдров I разновидности и индивидов с пониженным содержанием суммарного азота и пониженной степенью агрегации данной примеси.

Юго-западнее данной территории (практически на фланге россыпи), наблюдается устойчиво повышенное содержание кристаллов класса -1+0.5 мм и кристаллов со скульптурами травления. Количество алмазов на данном участке снова падает. Возрастает до уровня трубки Нюрбинская содержание октаэдров, средне- и высокоазотистых индивидов, увеличивается количество кристаллов с повышенной степенью агрегации примеси азота. Сохранность алмазов падает, возрастает доля окрашенных кристаллов, что вместе с другими подученными материалами, позволяет утверждать о наличии в пределах россыпи Нюрбинская зональности по свойствам алмазов из отложений дяхтарской толщи. Различия отдельных участков россыпи, скорее всего, обусловлены особенностями строения плотика россыпи и концентрации материала из разных коренных источников, чем сортировкой кристаллов в процессе осадконакопления и дальнейших стадиях преобразования пород.

Благодарности: Авторы выражают огромную благодарность и признательность кандидату геолого-минералогических наук, заслуженному геологу Республики Саха (Якутия), Коптилю Василию Ивановичу, который лично проводил исследования алмазов трубки и россыпи Нюрбинская вплоть до 2005 г., под руководством которого проходило обучение специалистов лаборатории и дальнейшие исследования алмазов.

Конфликт интересов: Авторы декларируют отсутствие явных и потенциальных конфликтов интересов, связанных с публикацией настоящей статьи.

ЛИТЕРАТУРА

1. Граханов С. А., Шаталов В. И., Штыров В. А., Кычкин В. Р., Сулейманов А. М. Россыпи алмазов России. Новосибирск: Академическое издательство «Гео», 2007. 457 с. URL: <http://www.geokniga.org/books/15515> (дата обращения: 23.04.2020).
2. Граханов О. С., Серов И. В. Древние россыпи ближнего сноса Средне-Мархинского алмазоносного района // *Известия высших учебных заведений. Геология и разведка*. 2009. № 3. С. 22–27. URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=15116411> (дата обращения: 23.04.2020).
3. Граханов О. С. Рельеф погребенного карбонатного цоколя и его роль в формировании раннеюрской россыпи алмазов Средне-Мархинского района // *Наука и образование*. 2009. № 3. С. 54–59. URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=13022825> (дата обращения: 23.04.2020).
4. Килижеков О. К., Толстов А. В. Закономерности образования и размещения промышленных россыпей алмазов в Накынском кимберлитовом поле (Якутская алмазоносная провинция) // *Наука и образование*. 2017. № 1 (85). С. 12–20. URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=28856012> (дата обращения: 23.04.2020).

5. Орлов Ю. Л. Минералогия алмаза. М.: «Наука», 1984. 264 с. URL: <http://www.geokniga.org/books/790> (дата обращения: 23.04.2020).
6. Орлов Ю. Л., Каминский Ф. В. «Карбонадо» с лонсдейлитом // *Доклады Академии наук СССР*. 1981. Т. 259 (№ 2). С. 459–461.
7. Афанасьев В. П., Зинчук Н. Н. Минерогения древних россыпей алмазов восточного борта Тунгусской синеклизы // *Геология и геофизика*. 1987. № 1. С. 90–96.
8. Афанасьев В. П., Зинчук Н. Н. Основные литодинамические типы ореолов индикаторных минералов кимберлитов и обстановки их формирования // *Геология рудных месторождений*. 1999. Т. 41 (№ 3). С. 281–288.
9. Зинчук Н. Н., Коптиль В. И., Борис Е. И., Липашова А. Н. Типоморфизм алмазов из россыпей Сибирской платформы как основа поисков алмазных месторождений // *Руды и металлы*. 1999. № 3. С. 18–31. URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=9222367> (дата обращения: 23.04.2020).
10. Кухаренко А. А. Алмазы Урала. М.: Геолтехиздат, 1955. 515 с. URL: <http://www.geokniga.org/books/20231> (дата обращения: 23.04.2020)
11. Бартошинский З. В. Минералогическая классификация природных алмазов // *Минералогический журнал*. 1983. Т. 5 (№ 5). С. 84–93.
12. Бокий Г. Б., Безруков Г. Н., Ключев Ю. А. и др. Природные и синтетические алмазы. М.: «Наука», 1986. 222 с.
13. Davies G. The nitrogen aggregate in diamond – its symmetry and possible structure // *J. Phys. C: Solid State Phys.* 1976. Vol. 9. pp. 537–542.
14. Bursill L. A., Glaisher R. W. Aggregation and dissolution of small and extended defect structures in type Ia diamond // *Amer. Miner.* 1985. Vol. 70. pp. 608–618.
15. Woods G. S. Platelets and the infrared absorption of type Ia diamonds // *Proc. Roy. Soc.* 1986. Vol. 407. pp. 219–238.
16. Boyd S. R., Kiflawi I., Woods G. S. The relationship between infrared absorption and the A defect concentration in diamond // *Phil. Mag. B.* 1994. Vol. 69. pp. 1149–1153.
17. Boyd S. R., Kiflawi I., Woods G. S. Infrared absorption by the B nitrogen aggregate in diamond // *Phil. Mag. B.* 1995. Vol. 72. pp. 351–361.
18. Соболев Е. В., Ленская С. В., Лисойван В. И. О пластинчатых образованиях в структуре природных алмазов // *Журнал структурной химии*. 1968. Т. 9 (№ 6). С. 1029–1033.
19. Коптиль В. И., Кедрова Т. В., Ковальчук О. Е., Толстов А. В., Пыжьянов С. А., Банзерук В. И. Новые данные по типоморфизму алмазов из россыпей и кор выветривания кимберлитовых тел Средне-Мархинского района по результатам комплексных минералогических и физических исследований. *Комплексное изучение и освоение природных и техногенных россыпей: труды IV Международной научно-практической конференции. Симферополь-Судак, 17-22 сентября 2007 г.* С. 62–67. URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=28991952> (дата обращения: 23.04.2020)
20. Зинчук Н. Н., Савко А. Д., Крайнов А. В. Кимберлиты в истории Земли. Труды научно-исследовательского института геологии: Воронеж, Изд-во Воронеж. гос. ун-та. Вып. 68, 2013. 100 с. URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=21763902> (дата обращения: 23.04.2020)
21. Мальцев М. В., Толстов А. В., Фомин В. М., Старкова Т. С. Новое кимберлитовое поле в Якутии и типоморфные особенности его минералов-индикаторов // *Вестник Воронежского государственного университета. Серия: Геология*. 2016. № 3. С. 86–94. URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=26723000> (дата обращения: 23.04.2020).

Кедрова Татьяна Владимировна – с. н. с., НИГП АК «АЛРОСА» (ПАО Мирный, Республика Саха (Якутия), Российская Федерация; E-mail: tvkedr@mail.ru, ORCID <http://orcid.org/0000-0001-5710-9654>

Богдаш Ирина Николаевна к.г.-м. н., в. н. с., НИГП АК «АЛРОСА» (ПАО), Мирный, Республика Саха (Якутия), Российская Федерация; E-mail: irinabogush2165@gmail.com, ORCID <http://orcid.org/000-0001-7025-5867>

Зинчук Николай Николаевич – д. г.-м. н., профессор, академик Академии наук РС (Якутия), г. н. с., НИГП АК «АЛРОСА» (ПАО), Мирный, Республика Саха (Якутия), Российская Федерация; E-mail: nnzinchuk@rambler.ru, ORCID <http://orcid.org/0000-0002-9682-3022>

Бардухинов Леонид Данилович – заведующий лабораторией, НИГП АК «АЛРОСА» (ПАО), Мирный, Республика Саха (Якутия), Российская Федерация; E-mail: BardukhinovLD@alrosa.ru, ORCID <http://orcid.org/0000-0001-6526-2747>

Липашова Алла Николаевна – с. н. с., НИГП АК «АЛРОСА» (ПАО), Мирный, Республика Саха (Якутия), Российская Федерация; E-mail: LipashovaAN@alrosa.ru, ORCID <http://orcid.org/0000-0002-0083-2558>

Авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.

Tatiana V. Kedrova – senior research fellow, NIGP PJSC «ALROSA», Mirny, Republic of Sakha (Yakutia), Russian Federation; E-mail: tvkedr@mail.ru, ORCID <http://orcid.org/0000-0001-5710-9654>

Irina N. Bogush – PhD in Geol-Min., Leading Researcher, NIGP PJSC «ALROSA», Mirny, Republic of Sakha (Yakutia), Russian Federation; E-mail: irinabogush2165@gmail.com, ORCID <http://orcid.org/000-0001-7025-5867>

Nikolai N. Zinchuk – PhD, Dr. habil. in Geol.-Min., professor, academician of the Academy of Sciences of the RS (Yakutia), Chief Researcher, NIGP PJSC «ALROSA», Mirny, Republic of Sakha (Yakutia), Russian Federation; E-mail: nnzinchuk@rambler.ru, ORCID <http://orcid.org/0000-0002-9682-3022>

Leonid D. Bardukhinov – Head of the Laboratory, NIGP PJSC «ALROSA», Mirny, Republic of Sakha (Yakutia), Russian Federation; E-mail: BardukhinovLD@alrosa.ru, ORCID <http://orcid.org/0000-0001-6526-2747>

Alla N. Lipashova – senior research fellow, NIGP PJSC «ALROSA», Mirny, Republic of Sakha (Yakutia), Russian Federation; E-mail: LipashovaAN@alrosa.ru, ORCID <http://orcid.org/0000-0002-0083-2558>

All authors have read and approved the final manuscript.

Typomorphic properties of diamonds from the Dyakhtar stratum of the Nyurbinskaya placer (Siberian platform)

©2020 T. V. Kedrova[✉], I. N. Bogush, N. N. Zinchuk, L. D. Bardukhinov, A. N. Lipashova

*Geo-Scientific Research Enterprise AK ALROSA (PAO), 16, Chernyshevskoe shosse,
Mirny, Republic of Sakha (Yakutia), Russian Federation*

Abstract

Introduction: The Nyurbinskaya placer is a unique, buried, proximal transport diamond deposit in the Nakyn kimberlite field (NKP) of the Siberian platform. The lower deposits of the placer are deposits of the Dyakhtar stratum, which are characterised by an uneven distribution of kimberlite minerals. In order to identify the patterns of diamond distribution in sedimentary deposits, the features of crystals from the Dyakhtar stratum were studied and the changes in their properties with distance from the Nyurbinskaya kimberlite pipe were analysed.

Methodology: The research results are based on the complex mineralogical and optical spectroscopic characteristics of more than 2,000 crystals from the Dyakhtar stratum of the Nyurbinskaya placer with a diamonds size of 8 to 0.25 mm. In addition to the particle size characteristics, 13 physiographic parameters were determined for each crystal and the infra-red absorption integral spectra were obtained. Furthermore, the concentrations of C-, A-, B1-, B2-defects, the averaged values of nitrogen concentrations in certain forms, and the hydrogen concentrations were calculated. The statistical distributions of diamonds for certain parameters were constructed.

Results and discussion: Crystals from the deposits of the Dyakhtar stratum are characterized by features typical of the NKP as a whole. An average increase in the fraction of crystals of class -1.5 mm is observed in the deposits of the Dyakhtar stratum compared to the upper horizons of the Nyurbinskaya and Botuobinskaya pipes. Among the sediments of the Dyakhtar stratum are more common crystals with green pigmentation spots and of a sea-green colour. The analysis of the distribution of diamond properties in the Dyakhtar stratum showed the absence of a systematic change in diamond properties with distance from the Nyurbinskaya pipe. Even in the placer area within quarry of the Nyurbinskaya pipe and next to it there is an admixture of crystals that are more characteristic of NKP dykelets. The diamonds from one of the sites of the placer that are remote from the Nyurbinskaya pipe are closer to the Botuobinskaya pipe in terms of the aggregate of their parameters.

Conclusion: Within the Nyurbinskaya placer, zoning is observed in the diamond properties in sediments of the Dyakhtar stratum. The differences in individual sections of the placer are most likely due to the structural features of the placer subterranean and the concentration of material from different kimberlite pipes and bodies rather than to the sorting of crystals during sedimentation. The obtained results are important for solving issues of local forecasting of new primary sources in the studied area.

Keywords: diamonds, placers, Nakyn kimberlite field.

For citation: Kedrova T. V., Bogush I. N., Zinchuk N. N., Bardukhinov L. D., Lipashova A. N. Typomorphic properties of diamonds from the Dyakhtar stratum of the Nyurbinskaya placer (Siberian



The content is available under Creative Commons Attribution 4.0 License.

✉ Tatiana V. Kedrova, e-mail: tvkedr@mail.ru

platform). *Vestnik Voronezhskogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya: Geologiya = Proceedings of Voronezh State University. Series: Geology*. 2020, no. 3, pp. 45–54. DOI: <https://doi.org/10.17308/geology.2020.3/3008>

Acknowledgments: The authors express their gratitude and appreciation to the PhD in Geol.-Min., Honored Geologist of the Republic of Sakha (Yakutia), Vasily I. Koptil, who conducted studies of diamonds from the Nyurbinskaya pipe and placer until 2005, under whose guidance the laboratory specialists were trained and further studies of diamonds.

Conflict of interest: The authors declare the absence of obvious and potential conflicts of interest related to the publication of this article.

REFERENCES

1. Grakhanov S. A., Shatalov V. I., Shtyrov V. A., Kychkin V. R., Sulejmanov A. M. *Rossypi almazov Rossii*. [Diamond placers of Russia]. Novosibirsk: Geo, 2007. 457 p. Available at: <http://www.geokniga.org/books/15515> (accessed 23.04.2020). (In Russ.).
2. Grakhanov O. S., Serov I. V. Drevnie rossypi blizhnego snosa Sredne-Marhinskogo almazonosnogo rajona. [Ancient placers of Middle Markhinsk Diamondiferous Province]. *Proceedings of higher educational establishments. Geology and Exploration*, 2009, no. 3, pp. 22–27 (In Russ.).
3. Grakhanov O. S. Rel'ef pogrebennogo karbonatnogo cokolja i ego rol' v formirovanii rannejurskoj rossypi almazov Sredne-Marhinskogo rajona. [The relief of the buried carbonate socle and its role in the formation of the Early Jurassic diamond placer of the Middle Markha region]. *Nauka i obrazovanie = Science and education*, 2009, no. 3, pp. 54–59 (In Russ.).
4. Kilizhekov O. K., Tolstov A. V. Zakonomernosti obrazovanija i razmeshhenija promyshlennyh rossypej almazov v Nakynskom kimberlitovom pole (Jakutskaja almazonosnaja provincija). [Laws of Formation and Placing of Industrial Placer Diamonds in the Nakyn Kimberlite Field (Yakut Diamondiferous Province)]. *Nauka i obrazovanie = Science and education*, 2017, no. 1 (85), pp. 12–20 (In Russ.).
5. Orlov Ju. L. *Mineralogija almaza*. [Mineralogy of Diamond]. Moscow, Nauka publ., 1984. 264 p. Available at: <http://www.geokniga.org/books/790> (accessed 23.04.2020). (In Russ.).
6. Orlov Ju. L., Kaminskij F. V. «Karbonado» s lonsdejlitom. [«Carbonado» with lonsdalite]. *Doklady Akademii Nauk SSSR = Reports of the USSR Academy of Sciences*, 1981, vol. 259, no. 2, pp. 459–461 (In Russ.).
7. Afanasiev V. P., Zinchuk N. N. Mineragenija drevnih rossypej almazov vostochnogo borta Tungusskoj sineklizy. [Minerageny of ancient placers of diamonds on the eastern side the Tunguska syncline]. *Geology and geophysic*, 1987, no. 1, pp. 90–96 (In Russ.).
8. Afanasiev V. P., Zinchuk N. N. Osnovnye litodinamicheskie tipy oreolov indikatornyh mineralov kimberlitov i obstanovki ih formirovanija. [Main types of litodynamic tipe of kimberlite indication minerals and the conditions of their formation]. *Geologija rudnyh mestorozhdenij = Geology of ore deposits*, 1999, vol. 41, no. 3, pp. 281–288 (In Russ.).
9. Zinchuk N. N., Koptil V. I., Boris E. I., Lipashova A. N. Tipomorfizm almazov iz rossypej Sibirskoj platformy kak osnova poiskov almaznyh mestorozhdenij. [Typomorphism of diamonds from placers of the Siberian platform as the basis for prospecting of diamond deposits]. *Rudy i metally = Ores and metals*, 1999, no. 3, pp. 18–31 (In Russ.).
10. Kuharenko A. A. *Almazy Urala*. [Diamonds of the Urals]. Moscow: Gosudarstvennoe nauchno-tehnicheskoe izdatel'stvo literatury po geologii i ohrane nedr, 1955. 515 p. Available at: <http://www.geokniga.org/books/20231> (accessed 23.04.2020). (In Russ.).
11. Bartoshinskij Z. V. Mineralogicheskaja klassifikacija prirodnyh almazov. [Mineralogical classification of natural diamonds]. *Mineralogicheskij zhurnal = Mineralogical journal*, 1983, vol. 5, no. 5, pp. 84–93 (In Russ.).
12. Bokij G. B., Bezrukov G. N., Kljuev Ju. A. *Prirodnye i sinteticheskie almazy*. [Natural and synthetic diamonds]. Moscow: Nauka, 1986. 222 p. (In Russ.).
13. Davies G. The A nitrogen aggregate in diamond – its symmetry and possible structure. *J. Phys. C: Solid State Phys.*, 1976, vol. 9, pp. 537–542.
14. Bursill L. A., Glaisher R. W. Aggregation and dissolution of small and extended defect structures in type Ia diamond. *Amer. Miner.*, 1985, vol. 70, pp. 608–618.
15. Woods G. S. Platelets and the infrared absorption of type Ia diamonds. *Proc. Roy. Soc.*, 1986, vol. 407, pp. 219–238.
16. Boyd S. R., Kiflawi I., Woods G. S. The relationship between infrared absorption and the A defect concentration in diamond. *Phil. Mag. B.*, 1994, vol. 69, pp. 1149–1153.
17. Boyd S. R., Kiflawi I., Woods G. S. Infrared absorption by the B nitrogen aggregate in diamond. *Phil. Mag. B.*, 1995, vol. 72, pp. 351–361.
18. Sobolev E. V., Lenskaja S. V., Lisojvan V. I. O plastinchatyh obrazovanijah v strukture prirodnyh almazov. [About lamellar formations in the structure of natural diamonds]. *Zhurnal strukturnoj himii*, 1968, vol. 9, no. 6, pp. 1029–1033 (In Russ.).
19. Koptil' V. I., Kedrova T. V., Koval'chuk O. E., Tolstov A. V., Pyzh'janov S.A., Banzeruk V.I. Noveye dannye po tipomorfizmu almazov iz rossypej i kor vyvetrivanija kimberlitovyh tel Sredne-Marhinskogo rajona po rezul'tatam kompleksnyh mineralogicheskikh i fizicheskikh issledovanij. [New data about the typomorphism of diamonds from placers and crusts of weathering from kimberlite bodies of the Middle Markhinsk Diamondiferous Province based on the results of complex mineralogical and physical studies]. *Kompleksnoe izuchenie i osvoenie prirodnyh i tehnogenykh rossypej: trudy IV Mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoj konferencii. [Comprehensive study and development of natural and man-made placers: Proceedings of the IV International Scientific and Practical Conference]*. Simferopol-Sudak, September 17–22, 2007. Simferopol, Ukrainian State Geological Exploration Institute Press Publ., 2007. pp. 62–67. Available at: <https://elibrary.ru/item.asp?id=28991952> (accessed 23.04.2020). (In Russ.).
20. Zinchuk N. N., Savko A. D., Krainov A. V. *Kimberlity v istorii Zemli*. [Kimberlites in the Earth history]. *Trudy Nauchno-issledovatel'skogo Instituta Geologii* [The work of the Research Institute of Geology], Voronezh, VSU Publ., vol. 68, 2013. 100 p. Available at: <https://elibrary.ru/item.asp?id=21763902> (accessed 23.04.2020). (In Russ.).
21. Malzev M. V., Tolstov A. V., Fomin V. M., Starkova T. S. Novoe kimberlitovoe pole v Jakutii i tipomorfnye osobennosti ego mineralov-indikatorov. [New kimberlite field in Yakutia and typomorphic features of its indicator minerals]. *Vestnik Voronezhskogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya: Geologiya = Proceedings of Voronezh State University. Series: Geology*, 2016, no. 3, pp. 86–94 (In Russ.).