

РОССЫПИ АЛМАЗОВ НАКЫНСКОГО КИМБЕРЛИТОВОГО ПОЛЯ

Т.В. Кедрова¹, И.Н. Богуш¹, Н.Н. Зинчук¹, Л.Д. Бардухинов¹,
А.Н. Липашова¹, В.П. Афанасьев²

¹ПАО «АЛРОСА», 678170, Мирный, Чернышевское шоссе, 16, Россия

²Институт геологии и минералогии им. В.С. Соболева СО РАН,
630090, Новосибирск, просп. Академика Коптюга, 3, Россия

Представлены результаты исследований алмазов из осадочных отложений раннеюрского возраста, составляющих уникальное по запасам погребенное россыпное месторождение Нюрбинское Накынского кимберлитового поля. Основной задачей являлось выявление закономерностей размещения алмазов в отложениях дяктарской толщи (нижняя залежь) и укугутской свиты (верхняя залежь) в пределах россыпи. Проведен сравнительный анализ типоморфных особенностей алмазов верхней и нижней залежи россыпи, выявлены вариации в содержаниях кристаллов с определенными свойствами, формирующими образ алмазоносного геологического объекта. Установлено зональное распределение алмазов по совокупности их характеристик в осадочных отложениях независимо от их возраста. Помимо этого, в пределах россыпи наблюдаются изменения свойств алмазов и их ассоциаций, связанные с их переотложением в процессе нижнеюрского осадконакопления.

Алмазы, россыпи ближнего сноса, Накынное кимберлитовое поле

DIAMOND PLACERS OF THE NAKYN KIMBERLITE FIELD

T.V. Kedrova, I.N. Bogush, N.N. Zinchuk, L.D. Bardukhinov, A.N. Lipashova, V.P. Afanasiev

The paper presents the results of studies of diamonds from Early Jurassic sediments making up the Nyurbinskoe buried placer of the Nakyn kimberlite field, unique in diamond reserves. The main task was to identify the patterns of diamond distribution in the deposits of the Dyakhtar strata (lower deposit) and the Ukugut Formation (upper deposit) within the placer. A comparative analysis of the typomorphic features of diamonds from the upper and lower deposits of the placer was carried out. Variations in the contents of crystals with certain properties that form the image of a diamond-bearing geologic object have been revealed. The zonal distribution of diamonds by characteristics in sedimentary deposits, regardless of their age, has been established. The properties of diamonds and their associations change within the placer, which is due to their redeposition during the Early Jurassic sedimentation.

Diamonds, placers, Nakyn kimberlite field

ВВЕДЕНИЕ

Накынное кимберлитовое поле (НКП) расположено на западной окраине Виллойской синеклизы в субмеридиональной зоне Виллойско-Мархинских глубинных разломов, которые контролируют Мирнинское кимберлитовое поле (МКП) и ряд участков, перспективных на открытие новых кимберлитовых полей (рис. 1). Первая кимберлитовая трубка этого поля — Ботубинская — была открыта в 1994 г., позднее были открыты еще несколько кимберлитовых тел — тр. Нюрбинская, дайковые тела Майское и Мархинское, а также кимберлитовые жилы, сопровождающие кимберлитовые трубки. Трубка Нюрбинская в настоящее время разрабатывается. Помимо кимберлитов в пределах поля имеются богатейшие россыпи алмазов, сформированные за счет эрозии кимберлитовых трубок. Характеристике алмазов россыпей и сопоставлению их с алмазами кимберлитовых тел посвящена данная работа.

Особенности геологического строения Накынского кимберлитового поля

Кимберлитовые тела НКП имеют среднепалеозойский возраст, для трубок Нюрбинская и Ботубинская 364 млн лет [Агашев и др., 2004; Граханов и др., 2015]. Они прорывают нижнепалеозойские терригенно-карбонатные породы и на уровне эрозионного среза находятся в нижнеордовикских породах. Их возраст идентичен возрасту главных месторождений алмазов — кимберлитовых трубок Мир, Интернациональная и Юбилейная, установленному в пределах 358—362 млн лет [Дэвис и др., 1980].



Рис. 1. Расположение Накынского кимберлитового поля (схема Сибирской алмазоносной провинции).

1 — границы Сибирской алмазоносной провинции, 2 — границы алмазоносных субпровинций (ЯАП — Якутская, ТАП — Тунгусская, ААП — Алданская), 3 — Накынное кимберлитовое поле, 4 — Вилойско-Мархинская зона разломов (данные НИГП АК «АЛРОСА» (ПАО)).

Характерной особенностью трубок является низкое и примерно одинаковое содержание главных индикаторных минералов — пироба и магнезиохромита наряду с отсутствием пикроильменита [Соболев, 1971; Томшин и др., 1998; Похиленко и др., 2000]. По указанным признакам трубки Накынского поля наиболее близки к месторождению Айхал [Харьков и др., 1998]. Предельное содержание Cr_2O_3 в пиробах из концентрата (около 12 %) также близко к соответствующим данным по тр. Айхал, однако его нельзя связывать с уровнем алмазоносности. Даже в слабоалмазоносных трубках, как например в

тр. Као (Лесото), содержание Cr_2O_3 в пиробах достигает 17.45 %, кноррингитового компонента [Nixon, Hognung, 1968], соответственно, 30 мол. % [Соболев и др., 1969].

Территория НКП перекрыта нижнеюрскими отложениями, которые здесь подразделяются на две свиты — нижнюю дяхтарскую (J_1dh), лежащую на нижнеордовикских кимберлитовмещающих породах, и верхнюю укугутскую (J_1uk) над дяхтарской свитой. Эти отложения вмещают очень богатые россыпи, сформированные за счет размыва основных кимберлитовых тел — трубок Нюрбинская и Ботубинская; россыпи локализованы главным образом в базальных горизонтах континентальных отложений обеих свит.

С момента внедрения кимберлитовых тел до начала формирования нижнеюрских отложений на территории НКП эродированы ландоверийские отложения нижнего силура, верхне- и среднеордовикские отложения, возможно, часть нижнеордовикских. В общей сложности это составляет около 300 м, что достаточно для формирования богатых россыпей. Россыпи относятся к категории россыпей ближнего переноса, т. е. «привязаны» к питающим коренным источникам и по своим алмазам соответствуют им.

В разрезе дяхтарской свиты, выполняющей карстовые и эрозионно-карстовые формы палеорельефа, преобладают делювиальные, пролювиально-озерные и озерные образования, в то время как во впадинах эрозионно-карстового рельефа локально развиты коллювиальные отложения. Отложения свиты, местами достигающие мощности 65 м, характеризуются плохой сортировкой терригенного материала и крайне неравномерным распределением кимберлитовых минералов как в разрезе, так и по латерали.

Большая часть алмазов заключена в базальном горизонте укугутской свиты пролювиального, пролювиально-озерного и делювиально-пролювиального генезиса. Укугутская свита, с размывом перекрывающая отложения дяхтарской толщи и образования кор выветривания (КВ) на кимберлитах и породах нижнего ордовика, имеет сплошное (плащеобразное) распространение. Мощность пород свиты изменяется от 1.5 до 18.0 м, резко сокращаясь над кимберлитами тр. Нюрбинская. Распределение индикаторных минералов кимберлитов (ИМК) по латерали вблизи трубок довольно равномерное, однако наблюдается постепенное уменьшение их количества по мере удаления от кимберлитовых тел.

Две промышленные мезозойские россыпи (Нюрбинская и Ботубинская), отличаются по запасам алмазов [Граханов, 2009]. Россыпь Ботубинская относится к мелким по запасам месторождениям с высоким содержанием алмазов [Граханов и др., 2007], она более локальна, находится над кимберлитовым телом и в ближайшем его окружении, а основная масса алмазов сосредоточена в карстовой воронке рядом с карьером к юго-западу от него. Россыпь Нюрбинская является уникальной и по сумме ресурсов превышает крупнейшие россыпи севера и юга Якутской алмазоносной провинции (ЯАП). Алмазоносные пески этой россыпи пространственно сопряжены с кимберлитовой тр. Нюрбинская, которая является основным источником ее формирования. Максимальная продуктивность как дяхтарских, так и укугутских отложений наблюдается в россыпных коллекторах над этой трубкой и в ближайшем околотрубочном пространстве, а также в приконтактных карстовых депрессиях.

Нами исследованы минералогические особенности алмазов из отложений укугутской и дяхтарской свит от участка россыпи, примыкающего к тр. Нюрбинская, до юго-западного фланга в 5 км от нее.

ОБЪЕМЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

В общей сложности из отложений россыпи Нюрбинская изучено 8489 алмазов размерностью $-8...+0.2$ мм, в том числе 2831 кристалл нижней залежи (дяхтарская толща) и 5658 кристаллов из отложений укугутской свиты (верхняя залежь). Алмазы извлечены из керновых проб 403 скважин, пройденных в ходе геолого-разведочных работ Ботуобинской, Мирнинской и Вилюйской экспедиций АК «АЛРОСА» (ПАО). При анализе распределения алмазов по типоморфным особенностям использованы скважины, из керна которых было извлечено не менее 10 кристаллов. Такую выборку представляют 7256 алмазов из 157 скважин.

Исследование алмазов проводилось с применением минералогической классификации по комплексу признаков, предложенной Ю.Л. Орловым [1984] и дополненной другими исследователями с разделением алмазов отдельных генетических разновидностей по габитусу и морфологическим типам кристаллов в соответствии с [Бартошинский, 1983]. Количество и формы структурной примеси азота, а также водорода в алмазах исследовались методом ИК-спектроскопии. Спектроскопические исследования проводились на Фурье-спектрометрах фирмы Bruker VERTEX-70 с микроскопом Hyperion 2000 в диапазоне $400-4500$ cm^{-1} и Tensor-27 с микроскопом Hyperion 3000 в диапазоне $600-4500$ cm^{-1} . По ИК-спектрам, нормированным по поглощению в двухфононной области, определялись концентрации А-, В1-, В2-дефектов алмазов [Соболев и др., 1968; Boyd et al., 1994, 1995]. Для расчета спектров алмаза смешанного IaAB типа применяли разложение суммарного ИК-спектра на индивидуальные А- и В-системы полос поглощения, полученные с природных алмазов чистых типов IaA и IaB. Суммарный азот (N_{tot}) определялся сложением выявленных концентраций этой примеси в С-, А-, В1-формах. Содержание В2-дефектов оценивалось по коэффициенту поглощения полосы на $1358-1380$ cm^{-1} , а примеси водорода, связанного с кристаллической решеткой (группа С-Н), — на 3107 cm^{-1} [Woods, Collins, 1983; Woods, 1986; Weerd et al., 2003].

Анализ распределения свойств алмазов в плане россыпи Нюрбинская проводился с использованием инструментов интерполяции программного пакета ArcGIS 10.6.1. Для построения поверхностей был выбран метод обратновзвешенных расстояний. Корректность интерполяции проверена на основе фактических значений и распределений в точках.

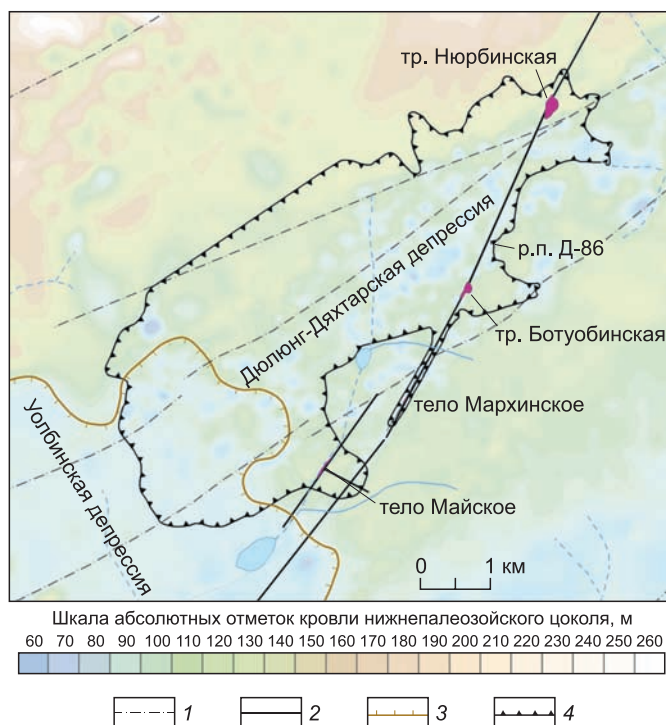
РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Россыпи НКП локализованы в пределах Дюлюнг-Дяхтарской депрессии вдоль Вилюйско-Мархинской зоны разломов (рис. 2). Россыпь Нюрбинская развивается в юго-западном направлении от трубки.

Распределение алмазов из керновых проб в россыпи Нюрбинская неравномерное, максимальные концентрации установлены вблизи карьера тр. Нюрбинская (в пределах 1 км). На данном участке из отложений дяхтарской свиты максимальное количество кристаллов в одной скважине достигает 283 шт., укугутской свиты — 417 шт. По мере удаления от трубки количество алмазов по отдельным скважинам колеблется от 1 до 67. Некоторое повышение количества кристаллов в отложениях укугутской и дяхтарской свит до 54 кристаллов в одной скважине наблюдается на участке от 2 до 3 км на юго-запад от карьера тр. Нюрбинская. Далее на юго-запад количество алмазов в дяхтарской свите составляет менее 5 кристаллов, лишь из трех скважин извлечено по 11—20 штук. В отложениях укугутской свиты скважины с таким содержанием встречаются чаще вплоть до расстояния в 4.2 км от карьера тр. Нюрбинская. Таким образом, концентрация алмазов падает по мере удаления от трубки.

Рис. 2. Рельеф кровли нижнепалеозойского цоколя (данные ВГРЭ АК «АЛРОСА» (ПАО)).

1 — разрывные нарушения, по данным АМС, 2 — рудовмещающий разлом Диагональный, 3 — граница Уолбинской депрессии, 4 — контур россыпи Нюрбинская. р.п. — рудопроявление.



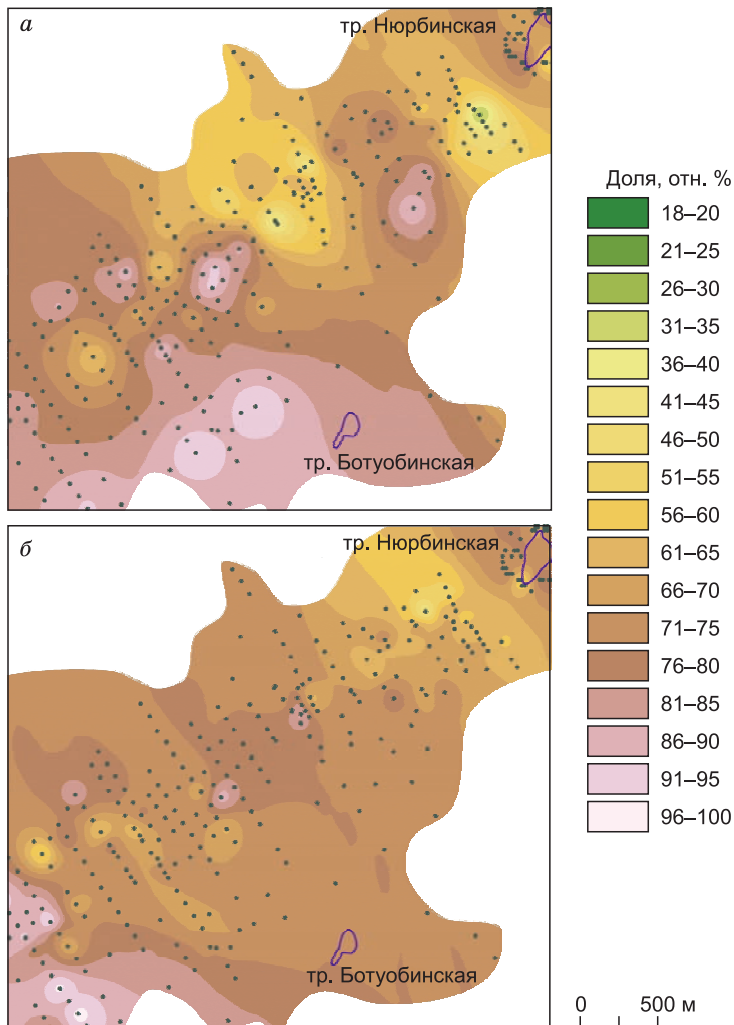


Рис. 3. Распределение доли кристаллов класса $-1.0...+0.5$ мм в отложениях дяхтарской толщи (а) и укугутской свиты (б).

Наиболее представительным гранулометрическим классом по количеству среди исследованных алмазов являются кристаллы класса $-1...+0.5$ мм (67 %); повышенные содержания кристаллов этого класса крупности в обеих свитах наблюдаются на юго-западном фланге россыпи (рис. 3, а, б).

Алмазы класса $-2...+1$ мм составляют в среднем 28 % от общего количества. Их распределение в отложениях дяхтарской свиты довольно неравномерное, наблюдается чередование участков с высокими (более 40 %) и низкими (менее 20 %) содержаниями кристаллов этого класса, но в целом их доля уменьшается по мере удаления от кимберлитового тела. В отложениях укугутской свиты содержание алмазов класса $-2...+1$ мм максимально на расстоянии до 1 км от тр. Нюрбинская. Далее на юго-запад, на основной территории россыпи, оно варьирует в пределах 20—30 % и минимально (менее 16 %) на крайнем юго-западном фланге, в 3.8 км и далее от трубки.

Доля кристаллов класса $-4...+2$ мм низкая (4 %), а на алмазы классов $-8...+4$ и -0.5 мм приходится менее 1 % изучен-

ной выборки. Гранулометрические характеристики алмазов из отложений дяхтарской толщи и укугутской свиты практически не отличаются.

В целом данные по гранулометрии алмазов показывают их гранулометрическую сортировку: уменьшение доли крупных алмазов и повышение количества мелких по мере удаления от коренного источника.

Большинство алмазов россыпи представлено кристаллами I разновидности (бесцветные), по классификации Ю.Л. Орлова (93 %); среди них в близкой пропорции встречаются кристаллы октаэдрического и переходного габитуса (21—24 %), реже ламинарные ромбододекаэдрониды (19 %). Округлые додекаэдрониды встречаются редко (2 %), довольно много осколков без признаков кристаллографической огранки (24 %). Помимо алмазов I разновидности в россыпи присутствуют кристаллы с оболочкой IV разновидности (6 %) и поликристаллические сростки VIII (1 %) разновидности, а также единичные находки кубонидов II и III разновидностей. Доля октаэдров возрастает с увеличением крупности, а содержание осколков максимально в классах $-1...+0.5$ и $-0.5...+0.2$ мм. Среди алмазов различного габитуса, независимо от возраста отложений, доминируют индивиды со сноповидной, сноповидно-занозистой штриховкой, а также с полицентрическим строением граней (рис. 4). Поскольку максимальное количество октаэдров присутствует в крупных гранулометрических классах, то по мере удаления от тр. Нюрбинская в связи с гранулометрической сортировкой их доля уменьшается, повышается доля ламинарных додекаэдронидов, обломков и осколков (рис. 5).

Преобладают кристаллы с розово-сиреневой фотолюминесценцией (50 %) при заметной доле кристаллов с желтым, оранжевым и желто-зеленым свечением (в сумме 30 %). Мало кристаллов с синеголубой люминесценцией. Алмазы различной крупности близки между собой по фотолюминесцентным особенностям. Средние содержания основных форм алмазов и доля камней по группам свечения в УФ-лучах в отложениях дяхтарской толщи и укугутской свиты весьма близки, в том числе в соответствующих гранулометрических классах. Различия находятся в пределах ± 4 %.

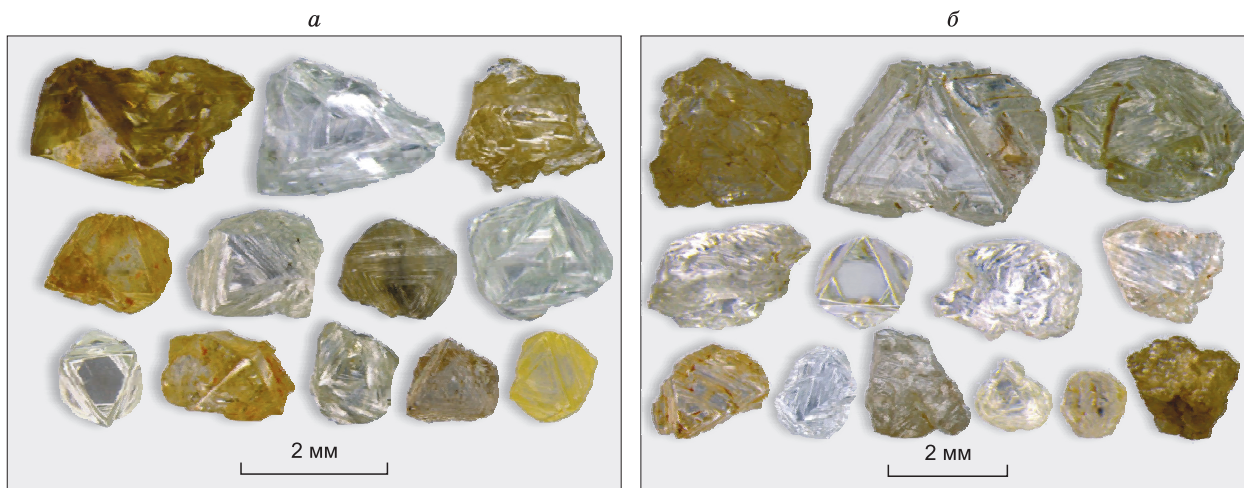


Рис. 4. Общий вид алмазов из отложений дяхтарской толщи (а) и укугутской свиты (б).

Для алмазов россыпи Нюрбинская характерно высокое содержание индивидов со скульптурами травления, которые в среднем составляют 49 % от общего количества исследованных алмазов. Чаще всего это кристаллы со щелями травления («шрамами»), часто довольно глубокими, иногда сквозными. В отложениях дяхтарской толщи алмазы с признаками травления встречаются чуть чаще (на 3—4 %), чем в отложениях укугутской свиты как в среднем, так в отдельных гранулометрических классах. Но в целом по данному параметру кристаллы верхней и нижней залежи схожи (рис. 6). Участки с повышенным количеством кристаллов со скульптурами травления в укугутских отложениях смещены на юго-запад по сравнению с отложениями дяхтарской толщи.

Для россыпи Нюрбинская характерно невысокое содержание двойников и сростков алмазов (16 %). Алмазы классов $-2...+1$ и $-1...+0.5$ мм по данному параметру весьма близки, доля двойников и сростков несколько возрастает с увеличением крупности кристаллов (в пределах 5—11 %). Довольно часто среди исследованных алмазов встречаются индивиды с включениями (38 %), большинство из которых имеет черный цвет и представлено, по-видимому, сульфидами.

Содержание алмазов с включениями закономерно увеличивается с крупностью (на 10 % и более). Алмазы дяхтарской толщи и укугутской свиты по данным параметрам практически не различаются как в среднем, так и при сопоставлении кристаллов одной крупности. В плане россыпи вариации содержания кристаллов с включениями, а также двойников и сростков алмазов, рассчитанные по группам скважин, незначительны (в пределах 10 %).

Среди исследованных алмазов доминируют кристаллы со средней степенью прозрачности (77 %), при содержании весьма прозрачных камней 14 %. Полупрозрачные кристаллы встречаются довольно редко (8 %), их содержание несколько возрастает (на 5—7 %) с увеличением крупности алмазов. Нижняя и верхняя залежи по данному параметру близки. Максимальное содержание камней с высокой степенью прозрачности зафиксировано в пределах карьера тр. Нюрбинская как в дяхтарской, так и укугутской свите. На участке в полукилометре от трубки эти содержания снижаются за счет увеличения доли кристаллов со средней степенью прозрачности и далее на юго-запад (от 1 км и далее) остается пониженным и варьирует в пределах 5—9 %.

Доля цветных кристаллов в отложениях как дяхтарской толщи, так и укугутской свиты, довольно низкая (26—28 %), чаще всего такие алмазы имеют дымчато-коричневую окраску (13 %), лилово-коричневые индивиды встречаются реже (2—4 %). Присутствуют кристаллы розово-лилового ряда (0.4—0.2 %), большинство из которых представлено трещиноватыми обломками и осколками, но отсутствуют особо ценные алмазы с равномерной окраской такого цвета. Среди кристаллов I разновидности встречаются также алмазы с серой окраской, связанной с наличием повышенного количества темных включений (1.5 %). Остальную массу цветных камней в основном представляют кристаллы IV разновидности с желтой, желто-зеленой и зеленой окраской (5—6 %). Количество окрашенных камней минимально среди алмазов размером менее 1 мм. Наблюдается снижение частоты встречаемости цветных алмазов в центральной части россыпи как в верхней, так и в нижней залежи. Максимальное их содержание наблюдается среди алмазов дяхтарской свиты на крайнем юго-западном фланге (рис. 7).

Относительно часто среди алмазов из осадочных отложений, независимо от их крупности, встречаются ожелезненные кристаллы (в среднем 9 %) и кристаллы с зелеными пятнами пигментации, а

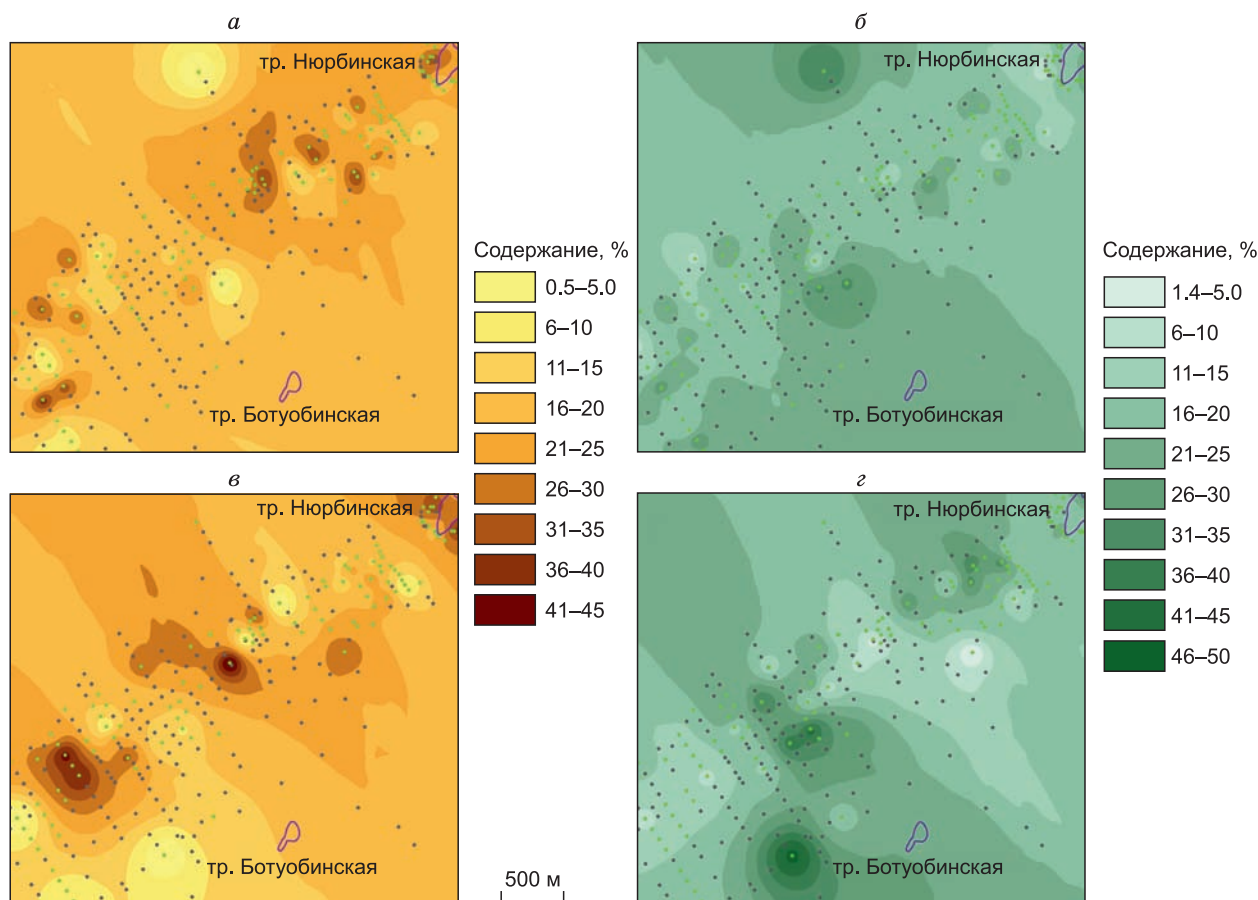


Рис. 5. Распределение октаэдров (а, в) и ламинарных ромбодекаэдров (б, г) I разновидности в отложениях укугутской свиты (а, б) и дяхтарской толщи (в, г).

также окраской цвета «морской волны» (в сумме 3 %). В отложениях дяхтарской толщи доля ожелезненных кристаллов в два раза выше по сравнению с укугутской свитой как в среднем, так и в сопоставимых гранулометрических классах. В плане россыпи, независимо от возраста осадочных отложений, содержание кристаллов с ожелезнением возрастает от десятых долей процента в пределах карьера тр. Нюрбинская до первых процентов на удалении до 1 км от нее; на отрезке 1.0–1.5 км наблюдается резкий скачок в содержании таких кристаллов и далее на юго-запад доля ожелезненных алмазов в укугутских отложениях остается практически на одном уровне (14–18 %), а в дяхтарской толще повышается до 34 % на участке 2.0–2.5 км и снова снижается до 22 % на юго-западном фланге. В отложениях укугутской свиты помимо индивидов с зеленой пигментацией встречен росток кристаллов с пигментацией бурого цвета. Установлено, что бурые пятна образуются из зеленых в результате термического воздействия и чаще наблюдаются в докембрийских терригенных алмазоносных формациях [Орлов, 1984]. Доля кристаллов с пигментацией и окраской цвета «морской волны» среди алмазов дяхтарской толщи в 1.5–2.0 раза выше, по сравнению с укугутской свитой. Механический износ на кристаллах россыпи отсутствует.

Алмазы россыпи Нюрбинская имеют невысокую степень сохранности (целостности), половина выборки представлена обломками (33 %) и осколками (24 %) кристаллов. Средняя по россыпи доля целых и в незначительной степени поврежденных камней составляет в сумме 20 %. Наиболее низкая степень сохранности характерна для алмазов классов $-1.0...+0.5$ и $-0.5...+0.25$ мм, так как часто это обломки и осколки более крупных кристаллов. Нижняя и верхняя залежь практически не отличаются между собой по сохранности кристаллов как в среднем, так и при сравнении алмазов одной крупности. Наиболее высокая степень сохранности алмазов из отложений дяхтарской и укугутской свит, характерна для участка россыпи в пределах карьера тр. Нюрбинская и рядом с ним, а также для центральной части россыпи, к северо-западу от тр. Ботуобинская (рис. 8). В дяхтарских отложениях на юго-западном фланге россыпи сохранность алмазов заметно снижается, в большинстве скважин содержание обломков и осколков алмазов превышает 70 %.

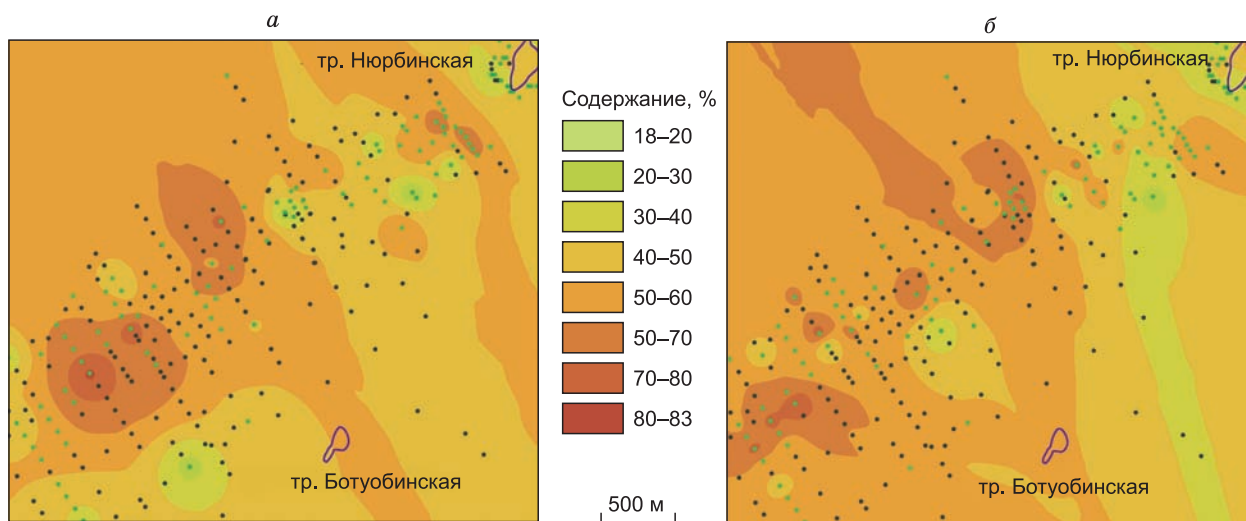


Рис. 6. Распределение алмазов со скульптурами травления в отложениях дяхтарской толщи (а) и укугутской свиты (б).

Среди поврежденных в различной степени кристаллов наблюдается разнообразие сколовых поверхностей. Индивиды с механическими (без скульптур магматической коррозии), протоматматическими (со скульптурами коррозии) и комбинационными сколами в верхней и нижней залежах встречаются в близкой пропорции (в среднем 30.24 и 33.00 % соответственно). Большинство алмазов трещиноватые (59 %), в основном такие кристаллы имеют единичные поверхностные и глубокие трещины. Различия алмазов по характеру сколов в наиболее представительных по количеству гранулометрических классах находятся в пределах 10 %, с увеличением крупности незначительно возрастает доля механических сколов. Доля трещиноватых камней возрастает с увеличением крупности кристаллов. Алмазы дяхтарской толщи и укугутской свиты по данным параметрам довольно близки, различия двух выборок находятся в пределах 10 %.

В отложениях дяхтарской свиты в пределах карьера тр. Нюрбинская среди поврежденных кристаллов доминируют индивиды с протоматматическими сколами, а на участке россыпи в 0.6 км от карьера и до 2 км ситуация меняется и преобладающими становятся кристаллы с механическими и техногенными поверхностями сколов. Далее на юго-запад в дяхтарских отложениях наблюдаются незакономерные вариации в содержании кристаллов с различными типами сколов. Распределение кристаллов

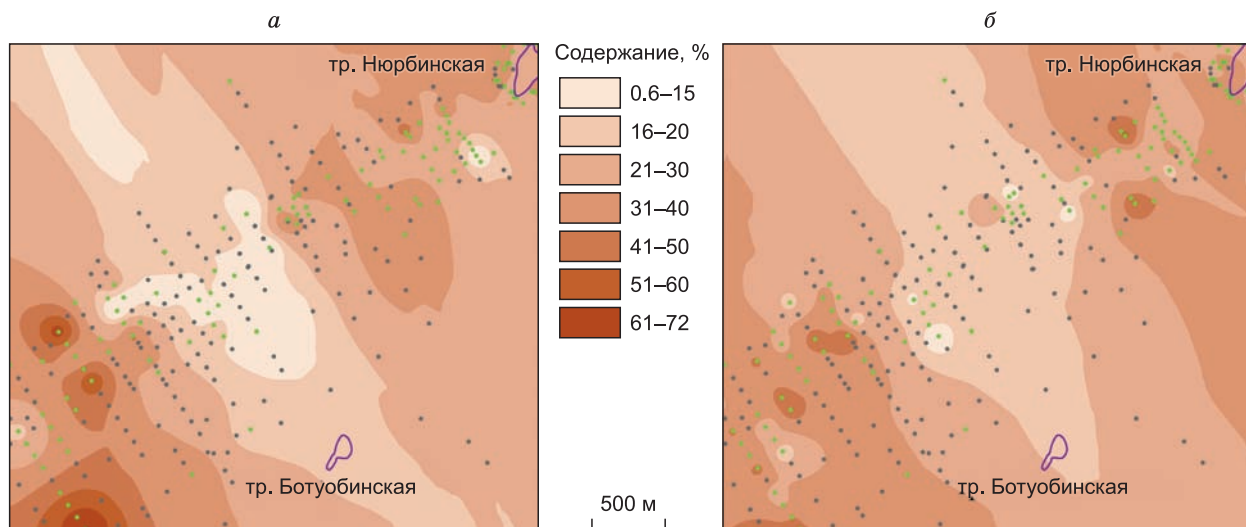


Рис. 7. Распределение цветных алмазов в плане россыпи Нюрбинская:

а — дяхтарская толща, б — укугутская свита.

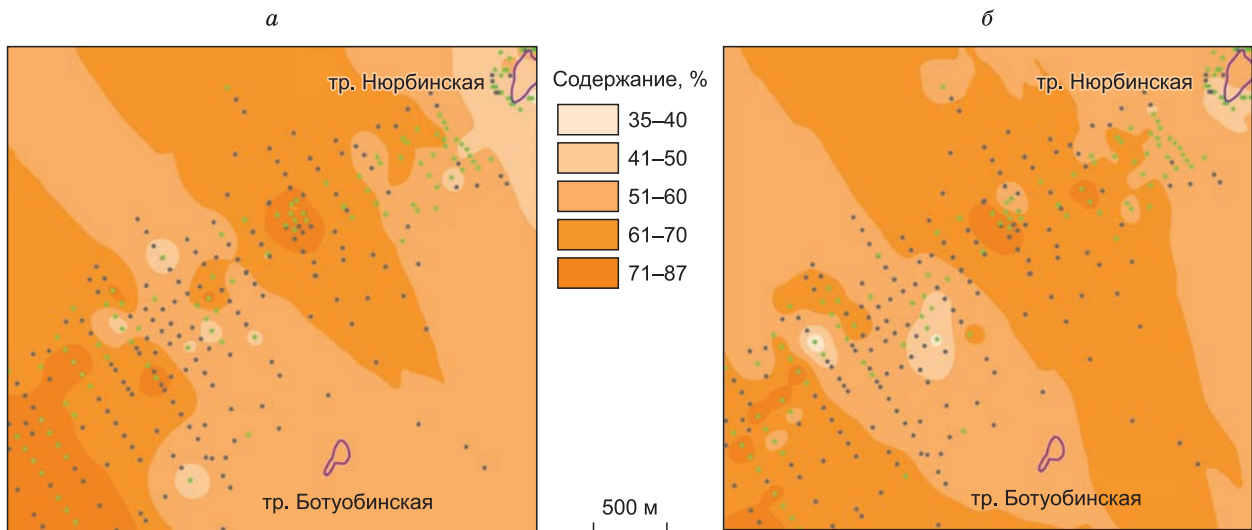


Рис. 8. Распределение суммарного содержания обломков и осколков алмазов в отложениях дяхтарской толщи (а) и укугутской свиты (б).

по типам сколовых поверхностей в отложениях укугутской свиты более плавное. В пределах карьера тр. Нюрбинская среди алмазов из укугутских отложений индивиды с механическими и протомагматическими сколами встречаются в близких долях, с удалением от трубки содержание кристаллов с механическими и техногенными сколами устойчиво повышено относительно алмазов с протомагматическими сколами (в пределах 3—15 % для разных участков россыпи). Трещиноватые камни как в дяхтарских, так и укугутских отложениях наименее часто встречаются в пределах карьера тр. Нюрбинская. С удалением от нее их доля постепенно повышается и становится максимальной на расстоянии 1.6 км от трубки, далее на юго-запад их содержание снижается, но остается выше уровня в пределах карьера.

По данным ИК-спектроскопии, основную часть алмазов россыпи представляют кристаллы с общей концентрацией структурной примеси азота в диапазоне от 100 до 900 ppm, среднее значение составляет 556 ppm. Доля «безазотных» (с концентрацией менее 25 ppm, тип Па) около 2 %, остальные алмазы можно отнести к физическому типу Ia.

Большинство алмазов (72 %) имеет среднюю степень агрегации структурной примеси азота, доминируют кристаллы с содержанием примеси азота в V1-форме от 20 до 50 %, среднее значение этого параметра около 31 %. Коэффициенты поглощения V2-центров (platelets) в спектрах достигают 55.6 см^{-1} , у 72 % кристаллов типа Ia они более 2 см^{-1} . Содержания примеси водорода повышены у 46 % алмазов, коэффициенты поглощения узкой линии на 3107 см^{-1} у них более 1 см^{-1} , но редко превышают 10 см^{-1} (4 % таких индивидов) при максимальном значении 38 см^{-1} . Усредненное значение по выборке составляет 2.2 см^{-1} . Среди октаэдров больше индивидов, обогащенных азотом, по сравнению с кристаллами переходных форм, ламинарными и округлыми ромбододекаэдроидами этой разновидности. Для ламинарных ромбододекаэдроидов характерно преобладание индивидов с содержанием примеси азота менее 400 ppm. Среди них у индивидов со сноповидно-заноистой штриховкой повышены концентрации примеси водорода. Среди округлых додекаэдроидов повышена доля индивидов с концентрацией азота менее 200 ppm. По степени агрегации этой примеси основные формы алмазов практически не отличаются друг от друга.

Сравнение кристаллов наиболее представительных по количеству классов $-2 \dots +1$ и $-1.0 \dots +0.5$ мм показало близость их ИК-параметров. Установлено также, что в среднем алмазы укугутской свиты и дяхтарской толщи практически не отличаются между собой по распределению содержания суммарного азота и степени его агрегации, в том числе при анализе основных форм алмазов.

Анализ распределения алмазов с данными свойствами в плане россыпи показал следующее. Среди алмазов из отложений укугутской свиты в пределах карьера тр. Нюрбинская чаще встречаются мало- и среднеазотистые кристаллы с содержанием азота в V1-форме на уровне 30—40 % (рис. 9, а, б). Далее, на участке от 0.3 до 2.0 км от тр. Нюрбинская повышается содержание средне- и высокоазотистых кристаллов, а степень агрегации примеси азота в целом постепенно снижается (до 28 %). На удалении от 2 до 3 км от тр. Нюрбинская в укугутских отложениях доминируют средне- и малоазотистые алмазы с пони-

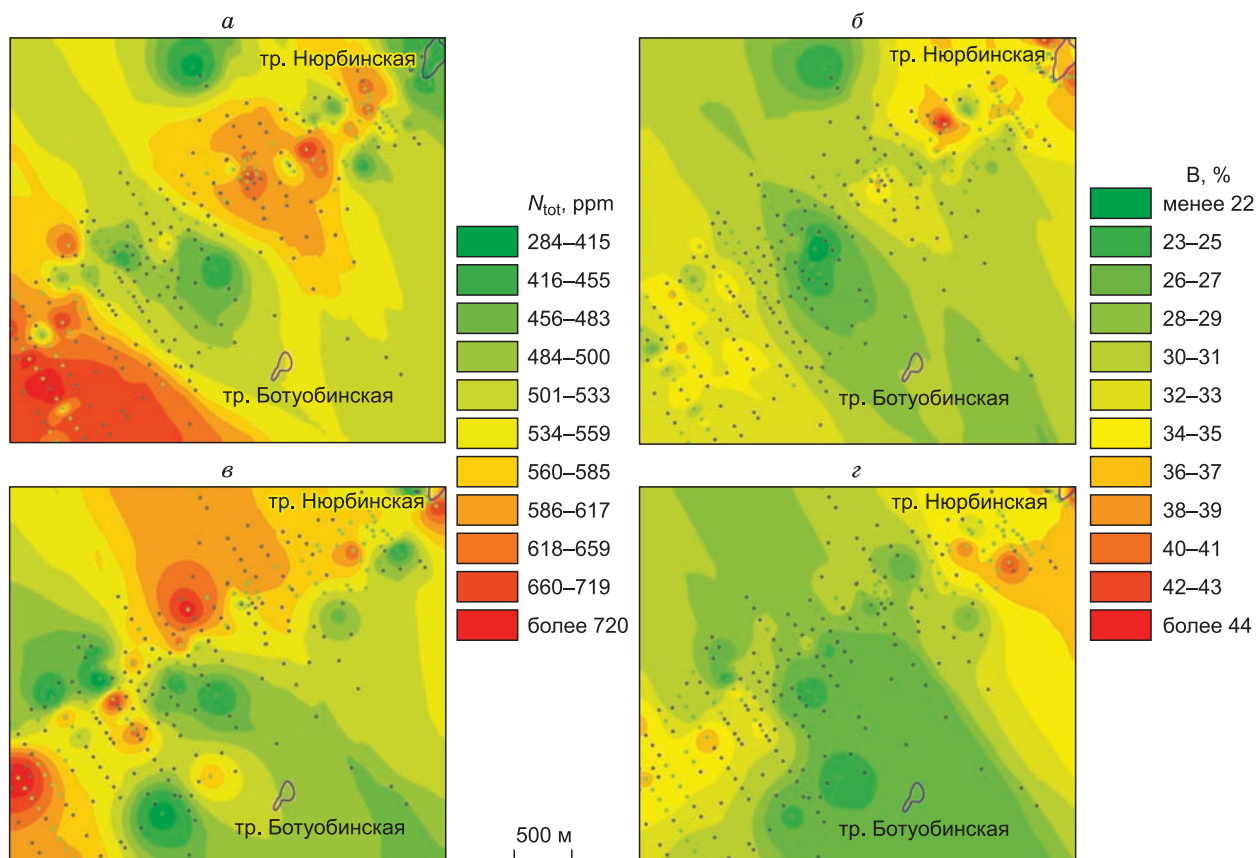


Рис. 9. Распределение алмазов укугутской свиты (а, б) и дяхтарской толщи (в, г) по содержанию суммарного азота (а, в) и процентному содержанию азота в В1-форме (б, г).

женной агрегацией (азот в В1-форме менее 28 %). В юго-западной части россыпи снова преобладающими становятся средне- и высокоазотистые индивиды с содержанием азота в В1-форме 32—37 %.

В отложениях дяхтарской толщи в пределах карьера тр. Нюрбинская доминируют кристаллы со средними и высокими концентрациями азота преимущественно в А-форме при содержании кристаллов с азотом в В1-форме в пределах 30—40 %. На участке россыпи в 300—600 м от карьера в среднем концентрация азота у большинства алмазов несколько снижается, а степень агрегации примеси азота в них остается на уровне таковой в пределах карьера трубки (см. рис. 9, в, г). Далее, с удалением от трубки на расстояние до 2 км, концентрация азота в алмазах в среднем для этого участка снова увеличивается, а степень агрегации примеси постепенно снижается. Доминирование средне- и высокоазотистых кристаллов на расстоянии до 3 км на юго-запад от тр. Нюрбинская характерно для северо-западного борта россыпи, в то время как в центральной части россыпи и участка в районе тр. Ботуобинская преобладают кристаллы с содержанием азота менее 500 ppm. По содержанию азота в В1-форме такая зональность не соблюдается. На крайнем юго-западном фланге россыпи в отложениях дяхтарской толщи доля средне- и высокоазотистых алмазов с повышенной степенью агрегации этой примеси снова возрастает.

Как в дяхтарских, так и укугутских отложениях, на расстоянии от 2.0 до 2.8 км от тр. Нюрбинская, к северо-западу от тр. Ботуобинская, выделяется участок, где доминируют средне- и малоазотистые кристаллы с пониженной степенью агрегации этой примеси.

ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

Из подробной характеристики алмазов россыпи Нюрбинская следует, что россыпь формировалась главным образом за счет тр. Нюрбинская с некоторым влиянием на юго-западном фланге алмазов меньшей по размерам тр. Ботуобинская. Алмазов, экзотических по отношению к алмазам кимберлитовых тел НКП, не выявлено. Вместе с тем нужно учитывать, что для формирования данной промышленной россыпи должно быть эродировано до 300 м кимберлита (от нижнего силура, который существовал здесь на момент формирования кимберлитов, до нижнего ордовика), а, как показывает опыт изучения и

эксплуатации других кимберлитовых тел, наблюдаются различия в характере алмазов верхних и нижних горизонтов кимберлита, поэтому алмазы россыпи соответствуют верхним эродированным горизонтам трубки и могут иметь некоторые отличия от алмазов трубки на уровне современного среза. Вместе с тем возможна подпитка россыпи мелкими кимберлитовыми телами жильного типа.

Россыпь локальна и «привязана» к своим коренным источникам. Это типичный пример россыпи ближнего переноса с известными коренными источниками. В таких россыпях, как правило, в той или иной степени проявлена дифференциация алмазов по комплексу признаков по мере удаления от коренного источника [Афанасьев и др., 2010]. В Накынской россыпи отчетливо видно падение концентрации алмазов и гидравлическая сортировка алмазов по гранулометрии — важнейшие признаки изменения ассоциаций алмазов в процессе перемещения при формировании россыпи. Изменения остальных описанных признаков в значительной мере связаны с гидравлической сортировкой, поскольку эти признаки различаются у алмазов разной крупности.

Выше описаны «первичные» признаки алмазов (морфология, размер кристаллов, фотолюминесценция, содержание и формы примеси азота), соответствующие алмазам в кимберлите и не меняющиеся в процессе формирования россыпи, и «вторичные», связанные с историей и условиями формирования россыпи, из которых важные из описанных — признаки ожелезнения алмазов, голубовато-зеленый цвет «морской волны» и зеленые пятна пигментации. Ожелезнение алмазов (темно-коричневые корочки гидроксидов железа в западинах рельефа) связано с латеритной корой выветривания и характерно для всех россыпей алмазов, связанных со среднепалеозойскими кимберлитами. Голубовато-зеленый цвет (нацвет) равномерно покрывает кристалл алмаза по поверхности и исчезает при огранке или при нагреве. Он также связан с латеритной корой выветривания, типичен, в частности, для алмазов зоны окончательного гидролиза КВ трубки им. XXIII съезда КПСС, с глубиной в трубке он исчезает. Цвет «морской волны» получен нами экспериментально при облучении алмаза электронами с энергией 3.5 МэВ, т. е. в Накынской россыпи, как и в тр. им. XXIII съезда КПСС, этот цвет можно связать с радиационным поражением алмазов от радиоактивных элементов в латеритной коре выветривания [Yelisseyev et al., 2013]. С радиационным поражением в латеритной коре выветривания α -частицами связаны зеленые пятна пигментации [Орлов, 1984]. Из сказанного следует, что все три экзогенных признака указывают на пребывание алмазов в латеритной КВ.

Отсутствие механического износа на алмазах подтверждает формирование россыпи в континентальных условиях. Лишь в прибрежно-морских условиях при трансгрессии моря на алмазах появляются небольшие признаки износа.

Приведенные данные позволяют утверждать, что описываемая россыпь сформирована в континентальных условиях за счет алмазов эродированной верхней части кимберлитовых тел НКП, главным образом тр. Нюрбинская. Алмазы имеют признаки пребывания в латеритной КВ. По результатам предыдущих исследований [Граханов, 2009; Килижеков, Толстов, 2017] известно, что россыпь имеет «первичный» характер, т. е. сформирована за счет эрозии кимберлитов в раннеюрское время. Однако имеется и другая точка зрения, высказанная одним из авторов данной статьи (В.П. Афанасьев) и опирающаяся на общие закономерности формирования россыпей Сибирской платформы [Афанасьев и др., 2013]: россыпь имеет переотложенный характер, в юрские отложения алмазы и ИМК попали не за счет прямого сноса с кимберлитовых тел, а за счет переотложения из более ранних, верхнепалеозойских отложений, в которые они попали при размыве позднедевонско-раннекарбонатных отложений. Переотложенный характер россыпи не противоречит ее характеристике как россыпи ближнего переноса, переотложение осуществлялось практически на месте, в соответствии с фаціальным обликом и дяхтарских, и укугутских отложений. По истории и условиям развития описанная россыпь очень близка к нижнеюрской россыпи Водораздельные галечники в Мирнинском кимберлитовом поле, которая связана с тр. Мир.

Для понимания условий и истории формирования россыпи важно более детально изучить отложения дяхтарской толщи. В данной статье ее возраст указан как раннеюрский. Однако О.С. Граханов [2009] обоснованно предполагает более древний ее возраст, триас-раннеюрский, возможно, и более древний. В формировании рельефа под дяхтарскими отложениями большую роль играли карстовые процессы, для которых трудно указать определенный возраст [Афанасьев и др., 2001]. Для формирования карста необходима приподнятая территория со среднерасчлененным рельефом, карстующиеся породы, в данном случае карбонатные, тектоническая трещиноватость, обеспечивающая прасачивание и миграцию водных растворов. Такие условия существовали на территории НКП периодически на протяжении всего времени с момента внедрения кимберлитов, т. е. с позднего девона, прекращаясь лишь при подъеме уровня Мирового океана, когда континентальное осадкообразование сменялось озерно-болотным и морским мелководным, и возобновляясь при снижении базиса эрозии. Карстовые полости заполнялись местным материалом, в том числе индикаторами кимберлитов и алмазами. Поэтому не исключено, что в карстовых полостях может содержаться материал древних эпох седиментогенеза с алмазами и ИМК. Эти предположения целесообразно проверить для уточнения геологической истории

района НКП на «немой» период с момента формирования кимберлитов до ранней юры, на который здесь нет геологических тел — свидетелей этой истории; для упомянутого выше Мирнинского кимберлитового поля эта проблема не стоит, там имеются продуктивные отложения карбона и перми, в том числе недалеко от россыпи Водораздельные галечники.

ВЫВОДЫ

Проведенные исследования показали, что россыпь Нюрбинская сформирована за счет кимберлитовых тел НКП, в первую очередь тр. Нюрбинская. Примесь экзотических, не свойственных полю алмазов, не установлена. Отмеченные различия алмазов россыпи и кимберлитов трубок Нюрбинская и Ботубинская могут быть связаны с некоторыми отличиями комплексов кристаллов эродированной части кимберлитов, за счет которой сформирована россыпь, от алмазов на уровне их современного эрозионного среза. Однако не исключено влияние на формирование описываемой россыпи мелких кимберлитовых тел жильного типа.

Россыпь Нюрбинская — типичный пример россыпей ближнего переноса, непосредственно связанных с питающими коренными источниками. Пока остается дискуссионным вопрос о периоде первичного накопления алмазов — россыпь сформирована за счет эрозии кимберлитов в раннеюрское время или переотложена из более древних коллекторов, существовавших на данной территории и уничтоженных эрозией с начала мезозоя в связи с воздыманием Анабарской антеклизы и одновременным проседанием Вилуйской синеклизы. Но даже в случае переотложенного ее характера россыпь сохраняет признаки ближнего переноса, поскольку переотложение осуществлялось в фациях ближнего переноса — делювиальных, пролювиальных, коллювиальных.

Необходимо в дальнейшем более детально изучить отложения дяхтарской толщи, в формировании которой большую роль играли карстовые процессы, что позволит получить новые сведения об особенностях образования алмазоносных россыпей ближнего сноса продуктивного материала. Обломочная (терригенная) часть материала в карстовых депрессиях может содержать признаки существования доюрских продуктивных отложений, что даст возможность реконструировать «немой» период геологической истории с момента формирования кимберлитов НКП до юрского осадконакопления.

Авторы выражают огромную благодарность к.г.-м.н., заслуженному геологу Республики Саха (Якутия), В.И. Коптилю, лично проводившему исследования алмазов трубки и россыпи Нюрбинская вплоть до 2005 г., под руководством которого проходило обучение специалистов лаборатории и дальнейшие исследования алмазов.

Работа выполнена в рамках государственного задания ИГМ СО РАН.

ЛИТЕРАТУРА

Агашев А.М., Похиленко Н.П., Толстов А.В., Поляничко В.В., Мальковец В.Г., Соболев Н.В. Новые данные о возрасте кимберлитов Якутской алмазоносной провинции // ДАН, 2004, т. 399, № 1, с. 95—99.

Афанасьев В.П., Зинчук Н.Н., Похиленко Н.П., Кривонос В.Ф., Яныгин Ю.Т. Роль карста в формировании россыпной алмазоносности Муно-Мархинского междуречья (Якутская алмазоносная провинция, Россия) // Геология рудных месторождений, 2001, № 3, с. 262—267.

Афанасьев В.П., Зинчук Н.Н., Похиленко Н.П. Поисковая минералогия алмаза // Новосибирск, Академ. изд-во «Гео», 2010, 650 с.

Афанасьев В.П., Агашев А.М., Похиленко Н.П. Основные черты истории и условий формирования ореолов индикаторных минералов кимберлитов Сибирской платформы // Геология рудных месторождений, 2013, т. 55, № 4, с. 295—304.

Бартошинский З.В. Минералогическая классификация природных алмазов // Минералогический журнал, 1983, № 5, с. 84—93.

Граханов О.С. Рельеф погребенного карбонатного цоколя и его роль в формировании раннеюрской россыпи алмазов Среднемархинского района // Наука и образование, 2009, № 3, с. 54—59.

Граханов С.А., Шаталов В.И., Штыров В.А., Кычкин В.Р., Сулейманов А.М. Россыпи алмазов России. Новосибирск, Академ. изд-во «Гео», 2007, 457 с.

Граханов С.А., Зинчук Н.Н., Соболев Н.В. Возраст прогнозируемых коренных источников алмазов на северо-востоке Сибирской платформы // ДАН, 2015, т. 465, № 6, с. 715—720.

Дэвис Г.Л., Соболев Н.В., Харьков А.Д. Новые данные о возрасте кимберлитов Якутии, полученные уран-свинцовым методом по цирконам // Докл. АН СССР, 1980, т. 154, № 1, с. 175—179.

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.

Орлов Ю.Л. Минералогия алмаза. М., Наука, 1984, 264 с.

Похиленко Н.П., Соболев Н.В., Черный С.Д., Митюхин С.И., Яныгин Ю.Т. Пиропы и хромиты из кимберлитов Накынского поля (Якутия) и района Снэп-Лэйк (провинция Слэйв, Канада): свидетельство аномального строения литосферы // ДАН, 2000, т. 372, № 3, с. 356—360.

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.

Соболев Н.В. О минералогических критериях алмазоносности кимберлитов // Геология и геофизика, 1971 (3), с. 70—80.

Соболев Н.В., Лаврентьев Ю.Г., Поспелова Л.Н., Соболев Е.В. Хромовые пиропы из алмазов Якутии // Докл. АН СССР, 1969, т. 189, № 1, с. 162—165.

Томшин М.Д., Фомин А.С., Корнилова В.П., Черный С.Д., Яныгин Ю.Т. Особенности магматических образований Накынского кимберлитового поля Якутской провинции // Геология и геофизика, 1998, т. 39 (12), с. 1693—1703.

Харькив А.Д., Зинчук Н.Н., Крючков А.В. Коренные месторождения алмазов мира. М., Недра, 1998, 555 с.

Boyd S.R., Kiflawi I., Woods G.S. The relationship between infrared absorption and the A defect concentration in diamond // Philos. Mag. B, 1994, v. 69, p. 1149—1153.

Boyd S.R., Kiflawi I., Woods G.S. Infrared absorption by the B nitrogen aggregate in diamond // Philos. Mag. B, 1995, v. 72, p. 351—361.

Nixon P.H., Hornung G. A new chromium garnet end member, knorringite, from kimberlite // Am. Mineral., 1968, v. 53, p. 1833—1840.

Weerd F., Pal'yanov Y.N., Collins A.T. Absorption spectra of hydrogen in ¹³C diamond produced by high-pressure, high-temperature synthesis // J. Phys. Condens. Matter, 2003, v. 15, p. 3163—3170.

Woods G.S. Platelets and the infrared absorption of Type Ia diamonds // Proc. R. Soc. London, 1986, v. 407, p. 219—238.

Woods G.S., Collins A.T. Infrared absorption spectra of hydrogen complexes in Type I diamonds // J. Phys. Chem. Solids, 1983, v. 44 (5), p. 471—475.

Yelisseyev A., Afanasiev V., Kopylova M., Bulbak T. The effect of electron irradiation and metamorphic annealing on optical properties of type IaA diamonds // Can. Mineral., 2013, v. 51 (3), p. 439—453.

*Поступила в редакцию 24 июля 2020 г.,
принята в печать 1 июня 2021 г.*