

**Фациальные обстановки осадконакопления
каменноугольных коллекторов алмазов
Сюльдюкарского кимберлитового поля (Западная Якутия)**

©2022 И. И. Никулин¹✉, И. Г. Коробков

¹ ООО «НН ТС», Гражданский пр., 11, 195220, Санкт-Петербург, Российская Федерация

Аннотация

Введение: Для каждого вновь открытого кимберлитового поля необходимо его правильное описание для выявления геологической службой больше, чем одной диатремы. В таком случае бурения и шлихового анализа недостаточно, поэтому требуется полноценное литологическое исследование потенциально алмазоносных коллекторов алмазов.

Методика: В результате исследования большого количества керна скважин, пробуренных при выполнении поисковых (1988–1990 гг.), поисково-оценочных (1988–1996 гг.) и геологоразведочных (2006–2014 гг.) работ проведены геохимические, минералогические и литологические исследования.

Результаты и обсуждение: На основании обнаруженных кристаллов алмазов и контрастных ассоциаций минералов-спутников алмазов средне-верхнекаменноугольная ботуобинская свита (C₂₋₃bt) определена как наиболее перспективный алмазоносный коллектор. С помощью литолого-фациального анализа отложений свиты в пределах Сюльдюкарского алмазоносного района выделены восемь фаций, по которым восстановлены условия осадконакопления. Построена карта палеорельефа на время накопления кимберлитовмещающих отложений и их литолого-фациальная карта для Сюльдюкарского кимберлитового поля. Определены основные морфоструктурные элементы строения кимберлитовмещающих образований нижнего палеозоя.

Выводы: Вновь полученные данные позволяют высоко оценить потенциал поля на коренную алмазоносность и наметить первоочередные участки для дальнейших геологоразведочных работ.

Ключевые слова: алмаз, литолого-фациальный анализ, карбон, Сюльдюкарское, Западная Якутия.

Для цитирования: Никулин И. И., Коробков И. Г. Фациальные обстановки осадконакопления каменноугольных коллекторов алмазов Сюльдюкарского кимберлитового поля (Западная Якутия) // *Вестник Воронежского государственного университета. Серия: Геология.* 2022. №1. С. 47–58. DOI: <https://doi.org/10.17308/geology.2022.1/9099>

Введение

Сюльдюкарский алмазоносный район расположен на левобережье реки Вилюй, где охватывает водораздельные территории ее левых притоков – реки Олгуйдах, Сюльдюкар и Холомолох, а также верховья р. Ыгыатта (рис. 1). Повышенный поиско-

вый интерес здесь связан с недавним открытием новой кимберлитовой трубки «им. 70-летия Победы в ВОВ», что позволило выделить центральную часть территории района в ранге одноименного Сюльдюкарского кимберлитового поля [1].



Контент доступен под лицензией Creative Commons Attribution 4.0 License.

✉ Никулин Иван Иванович, e-mail: iinikulin@gmail.com

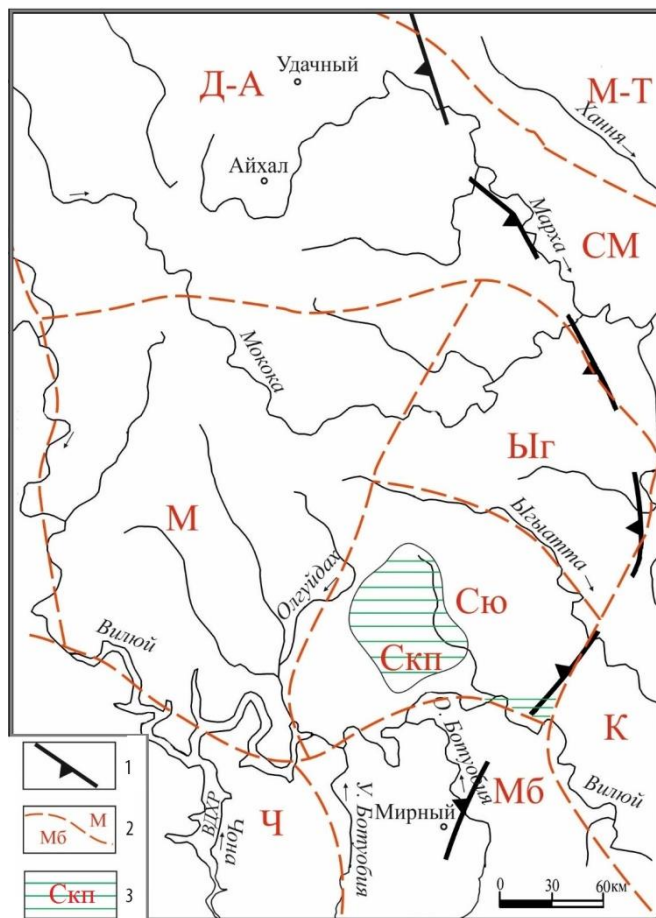


Рис. 1. Обзорная схема территории исследований в пределах Западной Якутии: 1 – Граница восточного борта Тунгусской синеклизы; 2 – Границы алмазоносных районов и их названия: Ч – Чонский; Мб – Малоботуобинский; К – Крестяхский; Вв – Верхневиллюйский; М – Моркокинский; Бг – Ыгыаттинский; См – Среднемархинский; Д-А – Далдыно-Алаakitский; Му – Мунский; М-Т – Муно-Тюнгский; Сю – Сюльдюкарский; 3 – Сюльдюкарское кимберлитовое поле.

[Fig. 1. An overview scheme of the research area within Western Yakutia: (1) – Borders of the eastern side of the Tunguska syncline; (2) – Borders of diamond-bearing regions and their names: (Ч) – Chona; (Мб) – Malobotuoba; (К) – Krestyakh; (Вв) – Verkhnevilyuy; (М) – Morkoka; (Бг) – Ygyatta; (См) – Srednemarkha; (Д-А) – Daldin-Alakit; (Му) – Muna; (М-Т) – Muna-Tyung; (Сю) – Syuldyukar; (3) Syuldyukar kimberlite field.

Установленная алмазоносность кимберлитов этого тела вызвала необходимость проведения на площади поля разномасштабных геолого-геофизических исследований, направленных на выделение локальных кимберлитоперспективных участков. Кроме структурных и морфоструктурных предпосылок коренной алмазоносности, опирающихся на особенности строения кимберлитовмещающих образований нижнего палеозоя, на закрытых территориях в прогнозных построениях необходимо учитывать литолого-фациальные обстановки формирования верхнепалеозойских коллекторов алмазов. Основы их реконструкции в пределах характеризуемой территории составляют многолетние авторские литолого-фациальные исследования [2, 3, 4]. Начавшееся здесь площадное поисковое бурение также требует создания прогнозно-поисковых моделей, основанных на использовании литолого-фациальных факторов. Созданию именно этих моделей на площади Сюльдюкарского поля и были посвящены наши исследования, результаты которых отражены в настоящей статье.

Методы и объекты исследования

Авторами проведено исследование керна поисковых (1988–1990 гг.), поисково-оценочных (1988–1996 гг.) и геологоразведочных скважин (2006–2014 гг.), в том числе непосредственное участие в поисково-оценочных работах. Плотность фиксированных отме-

ток, полученных за эпизоды бурения, и картографическая геолого-геофизическая основа позволили авторам данной работы провести построения на площади поля в масштабе 1:100000. Проанализированы архивные геохимические (>500 спектральных, рентгенофлюоресцентных анализов), минералогические (1567 оптических и в иммерсии) и литологические (>5000 гранулометрических и 459 петрографических) данные с построением соответствующих генетических и дискриминационных диаграмм.

Образцы из керна скважин и пробы из шурфов подвергались фракционному разделению с выделением тонких (мельче 0.005 мм) фракций. Гранулометрический анализ позволил получить представление как, в общем, о размерах частиц, так и об особенностях распределения терригенного материала в зависимости от класса крупности. Полученная фракция <0.005 мм в необходимом количестве вместо воздушной сушки проходила центрифугирование в прозрачных полиэтиленовых колбах по методике И.И. Никулина [4], особенность которой заключается в высокоскоростном центрифугировании для достижения максимальной скорости коагуляции слоистых силикатов без применения дополнительных средств воздействия на суспензию, в том числе, что очень значимо, химических. Этот экспресс-метод получения тонкодисперсных фракций (мельче 0.01 мм) позволяет выделять даже совсем незначительные её количества. В лабора-

торных условиях выполнялось разделение на 13 фракций для интерпретации условий осадконакопления и сопоставления с содержаниями глинистой составляющей в минеральном и количественном факторах от типа отложений.

Для расшифровки минерального состава тонкая фракция (мельче 0.005 мм) исследовалась рядом методов: рентгенофазовым (рентгенографический), спектральным, термографическим и электронно-микроскопическим. Рентгенофазовый метод проводился в разные эпизоды исследования на приборах ДРОН – 2 (отечественного производства, модифицированный, с двумя независимыми гониометрическими приставками Гур-5 и Гур-9) и рентгенофазовом анализаторе DMAX 2400 (японской фирмы «Rigaku»). Рентгенографическим методом выполнялись в основном идентификация и полуколичественный подсчет содержания минерала в составе различных горных пород по серии рефлексов и поведению их при различных обработках (насыщение глицерином, прокаливание).

Диагностирование минералов при термографическом анализе на Derivatograph-C венгерской фирмы «МOM» и японской Shimadzu DTG-60AH и их природных смесей осуществлялось по дифференциальной термической кривой (DTA) путём сравнения с имеющимися литературными эталонами.

Диагностика минералов-спутников алмазов проводилась на сканирующем электронном микроскопе JEOL JSM-6380LV) с РЭМ приставкой рентгеновского микроанализатора для проведения локального электронно-зондового химического анализа образцов (INCAx-sight 7582 фирмы OXFORD INSTRUMENTS).

В результате интерпретации всех полученных в рамках проведенных авторами исследований построены: карта палеорельефа кимберлитовмещающих отложений; литолого-фациальная карта каменноугольных отложений ботубинской свиты (C₂₋₃bt); литолого-фациальные разрезы.

Результаты исследований и их обсуждение

Выполненные построения позволили определить в пределах площади прогнозируемого Слюдякарского кимберлитового поля, основные морфоструктурные элементы строения кимберлитовмещающих образований нижнего палеозоя (рис. 2).

На палеорельефе цоколя в морфоструктурном плане Слюдякарского поля к положительным элементам относятся возвышенные линейные участки водораздельных пространств, на которых господствовали элювиальные, элювиально-делювиальные и делювиально-пролювиальные фациальные обстановки осадконакопления.

Картируемые линейные отрицательные морфоструктуры предопределили положение древних долин ботубинской гидросети, которая контролирует развитие комплекса пролювиальных, пролювиально-аллювиальных и русловых фациальных обстановок осадконакопления. Важно подчеркнуть, что линейные

отрицательные морфоструктуры заложились в пределах более древних тектонических грабенов. Прогнозное значение этих грабенов, унаследовано подчеркнутых в палеодолинах рельефа карбонатного цоколя, обусловлено тем, что на территориях известных высокопродуктивных полей Якутской алмазоносной провинции, в том числе таких, как Мирнинское, Накынское, Алакит-Мархинское, Далдынское, Мунское, подобные депрессии контролируют все проявления кимберлитового магматизма [5, 6]. Не является исключением и характеризуемое Слюдякарское поле, где выявленное новое кимберлитовое тело также расположено в пределах грабенообразной депрессии.

Итак, выступая в качестве тектонических предпосылок, все выделенные в настоящем исследовании линейные депрессии поля обладают определенным прогнозным потенциалом. Его наиболее высокое значение имеют Нижнехатырский и Верхнесаянский грабены, где кроме кимберлитов установлены находки алмазов, а также высококонтрастный Хатырский ореол минералов-спутников, которые характеризуются многими аномальными параметрами, свидетельствующими о близости их переноса от коренных источников.

Литолого-фациальные исследования верхнепалеозойских отложений ранее проводились нами на территориях смежных Малоботубинского, Моркокинского и Бгыаттинского алмазоносных районов, где эти породы имеют широкое распространение и вскрыты многими скважинами, пройденными при алмазопоисковых работах. Полученные при этом результаты были учтены в построениях и на площади Слюдякарского поля. При выполнении литолого-фациальных исследований, в том числе и обобщении результатов алмазопоисковых работ на площади характеризуемого района, установлено, что основной объём алмазов и их минералов-спутников в разрезе верхнего палеозоя сосредоточен в каменноугольных отложениях ботубинской свиты (C₂₋₃bt).

Отложения ботубинской свиты (C₂₋₃bt) со средней мощностью 15–20 м, которая увеличивается в наиболее пониженных участках палеодолин до 30–40 м, на изученной территории являются наиболее древними среди образований верхнепалеозойского этапа осадконакопления. Слагающие ее литотипы не отличаются разнообразием. Основой объём свиты представлен углистыми алеволитами и аргиллитами с прослоями песчаников и конгломератов. Последние залегают в ее основании и являются алмазоносными и потенциально алмазоносными коллекторами. Контуры развития раннеботубинских отложений (C₂₋₃bt¹) представлены в плане линейно-вытянутыми изогнутыми полосами, приуроченными к структурно-эрозионным долинообразным понижениям палеорельефа карбонатного цоколя.

В результате литолого-фациального анализа отложений в составе всей рассматриваемой толщи выделены восемь основных типов фаций, характеризующихся ниже.

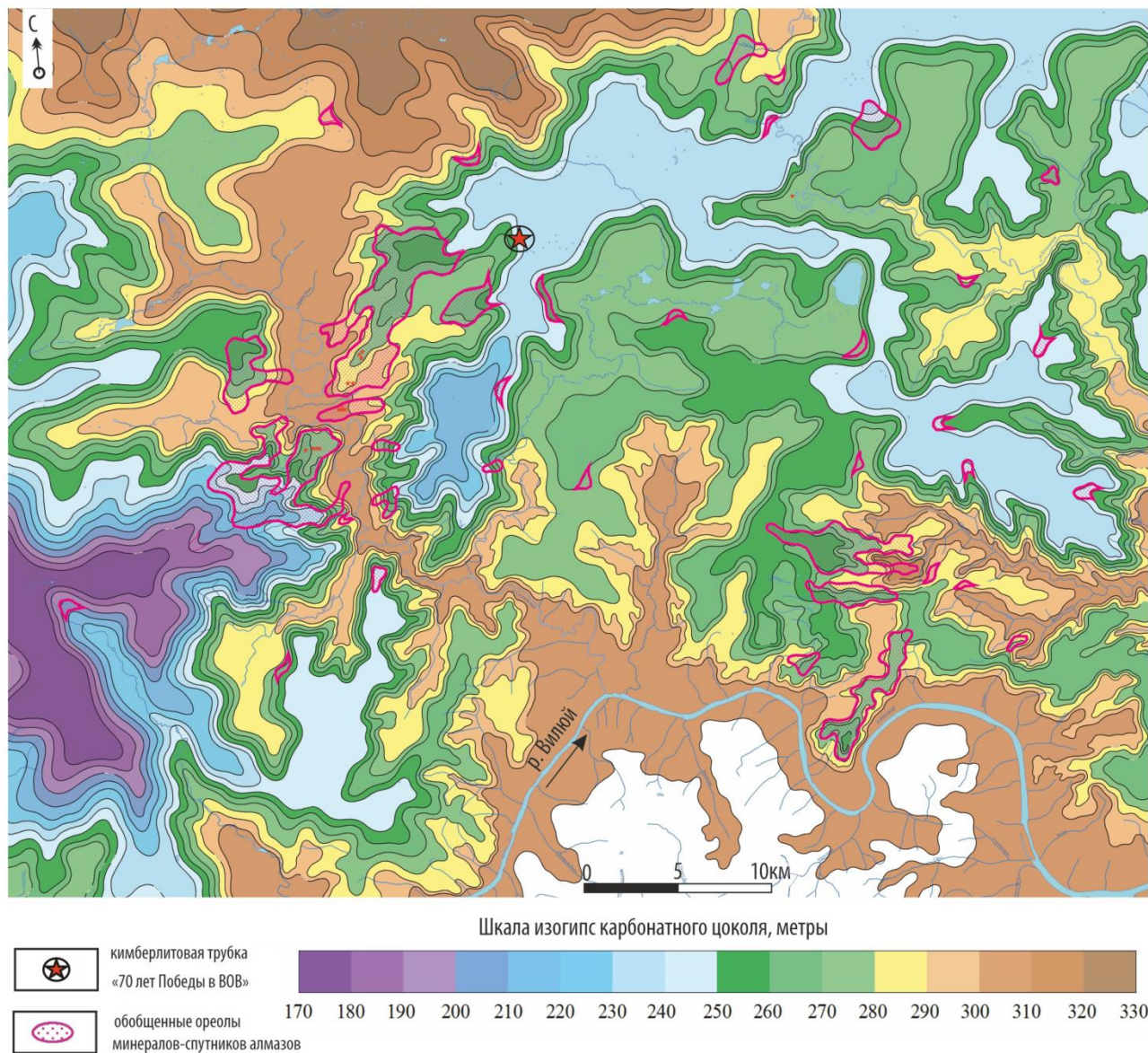


Рис. 2. Схема палеорельефа кимберлитовмещающих отложений.

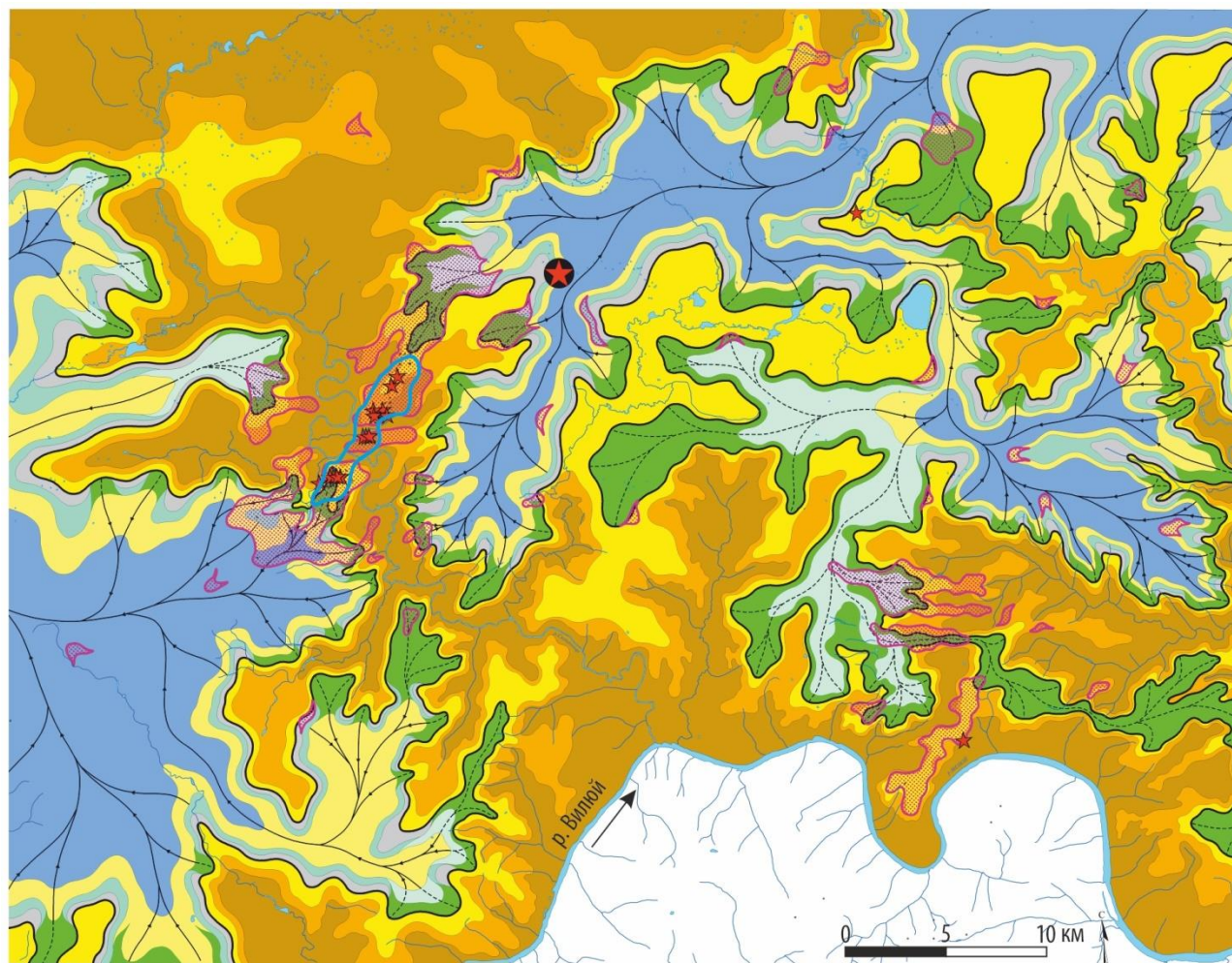
[**Fig. 2.** A scheme of the paleorelief of kimberlite-bearing deposits. *Inscriptions in the picture:* Шкала изогипс карбонатного цоколя – The scale of the elevation contour of the carbonate base; Кимберлитовая трубка «70 лет Победы в ВОВ» – Kimberlite pipe named in honour of the 70 years of Victory in the Great Patriotic War; Обобщенные ореолы минералов-спутников алмазов – Generalised aureole of diamond satellite minerals.]

Нижнеботубинская подсвета (C₂₋₃bt¹)

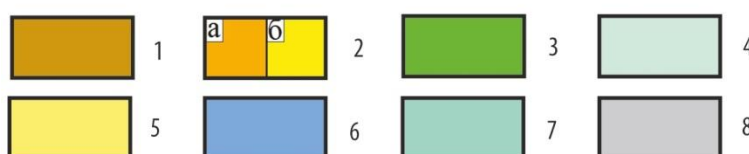
Фация глыбово-щебнистых и глинистых элювиально-делювиальных образований коры выветривания пород нижнего палеозоя развита на возвышенных водораздельных участках (рис. 3). Максимальные мощности коры выветривания (КВ) достигают 15–25 м в пределах пологих водоразделов, в то время как в долинах палеоводотоков реликты КВ имеют мощность не более 1–2 м и представлены нижней структурной зоной. Эти образования на изученной территории распространены довольно широко. Они сохранились от размыва в пределах водораздельных возвышенных участков, их склонов и на бортах долин отдельных палеоводотоков. В наиболее полных разрезах КВ выделяются две зоны: нижняя – дезинтеграции

и верхняя – выщелачивания и начального гидролиза.

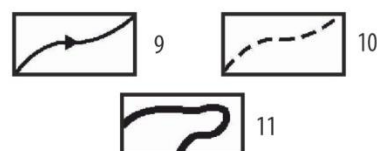
Зона дезинтеграции представлена раздробленными глыбово-щебнистыми, в различной степени трещиноватыми породами субстрата с почти полностью сохранившимися их структурно-текстурными особенностями (рис. 4). Гипергенные изменения пород здесь проявлены весьма слабо и выражаются в наличии дендритов марганца, мелкой «сыпи» сульфидов по стенкам трещин, иногда отмечаются процессы лимонитизации. В верхней части зоны дезинтеграции резко возрастает роль глинистого материала, увеличивается степень гипергенных изменений, более интенсивно проявлены окислительные процессы. В составе глинистой составляющей, как и в субстрате, преобладают кварц, доломит и кальцит, отмечается также примесь смектитов,



Фациальные условия осадконакопления потенциально продуктивных отложений



Элементы палеогеоморфологии



Элементы алмазоносности



Рис. 3. Литолого–фациальная схема каменноугольных отложений (ботуобинская свита (C_{2-3bt})) Сюльдюкарского кимберлитового поля. 1–8 фации: 1 – глыбово–щебнистых и глинистых элювиально–делювиальных образований коры выветривания пород нижнего палеозоя на возвышенных водораздельных участках; 2 – дресвяно–щебнистых (а) и песчано–алеврито–глинистых (б) делювиально–пролювиальных склоновых осадков; 3 – песчано–алевритовых пролювиальных осадков временных водотоков; 4 – песчано–гравийных, песчано–алевритовых пролювиально–аллювиальных осадков временных водотоков; 5 – песчаных осадков русла, прирусловых отмелей и кос постоянных водотоков; 6 – гравийно–галечных и крупнозернистых песчаных осадков русла постоянных водотоков; 7 – песчаных и песчано–алевритовых осадков слабоподвижного мелководья бассейна; 8 – углисто–глинистых, алевритовых и песчано–глинистых осадков застойного мелководья бассейна. 9 – тальвеги долин палеоводотоков; 10 – осевые линии линейных депрессий; 11 – региональный контур развития отложений ботуобинской свиты C_{2-3bt} ; 12 – кимберлитовая трубка «70 лет победы в Великой отечественной войне»; 13 – находки алмазов; 14 – обобщенные контуры ореолов минералов – спутников алмазов, 15 – Хатырский ореол минералов–спутников.

[Fig. 3.] A lithological-facies scheme of Carboniferous deposits (Botuoba suite (C_{2-3bt})) of the Syuldyukar kimberlite field. 1–8 facies: (1) – block-rubble and clay eluvial-deluvial formations of the weathering crusts of Lower Paleozoic rocks in elevated watershed areas; (2) – granitic rubble (a) and sand-aleurite-clay (b) deluvial-proluvial slope sediments; (3) – sand aleuritic proluvial sediments of temporary channels; (4) – sand-gravel, sand-aleurite proluvial-alluvial sediments of temporary streams; (5) – sand sediments of the channel, point bars, and bars of permanent streams; (6) – gravel-pebble and coarse sand sediments of the channel of permanent streams; (7) – sand and sand-

aleurite sediments of the weakly mobile shallow water of the basin; (8) – carbonaceous–clay, aleuritic, and sand–clay sediments of the stagnant shallow water of the basin. (9) – thalwegs of paleowatercourse valleys; (10) – axial lines of linear depressions; (11) – a regional contour of the deposit development of the Botuoba suite $C_{2-3}bt$; (12) – the kimberlite pipe named in honour of the 70 years of Victory in the Great Patriotic War; (13) – diamond finds; (14) – generalised contours of the aureole of diamond satellite minerals, (15) – Khatyryk aureole of satellites minerals. *Inscriptions in the picture: Фациальные условия осадконакопления потенциально продуктивных отложений – Facies conditions for the sedimentation of potentially productive deposits; Элементы палеогеоморфологии – Paleogeomorphology elements; Элементы алмазоносности – Diamond potential elements.]*

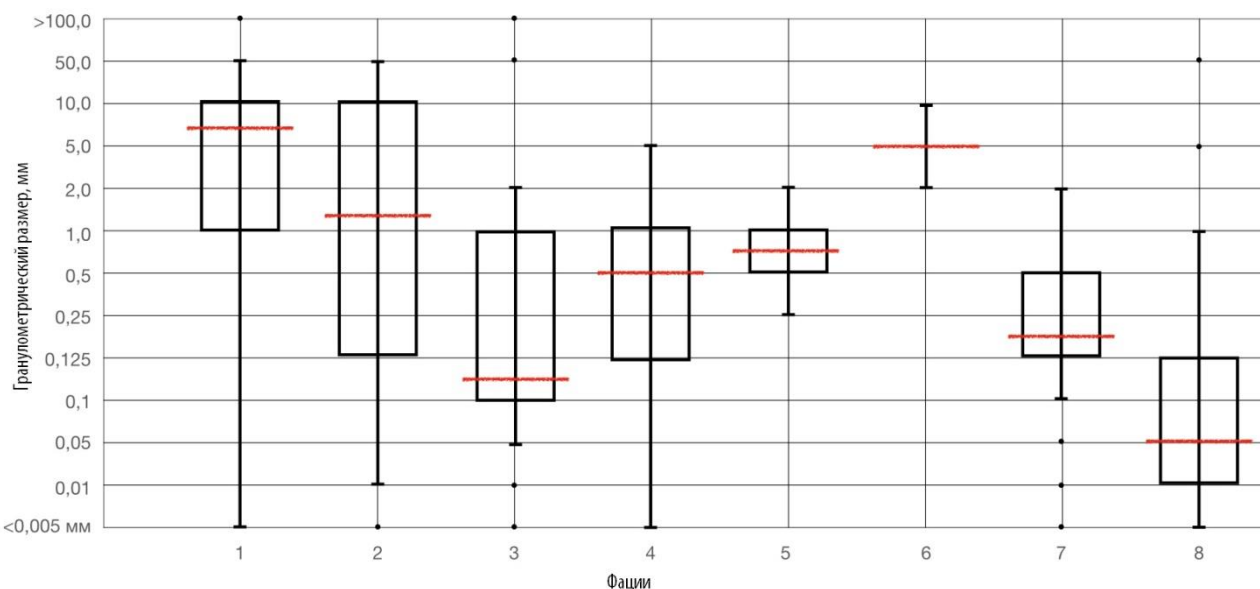


Рис. 4. Гранулометрический состав основных фаций каменноугольных отложений ботубобинской свиты ($C_{2-3}bt$) Сюльдюкарского кимберлитового поля. 1–8 фации: 1 – глыбово–щебнистых и глинистых элювиально–делювиальных образований коры выветривания пород нижнего палеозоя на возвышенных водораздельных участках; 2 – дресвяно–щебнистых и песчано–алевритоглинистых делювиально–пролювиальных склоновых осадков; 3 – песчано–алевритовых пролювиальных осадков временных водотоков; 4 – песчано–гравийных, песчано–алевритовых пролювиально–аллювиальных осадков временных водотоков; 5 – песчаных осадков русла, прирусловых отмелей и кос постоянных водотоков; 6 – гравийно–галечных и крупнозернистых песчаных осадков русла постоянных водотоков; 7 – песчаных и песчано–алевритовых осадков слабоподвижного мелководья бассейна; 8 – углисто–глинистых, алевритовых и песчано–глинистых осадков застойного мелководья бассейна.

[Fig. 4. Granulometric composition of main facies of Carboniferous deposits in the Botuoba suite ($C_{2-3}bt$) of the Syuldyukar kimberlite field. 1–8 facies: (1) – block-rubble and clay eluvial-deluvial formations of the weathering crusts of Lower Paleozoic rocks in elevated watershed areas; (2) – granitic rubble and sand–aleurite–clay deluvial–proluvial slope sediments; (3) – sand–aleuritic proluvial sediments of temporary channels; (4) – sand–gravel, sand–aleurite proluvial–alluvial sediments of temporary streams; (5) – sand sediments of the channel, point bars, and bars of permanent streams; (6) – gravel–pebble and coarse sand sediments of the channel of permanent streams; (7) – sand and sand–aleurite sediments of the weakly mobile shallow water of the basin; (8) – carbonaceous–clay, aleuritic, and sand–clay sediments of the stagnant shallow water of the basin.]

гидрослюд (иллит, вермикулит, гидрофлогопит), каолинита, хлорита, иногда гипса (рис. 5). Переход к вышележащей зоне выщелачивания постепенный.

В зоне выщелачивания широко развиты слабокарбонатные и бескарбонатные глинистые образования желтовато-серого и охристого цветов. Отмечаются мелкие (1–3 мм) пустоты выщелачивания первично седиментационных карбонатов, в основном кальцита и доломита. Характерной чертой здесь также является резкое возрастание роли аутигенных минералов: сидерита – в виде линз и отдельных прослоев мощностью от 1–5 до 10–25 см и пирита – в виде отдельных кристаллов, их скоплений, реже маломощных (2–4 мм) прожилков. Среди глинистого материала здесь по сравнению с нижней зоной значительно увеличивается количество каолинита и уменьшается примесь хлорита при относительно сохранившихся содержаниях смектитов и гидрослюд (преимущественно иллит, в

меньшей степени вермикулит и гидрофлогопит). В породах этой зоны заметно уменьшается количество кальцита и доломита.

Мощность образований КВ зависит от глубины и интенсивности гипергенных и корообразовательных процессов, в том числе от характера более поздней эрозионной деятельности, связанной с заложением и развитием верхнепалеозойской системы палеоводотоков.

Фа́ция дресвяно–щебнистых и песчано–алевритоглинистых делювиально–пролювиальных склоновых осадков. Отложения этого типа по мощности не превышают 3–5 м, но нередко достигают 15–20 м, относительно широко распространены, тяготея преимущественно к нижним частям разрезов ботубобинской свиты, где их формирование происходило в пределах коротких ложков и линейных понижений, развитых на склонах долин палеоводотоков, а также многих

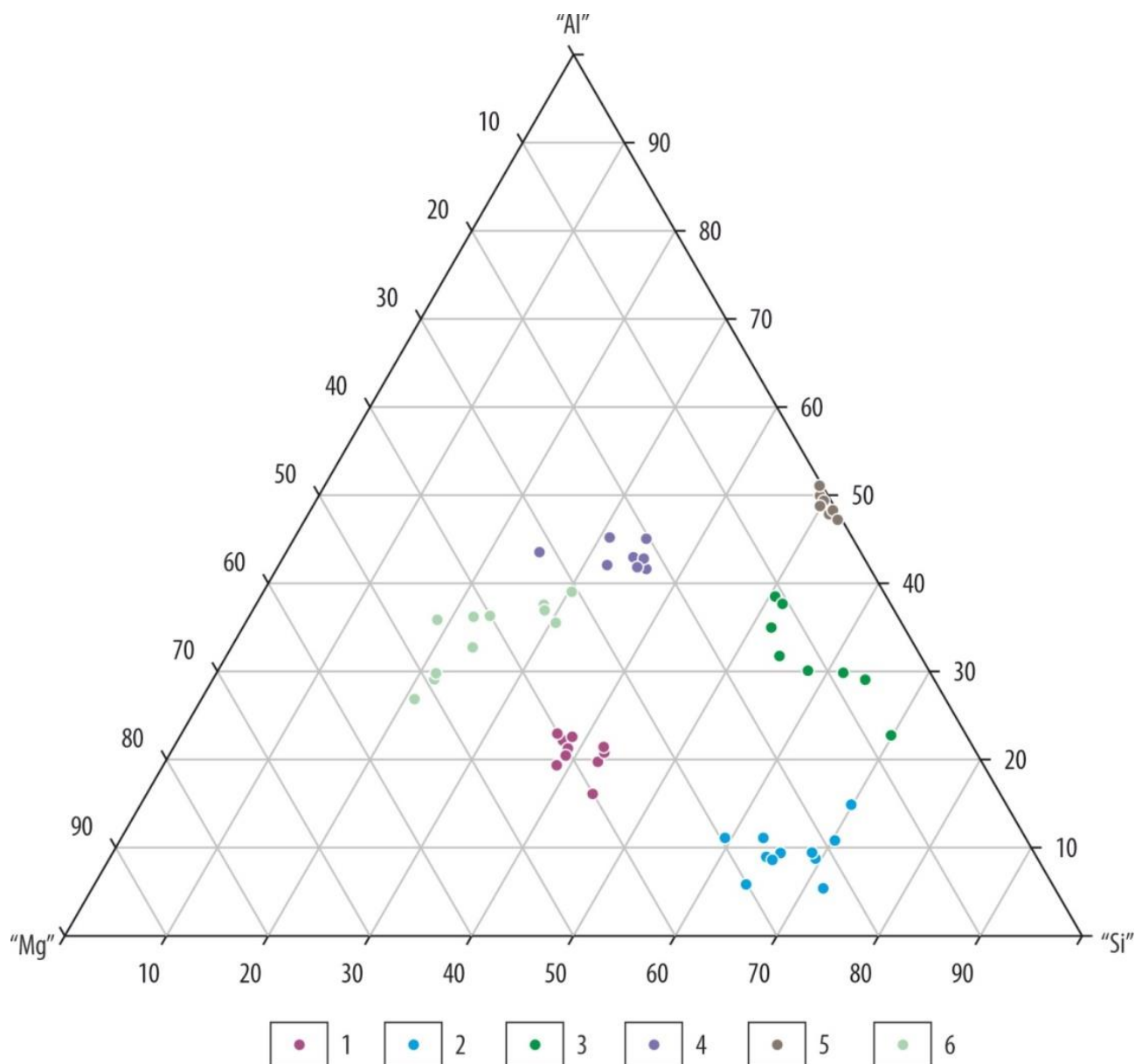


Рис. 5. Кристаллохимическая диаграмма глинистых минералов ботубобинской свиты (C₂₋₃bt) Сюддюкарского кимберлитового поля по методике [7]. Минералы: 1 – вермикулиты, 2 – смектиты, 3 – иллиты, 4 – гидро- и хлоритизированные флогопиты, 5 – каолиниты, 6 – хлориты. Обозначения на диаграмме (в ат. кол-вах): “Si” = только Si⁴⁺, “Al” = Al³⁺ + Ti⁴⁺, “Mg” = Mg²⁺ + Mn²⁺.

[Fig. 5. A crystal chemical diagram of clay minerals of the Botuoba suite (C₂₋₃bt) in the Syuldykar kimberlite field according to method [7]. Minerals: (1) – vermiculites, (2) – smectites, (3) – illites, (4) – hydro- and chloritised phlogopites, (5) – kaolinities, (6) – chlorites. Designations in the diagram (in at. quantities): “Si” = only Si⁴⁺, “Al” = Al³⁺ + Ti⁴⁺, “Mg” = Mg²⁺ + Mn²⁺.]

возвышенных участков, за счет плоскостного смыва. Они представлены несортированными глинисто-алевритовым и песчаным материалом с включениями дресвы и щебня пород карбонатного цоколя. Текстура отложений преимущественно беспорядочная, но иногда просматриваются неясная субгоризонтальная до наклонной типы слоистости. Нередко здесь встречаются мелкие обломочки углефицированной растительности. Цвет отложений серый, темно-серый, иногда с зеленоватым оттенком. В целом, делювиально-пролювиальные отложения залегают на эродированной поверхности карбонатного цоколя.

Фация песчано-алевритовых пролювиальных осадков временных водотоков. Песчано-алевритовые и глинистые пролювиальные отложения временных водотоков мощностью от первых метров до 15–20 м, составляя в среднем 8–10 м, на территории Сюддюкарского кимберлитового поля также широко развиты, слагают нередко основной объем разреза ботубобинских отложений. Ведущими литотипами здесь являются разноразмерные плохо отсортированные песчаники, алевролиты с большим количеством песчаной составляющей и алевритистые глины (не редко аргиллиты). Отложения серые, темно-серые, иногда с зеленоватым и грязно-кремовым оттенками. Их тек-

стурные особенности характеризуются наличием мелкой неправильно-линзовидной, прерывисто-волнистой, косоволнистой типов слоистости. Часто наблюдаются фрагменты сгустковой текстуры. Слойки часто имеют нечеткие размазанные границы. Сортировка материала плохая, иногда полностью отсутствует, что придает породам неоднородный облик.

Характерной особенностью данных отложений является присутствие рассеянных включений, реже скоплений гравия и галек кварцитов, кремней, кварца, кислых эффузивов, а также угловатых и угловато-сглаженных обломков нижнепалеозойских пород. Количество последних возрастает в нижних частях разрезов и вблизи бортов палеодепрессий. Минеральные новообразования в пролювиальных отложениях представлены довольно частыми стяжениями марказита и сидерита изометрично-округлой и уплощенной формы размером от 1 до 5–10 см. Карбонаты железа довольно часто образуют линзовидные прослои и присутствуют в виде связующей массы в отдельных литотипах. Пролувиальные отложения залегают на размытой поверхности карбонатного цоколя. В профиле долин они граничат с песчано-галечными аллювиальными осадками постоянных водотоков и грубообломочными пролювиально-аллювиальными образованиями.

Фация песчано-гравийных, песчано-алевритовых пролювиально-аллювиальных осадков временных водотоков. Отложения этого типа с мощностями на разных участках от 0.1–0.2 м до 1.5–2.0 м в условной мере развиты почти во всех палеодепрессиях ботубинской гидросети. Они приурочены к нижним базальным горизонтам свиты и представлены плохо отсортированными гравийно-галечными конгломератами с песчано-глинистым и алевритовым заполнителем. Количество грубообломочного материала здесь составляет от 5 до 15%. В его составе преобладают кремни, кварциты, кварц, редко отмечаются гранитоиды, порфириды и метаморфические породы. Средние размеры галек не превышают 3–5 см. В отдельных разрезах наблюдается значительное возрастание доли обломков подстилающих карбонатных пород, в том числе доломитов, известняков, мергелей (до 30–50%). Окатанность грубообломочного материала изменяется от 2 до 3–4 класса. Сортировка материала плохая. Цветовая характеристика отложений этого типа определяется серым и темно-серым цветами. Иногда за счет наложения процессов ожелезнения появляются желтовато-серые и табачные оттенки. Текстура пород беспорядочная. Минеральные новообразования представлены карбонатами и сульфидами железа в виде неправильных гнездообразных включений.

Отложения данного типа залегают с размывом на породах карбонатного цоколя. В продольном профиле палеодолин они переходят в песчано-гравийно-галечные осадки руслового аллювия постоянных водотоков, в верховьях палеодепрессий к ним примыкают и нередко их перекрывают песчано-алевритовые пролювиальные осадки временных водотоков.

Фация песчаных осадков русла, прирусловых от-

мелей и кос постоянных водотоков. Многие участки картируемых палеоводотоков в пределах Сюльдюкарского поля имели относительно слабые гидродинамические характеристики, где транспортировка дезинтегрированного материала в целом была невысокой. Их отложения имеют мощность, не превышающую 0.5–1.5 м, и представлены в основном песчаными разностями с примесью глинисто-алевритового материала и единичными включениями гравия, мелкой гальки кварц-кремнистого состава, в том числе и обломков местных пород. Цвет отложений обычно серый, темно-серый. Структура песчаников мелко-среднезернистая. Часто наблюдается мелкая косая и волнистая слоистость, подчеркиваемая цветовыми оттенками и обусловленная наличием слоев глинисто-алевритового материала. На плоскостях напластования отмечаются скопления углефицированного детрита и слюдистых минералов. Сортировка материала плохая. Преобладающий состав песчаников кварц-полевошпатовый. Из минеральных включений присутствуют мелкие (1–3 см) стяжения марказита, кристаллы пирита, а также наложенная карбонатизация в виде линз и маломощных прослоев.

Песчаные отложения руслового аллювия залегают на эродированной поверхности карбонатного цоколя. На отдельных участках транспортирующая способность палеоводотоков была заметно выше, о чем свидетельствует присутствие грубообломочного материала в виде рассеянной примеси, иногда сконцентрированного в виде маломощных (0.1–0.3 м) прослоев и линз. Количество обломочного материала в целом невелико и достигает в среднем 3–5%. Доминирующая роль принадлежит обломкам местных пород, содержание которых достигает 65–75%. Из них на долю алевритов приходится до 40–45%, известняков до 8–10%. Обломки углистых пород и углефицированной древесины составляют до 10–13%. Содержание кремней и кварца не превышает 8–12%, в подчиненном количестве присутствуют кварциты, кислые и средние эффузивы (8–9%). Гальки «экзотических» и устойчивых пород характеризуются в основном средней степенью окатанности. Участки их развития имеют в плане часто узкую форму, вытянутую вдоль тальвегов водотоков.

Песчаные отложения кос и прирусловых отмелей палеоводотоков представлены песчаниками мелко- и среднезернистыми, а также среднезернистыми с редкими включениями гравия, мелкой гальки и обломков местных пород. В целом эти литотипы по своим генетическим признакам во многом сходны с таковыми из русловых отложений и отличаются от них наличием в цементирующей массе повышенного количества глинисто-алевритового материала, поступавшего сюда во время паводков. Здесь нередко отмечаются и прослои заиления, которые имеют незначительную мощность (5–10 см) и слабо выражены по простиранию.

Отложения кос и прирусловых отмелей залегают на осадках руслового аллювия или на породах карбонатного цоколя. В поперечном профиле долин они

нередко примыкают к их бортам. Участки их развития в плане имеет слабоизогнутую линзовидно-вытянутую форму.

Фация гравийно-галечных и крупнозернистых песчаных осадков русла постоянных водотоков. Отложения этого комплекса включают в себя два основных тесно связанных между собой литогенетических типа: гравийно-галечные отложения (галечники) и песчаники разнозернистые, преимущественно крупно- и грубозернистые с включениями гравия и гальки.

Галечные отложения мощностью в разных частях палеоводотоков от 0.2–0.5 м до 2.0–3.0 м в пределах изучаемой территории в той или иной степени развиты почти во всех палеодолинах. Количество грубообломочного материала здесь варьирует от 25–30% до 40%, достигая максимальных значений в нижних (приплотиковых) частях разреза. В его составе преобладают кремни, кварциты, метаморфические породы, в меньшей степени отмечаются кварц, кислые и средние эффузивы. Часто встречаются уплощенные обломки нижнепалеозойских пород, количество которых несколько увеличивается в нижних частях разреза и вблизи бортов долин, а также обломки углефицированной древесины.

Окатанность грубообломочного материала различна и изменяется от 1–2 до 3–4 класса. Более высокую степень окатанности имеют крупные гальки кварцитов (4 класс), кислых и средних порфиринов, жильных разновидностей кварца (3–4 класс). Значительно хуже окатаны гальки и обломки кремней и окремненных пород (1–2 класс). Сортировка грубообломочного материала плохая, иногда вверх по разрезу наблюдается некоторое улучшение сортировки при уменьшении размеров обломков. Цветовая характеристика данных образований зависит от состава и количества цементирующей массы. Так, при значительной примеси в составе цемента глинисто-алевритового и углистого материала преобладающими цветами являются серый и темно-серый.

Увеличение песчаной составляющей придает породам светло-серую тональность. Нередко отмечаются голубоватый и зеленоватый оттенки, обусловленные сингенетическими преобразованиями осадков при перекрытии их глинисто-алевритовыми отложениями и созданием восстановительной среды. Проявление же более поздних окислительных процессов (лимонитизации) приводит к появлению табачной, желтовато-серой, а иногда и охристо-желтой окраски. Текстура беспорядочная, редко наблюдается слабо выраженная косая слоистость, подчеркиваемая полого наклонной ориентировкой уплощенных галек и обломков пород.

Минеральные новообразования данного типа осадков представлены мелкокристаллическим пиритом в виде мелкой сыпи, отдельных обособлений линзовидной формы, реже шаровидными песчано-марказитовыми конкрециями диаметром от 1–3 см до 5–10 см. Отложения данного типа залегают с размывом на породах карбонатного цоколя. В продоль-

ном профиле долин палеоводотоков они переходят в крупнозернистые песчаники руслового аллювия, в верховьях водотоков к ним примыкают песчаные и песчано-алевритовые делювиально-пролювиальные осадки склонов, в краевых частях долин они граничат с отложениями кос и прирусловых отмелей.

Ко второму литотипу руслового аллювия относятся также песчаники крупнозернистые с включениями гравия и гальки. Они пользуются широким развитием в пределах многих долин палеоводотоков, частично перекрывают вышеописанные гравийно-галечные отложения, и уже в более определенной мере представляют собой констративную стадию развития водотоков раннеботуобинской гидросети. Структура песчаников разнозернистая, преимущественно средне-крупнозернистая, крупнозернистая и нередко крупно-грубозернистая. Включения приурочены в основном к нижним частям разреза и представлены гравийно-галечным материалом и угловато-сглаженными обломками темно-серых, серых глинистых алевролитов, иногда с фрагментами первичной слоистой текстуры. Количество грубообломочного материала не превышает 5–10%, достигая изредка 20–25%.

В составе гравийно-галечного материала преобладает кварц, кремни, кварциты. Этот материал имеет в целом среднюю и хорошую окатанность. Велика доля и мелких уплощенных обломков нижнепалеозойских пород, количество которых возрастает по направлению к бортам долин, а также обломков углефицированной древесины. Преобладающими цветами песчаников являются серый, светло-серый, иногда с зеленоватым оттенком. Цветовая окраска зависит от количества глинисто-алевритового и углистого материала. В литотипах, подвергнувшихся окислительным процессам, появляются желтовато-серые и желтые тона.

Состав песчаников преимущественно кварц-полевошпатовый, нередко с резким преобладанием кварцевой составляющей. В отдельных случаях, где отмечается повышенное содержание темноцветных, в основном рудных минералов, состав песчаников становится близким к полимиктовому. Текстурные особенности этого литотипа характеризуются наличием здесь крупной и мелкой косой однонаправленной слоистости, подчеркиваемой ритмической сортировкой материала, скоплениями углефицированного детрита и темноцветных минералов. Мощность косых серий колеблется от 5–10 до 30–40 см. Сортировка материала в пределах слоев плохая, редко средняя, иногда наблюдается улучшение сортировки в слоях вверх по разрезу. В верхних частях разреза наблюдается и уменьшение зернистости песчаников, обусловленное ослаблением гидродинамики водных потоков. Минеральные новообразования представлены сульфидами в виде правильных шаровидных стяжений марказита диаметром от 1–2 см до 8–10 см. В верхних частях разреза иногда появляются песчано-карбонатные стяжения правильной эллипсоидной и шаровидной формы размером от 0.3–0.5 до

1.5–2.0 м.

Максимальная мощность отложений этого типа фиксируется в наиболее пониженных участках долин, где она составляет от 0.5 до 3.0–4.0 м. К бортам долин наблюдается ее закономерное уменьшение до 0.1–0.5 м.

Отложения этого литотипа в виде различно протяженных полос с размывом залегают на образованиях карбонатного цоколя, частично перекрывают и фациально замещают гравийно-галечные осадки руслового аллювия. В верхних частях долин они граничат с комплексом делювиально-пролювиальных осадков склонов, вблизи бортов долин к ним примыкают отложения кос и прирусловых отмелей.

Верхнеботуобинская подсвета

В начале позднеботуобинского времени на характеризующей территории произошла резкая смена фациальных условий осадконакопления, связанная с начавшейся широкой ингрессией эпиконтинентального бассейна на господствовавшую обширную аллювиальную равнину. В пределах изученной площади Слюдюкарского района наступление бассейна привело к подтоплению основной части палеогидросети раннеботуобинских водотоков и формированию осадков слабоподвижного и застойного мелководий.

Фация песчаных и песчано-алевроитовых осадков слабоподвижного мелководья бассейна. Вблизи береговой зоны выявляются участки, слабоподвижного прибрежного мелководья бассейна, где в заливно-лагунных условиях происходило накопление мелкозернистых песчаников и алевролитов с прослоями глинистых алевролитов и аргиллитов. Отложения этих фациальных обстановок с мощностями, различными на разных участках от 3–5 до 8–10 м, представлены чередованием алевролитов и мелкозернистых песчаников, алевролитов и аргиллитов, а также собственно алевролитами. Сортировка материала в пределах отдельных прослоев средняя. Цвет отложений зависит от преобладания той или иной литологической разности и изменяется от светло-серого до серого и темно-серого. Наиболее темную окраску имеют глинистые алевролиты и аргиллиты.

Преобладающими типами слоистости являются тонкая и мелкая горизонтальная, слабоволнистая с прослоями мелкой косою штриховатой и выполаживающейся. Нередко здесь также наблюдаются текстуры взмучивания и подводного оползания. Слоистость обусловлена главным образом чередованием слоев вышеперечисленных литологических разностей и подчеркивается скоплением углефицированного детрита, а также слюдистых минералов. На плоскостях напластования часто наблюдаются флористические отпечатки растений, иногда хорошей сохранности, отмечаются находки пресноводной фауны. Минеральные выделения представлены мелкими стяжениями марказита, реже карбонатов. В плане отложения этих фациальных обстановок вблизи береговой линии

и вверх по разрезу постепенно переходят в отложения застойного мелководья.

Фация углисто-глинистых, алевроитовых и песчано-глинистых осадков застойного мелководья бассейна. Отложения этого типа со средней мощностью от 3–5 до 8–10 м (редко более) формировались в прибрежной мелководной зоне бассейна, часто примыкая непосредственно к самому побережью, где существовали не только спокойные, но и застойные условия заливно-лагунного мелководья. В непосредственной близости от берега в приграничной зоне с торфяными болотами прибрежной низменности на периодически осушаемых участках активно развивались почвообразовательные процессы. Отложения этой фации пользуются довольно широким распространением. Они представлены углистыми аргиллитами и углисто-глинистыми алевролитами, иногда переслаивающимися с тонко-мелкозернистыми песчаниками. Цвет пород в основном серый и темно-серый. Характерной чертой является тонкая до микроразрешимой, иногда слабоволнистая слоистость, подчеркиваемая цветовыми оттенками, скоплениями углефицированного детрита и обусловленная чередованием слоев углей, аргиллитов, алевролитов и мелкозернистых песчаников. Мощность слоев изменяется от долей мм до 1–2 см, редко до 4–5 см. На плоскостях напластования часто отмечаются многочисленные флористические остатки и их отпечатки. Минеральные включения представлены мелкими стяжениями марказита, кристалликами пирита и железисто-карбонатными образованиями.

Заключение

Таким образом, средне-верхнекаменноугольные отложения ботуобинской свиты являются промежуточным коллектором минералов-спутников и самих алмазов. В пространственно-генетическом отношении они представляют собой россыпи ближнего сноса, локализованные в околотрубочном пространстве коренного месторождения, служащего их источником. Но при этом на карте кимберлитовмещающего цоколя очевидно распространение таких же отложений ближнего сноса севернее и в восточной части района. Специфика данных россыпей определяется тремя основными факторами: характером поступления обломочного материала и полезного компонента, особенностями их аккумуляции и формой образованных осадочных тел.

Проведенный литолого-фациальный анализ отложений Слюдюкарского алмазоносного района позволил высоко оценить его потенциал на коренную алмазоносность. Контуры развития базальных, наиболее грубообломочных фаций при совпадении с ореолами распространения минералов-спутников алмазов указывают на участки постановки более детальных поисковых работ.

На этапе собственно осадконакопления определено распределение продуктов разрушения кимберлитов по площади и разрезу. По площади это преимуще-

ственно пролювиальные шлейфы, гидродинамические условия на формирование в которых глинистых пород обычно не оказывают значительного воздействия. В разрезе же выветрелый материал кимберлитов ассоциируется с грубообломочными горизонтами, в которых крупные обломки материнских пород являлись естественным трафаретом и замедляли вымывание глинистых минералов. Поэтому рекомендуется в дальнейших геологоразведочных работах в этом районе изучение глинистой фракции, как возможно, образованной в коре выветривания кимберлитов.

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

ЛИТЕРАТУРА

1. 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.
2. Коробков И. Г., Никулин И. И. Сравнительный анализ отложений ближнего сноса Среднемархинского и Малоботубинского алмазоносных районов (Западная Якутия) // *Вестник Воронежского государственного университета*.

Серия: Геология. 2009. № 2. С. 50–61.

3. Коробков И. Г. Структурно-тектонические, литолого-фациальные и магматические факторы минерагенического районирования и локального прогноза алмазоносности на востоке Тунгусской синеклизы (Якутская алмазоносная провинция): дис. ... д-ра. геол.-мин. наук, Национальный исследовательский Томский политехнический университет. Томск, 2014. 370 с.
4. Никулин И. И. Экспресс-приемы выделения тонкодисперсных минералов из цемента осадочных пород // *Вестник Воронежского государственного университета. Серия: Геология*. 2010. № 1. С. 286–292.
5. Коробков И. Г. Геология и фации верхнепалеозойских отложений алмазоносных районов на востоке Тунгусской синеклизы. Под ред. В.В. Гавриленко. СПб.: Изд-во С.-Петербург. ун-та, 2006. 164 с.
6. Шерстяных А. И., Коробков Я. С., Коробков И. Г. Происхождение вновь выявленных линейных депрессий кимберлитовых полей Якутской алмазоносной провинции и их значение для локального прогноза коренной алмазоносности // *Вестник Воронежского государственного университета. Серия: Геология*. 2017. № 1. С. 102–107.
7. Никулин И.И. Кристаллохимические зависимости слоистых силикатов / Материалы I Российского рабочего совещания «Глины, глинистые минералы и слоистые материалы», посвященного 90-летию со дня рождения Б.Б. Звягина. Тезисы совещания, 2-е издание, Москва, ИГЕМ РАН, 2011. С. 36–37.

GEOLOGY, SEARCH AND INVESTIGATION OF SOLID MINERAL RESOURCES, MINERAGENY

UDC 551.83 (571.56)

ISSN 1609-0691

DOI: <https://doi.org/10.17308/geology.2022.1/9099>

Received: 08.02.2022

Accepted: 28.02.2022

Published online: 29.03.2022

Facies sedimentation environments in the carbon diamond reservoirs of the Syuldyukar kimberlite field (Western Yakutia)

©2022 I. I. Nikulin¹✉, I. G. Korobkov

¹LLC NN TS, 11 Grazhdansky pr., 195220, St. Petersburg, Russian Federation

Abstract

Introduction: Each newly discovered kimberlite field needs to be properly prospected so that a geological survey can identify more than one diatrema. For this, drilling and sludge analysis are not enough, therefore, a proper lithological study of potentially diamond-bearing reservoirs is required.



The content is available under Creative Commons Attribution 4.0 License.

✉ Ivan I. Nikulin, e-mail: iinikulin@gmail.com

Methodology: Geochemical, mineralogical, and lithological studies were carried out as a result of studying a large number of drill-hole cores that were drilled during exploration (1988–1990), prospecting and evaluation (1988–1996), and geological exploration (2006–2014) works.

Results and discussion: Due to the discovery of diamond crystals and contrast associations of diamond satellite minerals, the Middle-Upper Carboniferous Botuoba formation (C₂₋₃bt) was identified as being the most promising diamond reservoir. The lithofacies analysis of the deposits of the formation within the Syuldyukar diamond-bearing region identified eight facies which were used to reconstruct the sedimentation conditions. A paleorelief map was made for the period of accumulation of kimberlite-bearing deposits and the lithofacies map for the Syuldyukar kimberlite field. The key morphostructural elements of the Lower Paleozoic kimberlite-bearing formations were determined.

Conclusions: The newly obtained data allow assessing the primary diamond potential of the formation as high and identifying the priority areas for further geological exploration.

Keywords: diamond, lithofacies analysis, carbon, Syuldyukar, Western Yakutia.

For citation: Nikulin I. I., Korobkov I. G. Facies sedimentation environments in the carbon diamond reservoirs of the Syuldyukar kimberlite field (Western Yakutia). *Vestnik Voronezhskogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya: Geologiya – Proceedings of Voronezh State University. Series: Geology*, 2022, no. 1, pp. 47–58 DOI: <https://doi.org/10.17308/geology.2022.1/9099>

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

REFERENCES

1. Maltsev M. V., Tolstov A. V., Fomin V. M., Starkova T. S. 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.)
Seriya: Geologiya – Proceedings of Voronezh State University. Series: Geology, 2009, no. 2, pp. 50–61. (in Russ.)
2. Korobkov I. G. *Strukturno-tektonicheskie, litologo-fatsial'nye i magmaticheskie faktory mineragenicheskogo raionirovaniya i lokal'nogo prognoza almazonosnosti na vostoке Tungusskoi sineklizy (Yakutskaya almazonosnaya provintsiya)*. Dis. d-ra. geol.-min. nauk. [Structural-tectonic, lithofacies and magmatic factors of mineragenic zoning and local prediction of diamond content in the east of the Tunguska syncline (Yakutsk diamondiferous province): dr. geol.-min. sci. diss.]. National Research Tomsk Polytechnic University, Tomsk, 2014. 370 p. (in Russ.)
3. Korobkov I. G. *Strukturno-tektonicheskie, litologo-fatsial'nye i magmaticheskie faktory mineragenicheskogo raionirovaniya i lokal'nogo prognoza almazonosnosti na vostoке Tungusskoi sineklizy (Yakutskaya almazonosnaya provintsiya)*. Dis. d-ra. geol.-min. nauk. [Structural-tectonic, lithofacies and magmatic factors of mineragenic zoning and local prediction of diamond content in the east of the Tunguska syncline (Yakutsk diamondiferous province): dr. geol.-min. sci. diss.]. National Research Tomsk Polytechnic University, Tomsk, 2014. 370 p. (in Russ.)
4. Nikulin I. I. Ekspres-priemy vydeleniya tonkodispersnykh mineralov iz tsementa osadochnykh porod [Express methods for extracting finely dispersed minerals from cement of sedimentary rocks]. *Vestnik Voronezhskogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya: Geologiya – Proceedings of Voronezh State University. Series: Geology*, 2010, no. 1, pp. 286–292. (in Russ.)
5. Korobkov I. G. *Geologiya i fatsii verkhnepaleozoiskikh otlozhenii almazonosnykh raionov na vostoке Tungusskoi sineklizy* [Geology and facies of the Upper Paleozoic deposits of diamond-bearing regions in the east of the Tunguska syncline] Ed. V.V. Gavrilenko. St. Petersburg, Publishing House of St. Petersburg. un-ta, 2006. 164 p. (in Russ.)
6. Sherstyanykh A. I., Korobkov Ya. S., Korobkov I. G. The origin of the newly revealed linear depressions of kimberlite fields of the Yakutsk diamondiferous province and their significance for the local prediction of primary diamond content // *Vestnik Voronezhskogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya: Geologiya – Proceedings of Voronezh State University. Series: Geology*, 2017, no. 1, pp. 102–107. (in Russ.)
7. Nikulin I.I. Crystal-chemical dependences of layered silicates / Proceedings of the 1st Russian workshop "Clays, clay minerals and layered materials", dedicated to the 90th anniversary of the birth of B.B. Zvyagin. Abstracts of the meeting, 2nd edition, Moscow, IGEM RAS, 2011, pp. 36-37. (in Russ.)

Никулин Иван Иванович – д. г.-м. н., старший менеджер, ООО «НН ТС», Санкт-Петербург, Российская Федерация; E-mail: iinikulin@gmail.com; ORCID <http://orcid.org/0000-0002-1134-6248>

Коробков Илья Георгиевич – д. г.-м. н., Санкт-Петербург, Российская Федерация; E-mail: i.korobkov57@mail.ru

Авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.

Ivan I. Nikulin – PhD, Dr. habil. in Geol.-Min., senior manager, “NN TS” LLC, , Saint-Petersburg, Russian Federation; E-mail: iinikulin@gmail.com, ORCID <http://orcid.org/0000-0002-1134-6248>

Ilya G. Korobkov – PhD, Dr. habil. in Geol.-Min., Saint-Petersburg, Russian Federation; E-mail: i.korobkov57@mail.ru

All authors have read and approved the final manuscript.