

Методика среднемасштабного минералогического районирования при поисковых работах на алмазы (на примере Ыгыаттинской площади, Западная Якутия)

Н. К. Шахурдина¹, О. В. Тарских^{1,✉}, А. Ю. Колесник²

¹Вилуйская геологоразведочная экспедиция (ВГРЭ) АК «АЛРОСА» (ПАО),
г. Мирный, Российская Федерация

²ТОО «Открытая геология Казахстан», г. Алма-Аты, Республика Казахстан

✉TarskikhOV@alrosa.ru

Аннотация

Показано, что анализ шлихоминералогической информации на современном этапе позволяет разработать новую методику минералогического картирования с применением ГИС-технологий и базовой статистики. Предлагаемая методика описана на примере Ыгыаттинской площади Якутской алмазоносной провинции (ЯАП). Для анализа информативности и продуктивности верхнепалеозойских терригенных коллекторов выбран комплекс минералогических признаков, позволяющий уверенно выделять площади развития прогнозируемого типа месторождений и устанавливать местоположение их первоисточников при среднемасштабном районировании. Представлена созданная ГИС-интегрированная база данных минералогических паспортов выработок на основе определения фоновых и аномальных параметров минералогического поля. С помощью ГИС-инструмента ModelBuilder на площади Ыгыаттинского алмазоносного района (ЫАР) выделены аномальные области минералогического поля. Показано, что предлагаемая методика позволяет очертить минералогические таксоны рангов «узел» и «участок» ЫАР и выделить на исследуемой площади шесть минералогических узлов и пятнадцать минералогических участков. Сделан вывод, что применение предложенной методики будет эффективным для среднемасштабного районирования на основе шлихоминералогических данных других алмазоносных районов.

Ключевые слова: Ыгыаттинская площадь, минералогическое районирование, шлих, индикаторные минералы кимберлитов, химико-генетические группы

Благодарности. Авторы выражают признательность к.г.-м.н. Е.В. Проценко за содействие и поддержку, к.ф.-м.н. Л.П. Шадринной за неоценимую помощь.

Для цитирования: Шахурдина Н.К., Тарских О.В., Колесник А.Ю. Методика среднемасштабного минералогического районирования при поисковых работах на алмазы (на примере Ыгыаттинской площади, Западная Якутия). *Природные ресурсы Арктики и Субарктики*. 2023;28(2):223–235. <https://doi.org/10.31242/2618-9712-2023-28-2-223-235>

Original article

The method of medium-scale mineralogical mapping during diamond searching: a case study in the Ygyatta Region (Western Yakutia)

N. K. Shakhurdina¹, O. V. Tarskikh^{1,✉}, A. Yu. Kolesnik²

¹Vilyui Geological Exploration Expedition, Mirny, Russian Federation,
AK “ALROSA” (PAO), Mirny, Russian Federation

²LLP “Otkrytaja geologija Kazahstan”, Almaty, Republic of Kazakhstan

✉TarskikhOV@alrosa.ru

Abstract

The analysis of mineralogical information has enabled the development of a novel mineralogical zoning method using GIS and statistics. The proposed method was applied to the Ygyatta Region located within the Yakut Diamond-bearing Province. A set of mineralogical characteristics was chosen to examine the information content and productivity of the

terrigenous collectors, providing an exact identification of the development areas of the deposits and the locations of their primary sources during medium-scale forecasting. The developed GIS-integrated database of the mineralogical passports of mine workings was based on the identification of background and anomalous parameters in the mineralogical field. The latter, within the Ygyatta Region, was delineated using ModelBuilder. The proposed method demonstrates the ability to contour mineralogical taxa of the “node” and “section” ranks within the Ygyatta Region, leading to the identification of six mineralogical nodes and fifteen mineralogical sections. This method can be effective for medium-scale zoning, based on mineralogical data from other diamond-bearing areas.

Keywords: Siberian platform, Vilyui-Markha dike belt, dikes, dolerites, high-titanium basites

Acknowledgements. The authors express their gratitude to Elena V. Protsenko, Cand. Sci. (Geol.-Mineral.) for full support during the preparation of the study and Ludmila P. Shadrina, Cand. Sci. (Phys.-Math.) for her invaluable assistance.

For citation: Shakhurдина N.K., Tarskikh O.V., Kolesnik A.Yu. The method of medium-scale mineralogical mapping during diamond searching: a case study in the Ygyatta Region (Western Yakutia). *Arctic and Subarctic Natural Resources*. 2023;28(2):223–235. (In Russ.); <https://doi.org/10.31242/2618-9712-2023-28-2-223-235>

Введение

Поисковые работы на алмазы на территории Западной Якутии ведутся более 70 лет [15]. При этом наиболее эффективным до сих пор остается шлихоминералогический метод. Основные принципы и методы минералогического районирования перспективных на алмазы территорий по типоморфным характеристикам индикаторных минералов кимберлитов (ИМК) подробно изложены в работах предшественников [3, 8, 10, 17, 20, 23–25]. В них выделены характеристики, определяющие продуктивность терригенных коллекторов ИМК [8, 9, 10, 24]: содержание ИМК в стандартной 10-литровой шлиховой пробе, относительная концентрация в аллотигенной составляющей тяжелой фракции (ТФ), ассоциация, гранулометрия, сохранность (степень механического износа), химический состав. Типоморфные особенности кимберлитовых минералов дают возможность не только выделять площади развития определенного прогнозируемого типа месторождений (возраста, генезиса, уровня алмазоносности), но и устанавливать местоположение их первоисточников [4, 9–11].

Современные требования к прогнозированию и поискам коренных месторождений алмазов нуждаются в разработке новой ГИС-интегрированной методики минералогического районирования. Целью работы является разработка методики анализа шлихоминералогических данных для среднемасштабного минералогического районирования Ыгыаттинского района с применением ГИС-технологий.

Методика районирования основана на подходе «фон–аномалия»: минимально аномальные значения для каждого минералогического признака принимаются после анализа его распределения на изучаемой территории.

Методика минералогического районирования

Предлагаемая новая методика среднемасштабного районирования с использованием ГИС-технологий анализа базы данных шлихоминералогического опробования может быть описана на примере Ыгыаттинской площади, расположенной в центральной части Центрально-Сибирской субпровинции – Якутской алмазоносной провинции (рис. 1). На его территории известны два кимберлитовых объекта, один из них – алмазоносная трубка Сюльдюкарская [13, 14, 16, 21, 22]. Согласно «Стадийности геологоразведочных работ с целью поисков коренных месторождений алмазов», изученность Ыгыаттинского алмазоносного района соответствует стадии 2 ГРП (Комплексное геологическое изучение территорий и прогнозирование месторождений алмазов в масштабе 1:200 000 – 1:100 000 – 57,5 %) и стадии 3 ГРП (Общие поиски масштаба 1:50 000–1:25 000 – 38 %) [15]. Основными коллекторами ИМК в Ыгыаттинском районе являются верхнепалеозойские отложения (ботуобинская свита верхнего карбона, ахтарандинская и боруллойская свиты нижней перми).

В практике поисковых работ на алмазы в АК «АЛРОСА» (ПАО) шлиховое опробование терригенных коллекторов, сопровождающихся бурением, производится по литологическому принципу: каждая литологическая разность опробуется отдельно. Различия в мощности опробуемых интервалов закономерно приводят к различиям в объеме проб.

Для нормирования результатов шлихового опробования производится пересчет количества знаков ИМК на стандартную 10-литровую пробу.

Такой подход к нормированию результатов шлихового опробования информативен при ми-

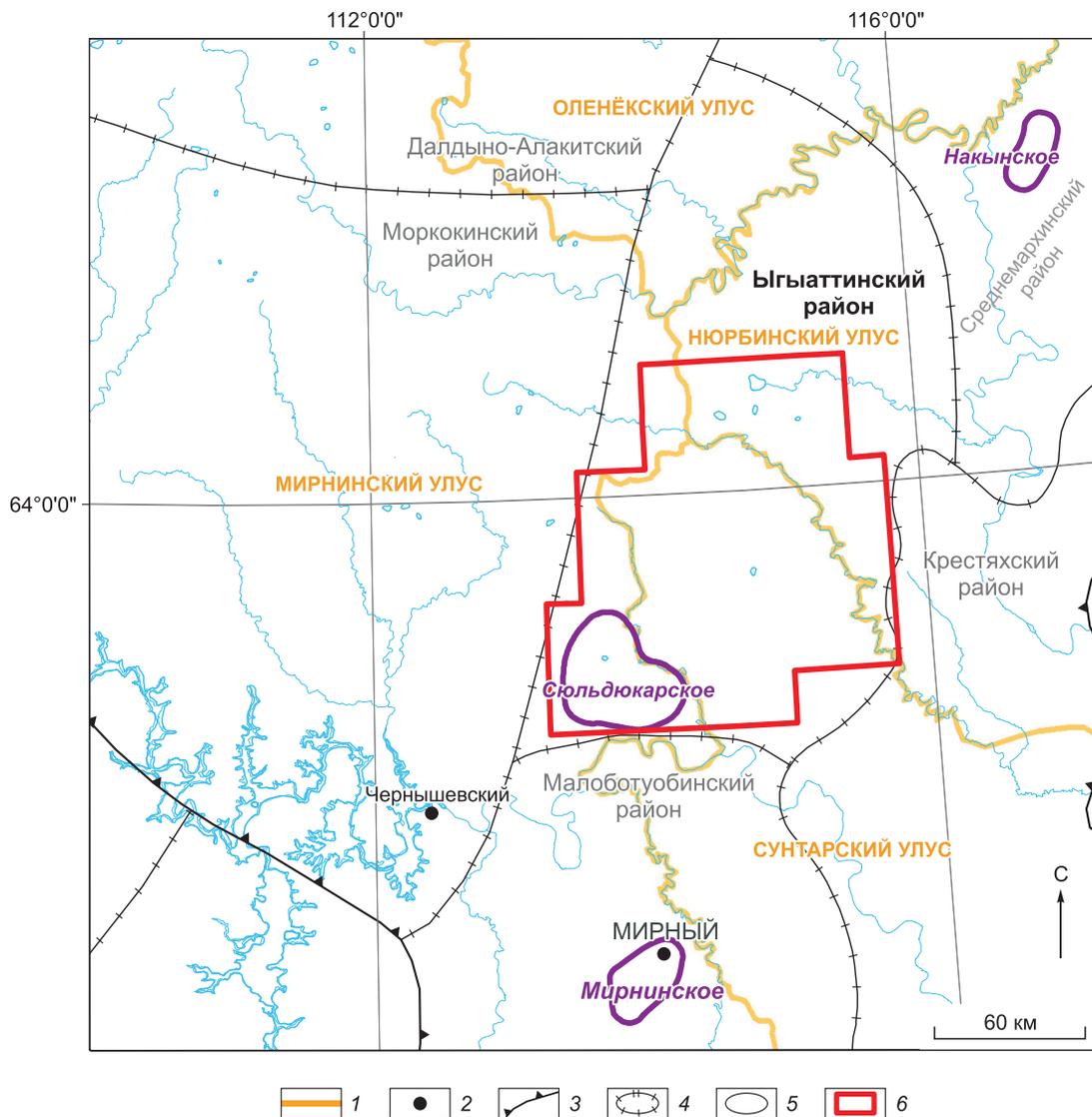


Рис. 1. Обзорная схема Ыгыаттинской площади, масштаб 1:300 000: 1 – административные границы районов РС(Я); 2 – населенные пункты; 3 – граница Якутской алмазоносной провинции; 4 – контуры алмазоносных районов; 5 – контуры известных кимберлитовых полей; 6 – Ыгыаттинская площадь

Fig. 1. Ygyatta Region review scheme, scale 1:300 000. 1 – administrative boundaries of RS(Ya) districts; 2 – localities; 3 – Yakutia Diamond-bearing Province boundary; 4 – diamond-bearing regions outlines; 5 – known kimberlitic fields outlines; 6 – Ygyatta Region

нерагенических и региональных работах, однако его применение при средне- и крупномасштабном минералогическом картировании дискуссионно: при расчете количества ИМК (в знаках) на стандартную пробу полностью игнорируются гранулометрические и весовые характеристики зерен ИМК, не учитываются литодинамические условия формирования коллекторов и накопление значительных количеств ИМК в благоприятных условиях (гравитационные ловушки).

Расчет весовых соотношений ИМК к общему весу аллотигенной составляющей тяжелой фрак-

ции (ТФ) позволяет разбросать реальные и ложные аномалии концентраций ИМК [1, 2]. На примере Мало-Ботуобинского алмазоносного района (МБАР) для отложений верхнего палеозоя Антипиным И.И. [1, 2] установлена минимально аномальная концентрация ИМК – 16 мг на 1000 мг аллотигенных минералов ТФ (16 %). Однако отдельные существующие в геологоразведочном комплексе АК «АЛРОСА» (ПАО) минералогические банки данных содержат информацию только о количестве и морфометрических характеристиках ИМК (до 5–10 % проб), а

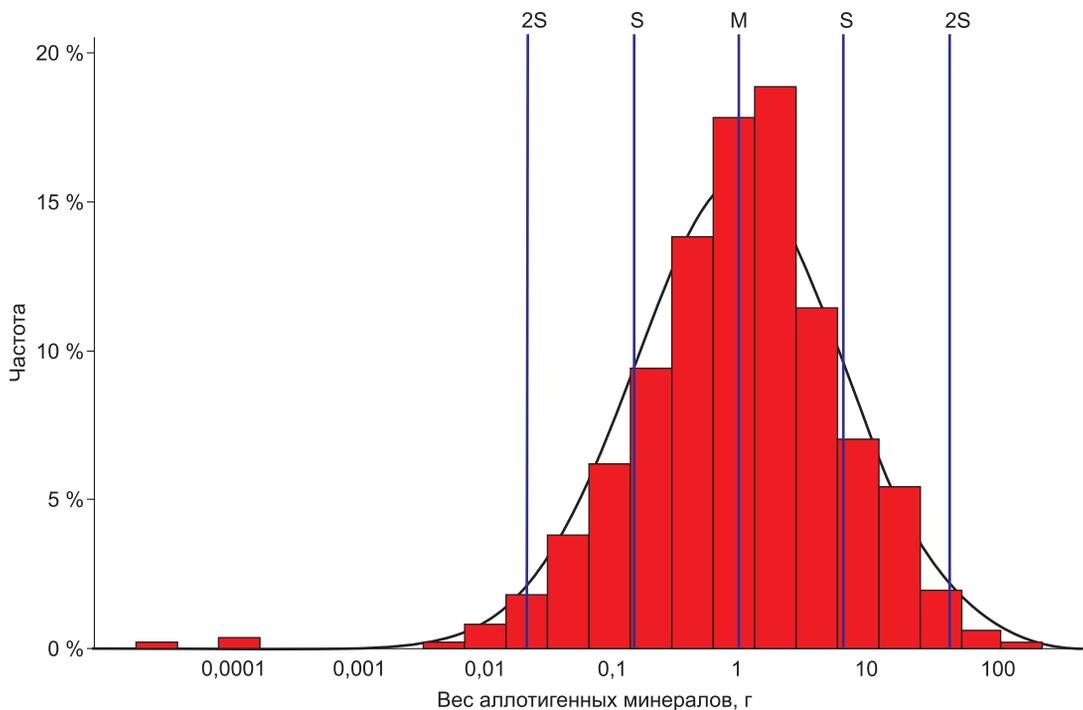


Рис. 2. Гистограмма распределения веса аллотигенных минералов ТФ базального горизонта верхнепалеозойских отложений Ыгыаттинского алмазоносного района (логарифмическая шкала)

Fig. 2. Histogram of weight distribution of allothigenic minerals of the Upper Paleozoic deposits of the Ygyatta Region (logarithmic scale)

не о весе ТФ. Особенно это характерно для банков «ретроданных», созданных во II половине XX в. Отсутствие информации обусловлено частичной утратой первичных материалов или недостаточным уровнем цифровизации аналоговых носителей информации.

С учетом распространения на территории прилегающих друг к другу Малоботуобинского и Ыгыаттинского районов одновозрастных терригенных коллекторов, формировавшихся в сходных литодинамических условиях, мы экстраполировали полученное минимально аномальное значение концентрации ИМК в ТФ на территорию Ыгыаттинского алмазоносного района.

Медианный вес аллотигенной составляющей ТФ в стандартной 10-литровой пробе на рассматриваемой территории составляет 1,0 г, что позволяет получить приблизительное число ИМК, соответствующее минимально аномальному значению. Такой подход позволяет не упускать из виду всю имеющуюся минералогическую информацию (рис. 2).

На исследуемой территории наиболее распространены ИМК гранулометрического класса

–1+0,5 мм. Вследствие этого приняты следующие параметры «среднего» зерна ИМК: диаметр – 0,75 мм, вес – 0,7 мг. Таким образом, минимально аномальное значение количества ИМК в стандартной пробе, соответствующее 16‰ ИМК ТФ, составляет ~25 знаков ИМК.

Крупные зерна ИМК концентрируются вблизи коренных источников [5, 6]. Обнаружение зерен крупных размеров может указывать на близость коренного источника. Преобладающие размеры ИМК в Ыгыаттинском районе составляет –1+0,5 мм, поэтому за минимально аномальное значение принимается одна находка зерна размером –2+1 мм.

Механический износ минералов указывает на суммарный путь, пройденный зерном от коренного источника до места захоронения [5]. При этом в континентальных условиях при транспортировке минералов направленными водными потоками степень механического износа действительно должна быть связана с удаленностью от коренных источников [4, 6]. Таким образом, обнаружение в пробе хотя бы одного зерна без признаков механического износа (0 и I классы)

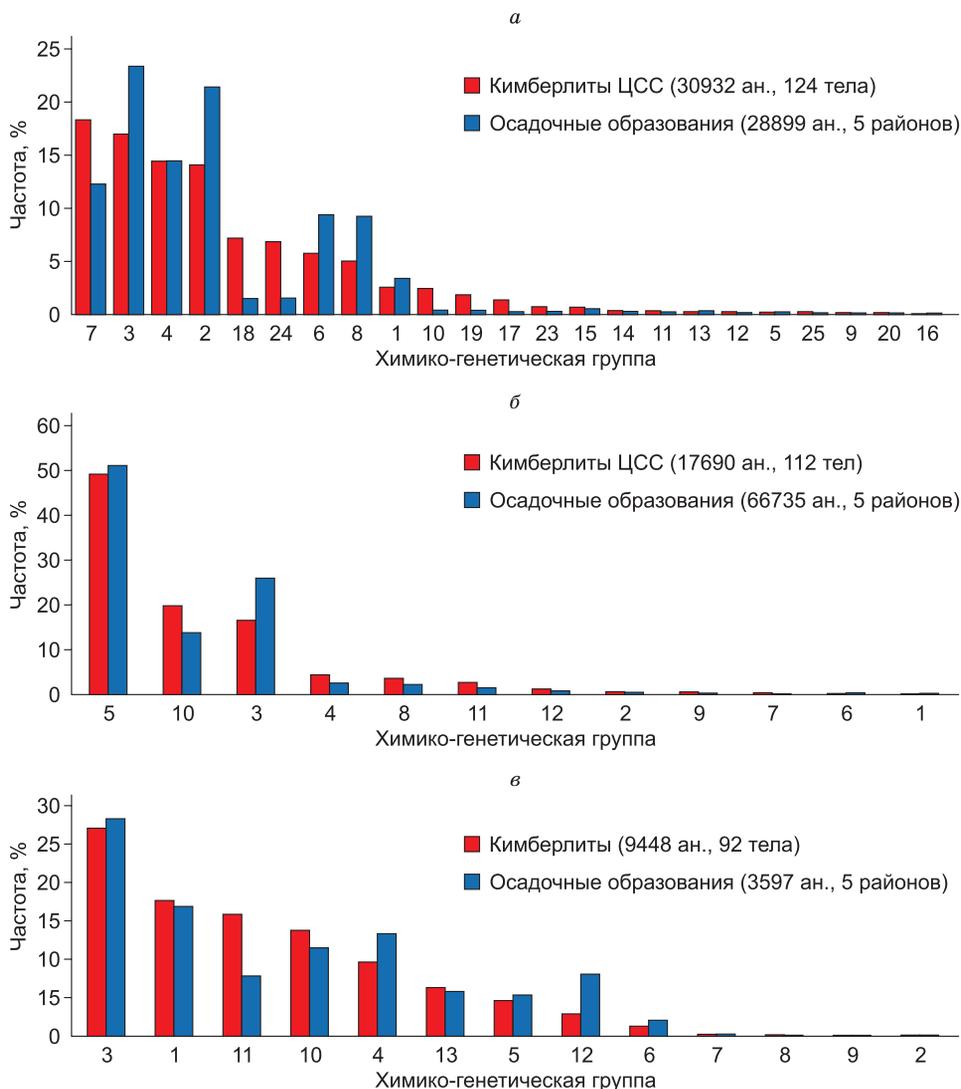


Рис. 3. Распределение ИМК из кимберлитов и осадочных образований Центрально-Сибирской субпровинции по химико-генетическим группам [6] пропорционально встречаемости: *а* – гранаты, *б* – ильменит, *в* – хромшпинелиды

Fig. 3. KIM chemical-genetic groups [6] distribution for kimberlite bodies and sediments of the Central Siberia Subprovince: *a*) garnet, *b*) ilmenite, *v*) chromspinelide

или слабо изношенного (II класс) зерна принимается за минимально аномальное значение.

Химический состав ИМК является одной из ведущих типоморфных характеристик, позволяющих идентифицировать возможные коренные источники и оценить их предполагаемую алмазность, сопоставив с уже известными [12]. Применяемые крупномасштабные минералогические критерии [19] сложно формализуются, и их визуализация в ГИС-средах затруднена. Решить эту проблему позволило применение химико-генетической классификации, предложенной В.К. Гараниным [7]. Для этого проанализировано распространение химико-генетиче-

ских групп в кимберлитах Центрально-Сибирской алмазонасной субпровинции и установлено, что для каждого ИМК существуют от двух (ильменит) до четырех (гранат, хромшпинелид) наиболее распространенных химико-генетических групп, которые составляют порядка 70 % от всех выборок (рис. 3).

В предлагаемой методике эти доминирующие химико-генетические группы отнесены к «фоновым». После выделения «фона» возникла необходимость в различении степени «аномальности».

Наиболее благоприятным минералогическим признаком является присутствие в отложениях ИМК, состав которых максимально близок к со-

Химико-генетические группы ИМК Центрально-Сибирской субпровинции по степени «аномальности» и их балльная оценка

Table 1

The anomaly grade of chemical-genetic groups KIM of Central-Siberian subprovince sediments and their rating

Характеристика	Номера химико-генетических групп			Рейтинг, балл
	гранатов	ильменита	хромшпинелидов	
Генетически связанные с алмазами, эклогитовые	16, 17, 18, 19, 20	–	–	8
Генетически связанные с алмазами	1	1, 2, 7, 8	1	7
Эклогитовые	22, 23	–	–	6
Редкие	5, 9, 10, 11, 12, 13, 14, 15	4, 6, 11, 12	2, 6, 7, 8, 9, 12, 13	5
Наиболее распространенные («фон»)	2, 3, 4, 6, 7, 8	3, 5, 10	3, 4, 5, 10, 11	1

ставу включений в алмазах [5, 7, 18, 20], они и формируют алмазную ассоциацию. По классификации В.К. Гаранина [7], алмазной ассоциации соответствуют: для гранатов и хромшпинелидов – первая химико-генетическая группа, для ильменита – первая, вторая, седьмая и восьмая. Таким образом, выделена первая группа по степени «аномальности» – химико-генетические группы «генетически связанные с алмазами».

Анализ распространения и химического состава гранатов в осадочных образованиях на территории Центрально-Сибирской субпровинции показал [5, 6, 24], что гранаты эклогитового парагенезиса встречаются в заметных количествах только на небольшом удалении от коренного источника, поэтому «эклогитовые» химико-генетические группы (ХГГ) гранатов (16–23) выделены нами отдельно.

Гранаты алмазной ассоциации эклогитового парагенезиса (ХГГ 16–20), таким образом, максимально «аномальны» (генетически связаны с алмазами и указывают на близость к коренному источнику), поэтому выделены в отдельную группу с максимальным рейтингом.

Следующая градация – «редкие» химико-генетические группы, частота встречаемости которых не превышает 7 %.

Таким образом, получены четыре группы по степени «аномальности» с оценкой в баллах (табл. 1).

Поскольку в расчет принимаются три минерала, точка, в которой отмечены только фоновые группы, будет иметь рейтинг в 3 балла, поэтому, во избежание перекрытия, принято решение принять минимально-аномальным значением 5 бал-

лов и присвоить его «редким» химико-генетическим группам.

Таким образом, для каждой горной выработки формируется индивидуальный «паспорт» с набором типоморфных характеристик ИМК. Анализ распределения фоновых и аномальных параметров для Бгыаттинской площади приведен в табл. 2. Всего на территории пройдено 1270 горных выработок, вскрывших осадки верхнепалеозойского возраста, аномальные концентрации ИМК в пробе выявлены в 27 %, в тяжелой фракции – в 18, высокосохранные ИМК – в 27 %. Химический состав ИМК изучен для 678 горных выработок, вскрывших верхнепалеозойские отложения, аномальные составы ИМК зафиксированы в 35 % от количества изученных.

Обсуждение результатов применения ГИС-системы цифровой базы минералогических данных

Для анализа пространственных геологических данных авторами создана ГИС-интегрированная база минералогических данных (*.gdb), содержащая ID ТН, объект, участок, номер линии, номер точки, координаты, тип выработки, общее количество находок ИМК, стратиграфическую разбивку, разделение по механическому износу и классу крупности, доли ИМК в весе ТФ, наличие микронзондовых анализов, разделение ИМК на химико-генетические группы, ранжирование ХГГ. Далее все выработки с находками ИМК разделены на «фоновые» и «аномальные» по значениям прогнозно-поисковых признаков.

С помощью конструктора Model Builder ArcGIS ArcMap 10.8.1 разработана модель управления

Распределение фоновых и аномальных параметров типоморфных особенностей ИМК для Ыгыаттинского алмазоносного района

Table 2

The distribution KIM baseline and anomaly typomorphic features for the Ygyatta Diamond-bearing Region

Типоморфные особенности ИМК	Выработки	
	Кол-во	%
Концентрация ИМК в пробе	1270	
Фоновая (<25 зн. на 10 л)	928	73
Аномальная (>25 зн. на 10 л)	342	27
Содержание ИМК в тяжелой фракции	1270	
Фоновое (< 16 ‰)	1040	82
Аномальное (>16 ‰)	230	18
Механический износ ИМК	1270	
Фон (III, IV кл.)	930	73
Аномалия (0, I, II кл)	340	27
Химический состав ИМК	678	
Фоновые ХГГ	442	65
Аномальные ХГГ	236	35

процессами обработки цифровых минералогических данных. В ее основе лежит использование полученных цифровых данных: контур площади, шлихоминералогические аномалии. Сам процесс состоит в построении равномерной сетки со следующими параметрами: ширина и высота ячейки – 2000 м (так как плотность сети бурения 2×2 км занимает >50 % всей площади), тип геометрии – Polygon. Далее происходит объединение шлихоминералогических аномалий с построенной сеткой и суммирование значений в каждой ячейке (рис. 4).

Анализ полученных цифровых данных позволил ранжировать территорию Ыгыаттинской площади по степени проявленности аномальных минералогических данных. При среднемасштабном прогнозировании производится минералогическое районирование на основе геолого-минералогического картирования масштаба 1:200 000, с выделением таксонов следующих уровней: минералогический район, узел, участок [1].

Применение данной модели позволяет выделить на территории ЫАР шесть минералогических узлов: Сюльдюкарский, Западный, Вос-

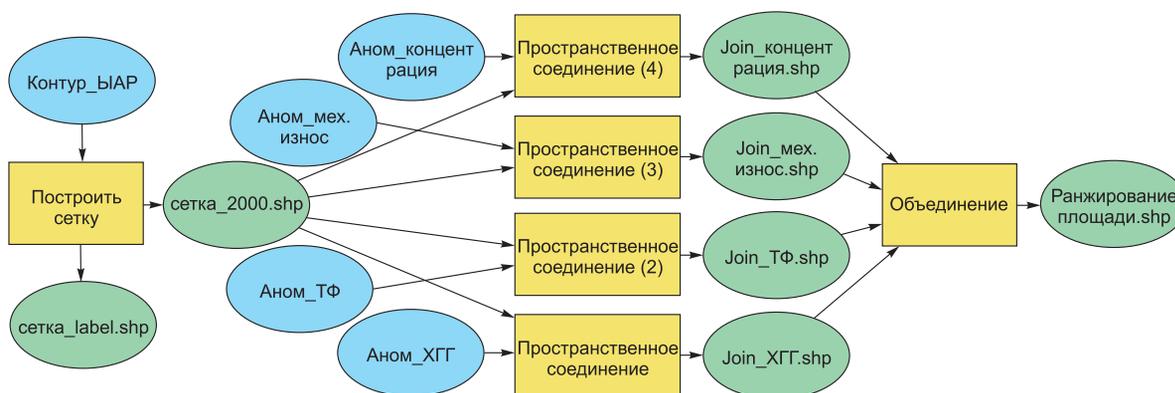


Рис. 4. Обработка минералогических цифровых данных при помощи ModelBuilder

Fig. 4. ModelBuilder processing for mineralogical digital data

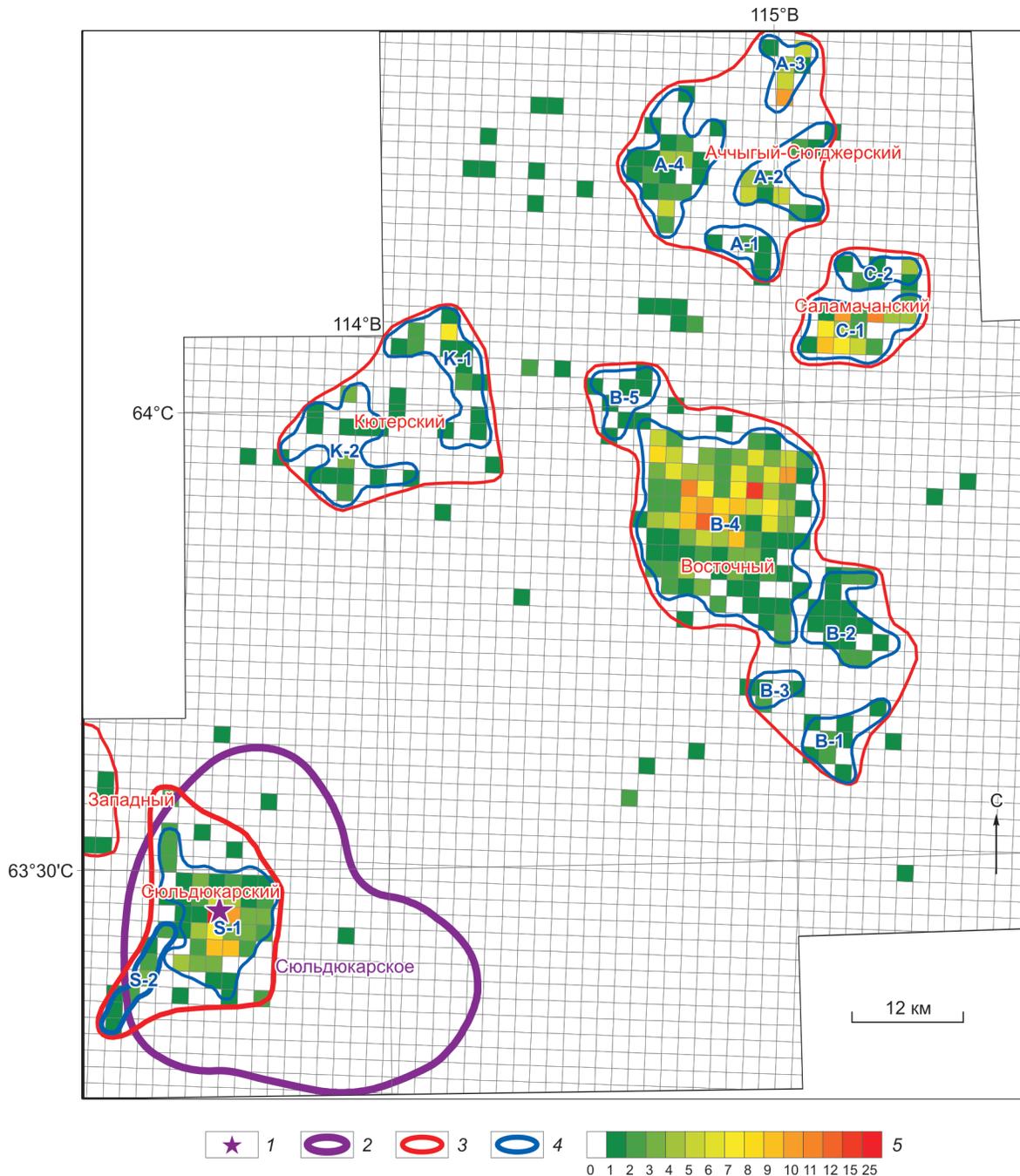


Рис. 5. Схема минералогического картирования южной части Ыгыаттинского района, масштаб 1:600 000: 1 – Сюльдюкарская кимберлитовая трубка, 2 – Сюльдюкарское кимберлитовое поле, 3 – контуры минералогических узлов PZ2, 4 – минералогические участки с названиями; 5 – ранжирование площадей по наличию шлихоминералогических аномалий

Fig. 5. Mineralogical regionalization scheme for southern part of the Ygyatta Region, scale 1:600 000. 1 – Syuldyukar kimberlitic pipe, 2 – Syuldyukar kimberlitic field, 3 – PZ2 mineralogical nodes outlines; 4 – mineralogical sections; 5 – ranking of areas with heavy-concentrated anomaly presence

точный, Кютерский, Саламачанский и Аччыгый-Сюгджерский, различающихся количественным соотношением ИМК в ассоциации и типоморфными характеристиками ИМК (рис. 5). Так, для Саламачанского минералогического узла харак-

терна ассоциация с преобладанием пикроильменита, для Кютерского и Восточного – увеличенная по сравнению с другими узлами доля гранатов, а для Сюльдюкарского и Западного узлов – преобладание хромшпинелидов над остальными

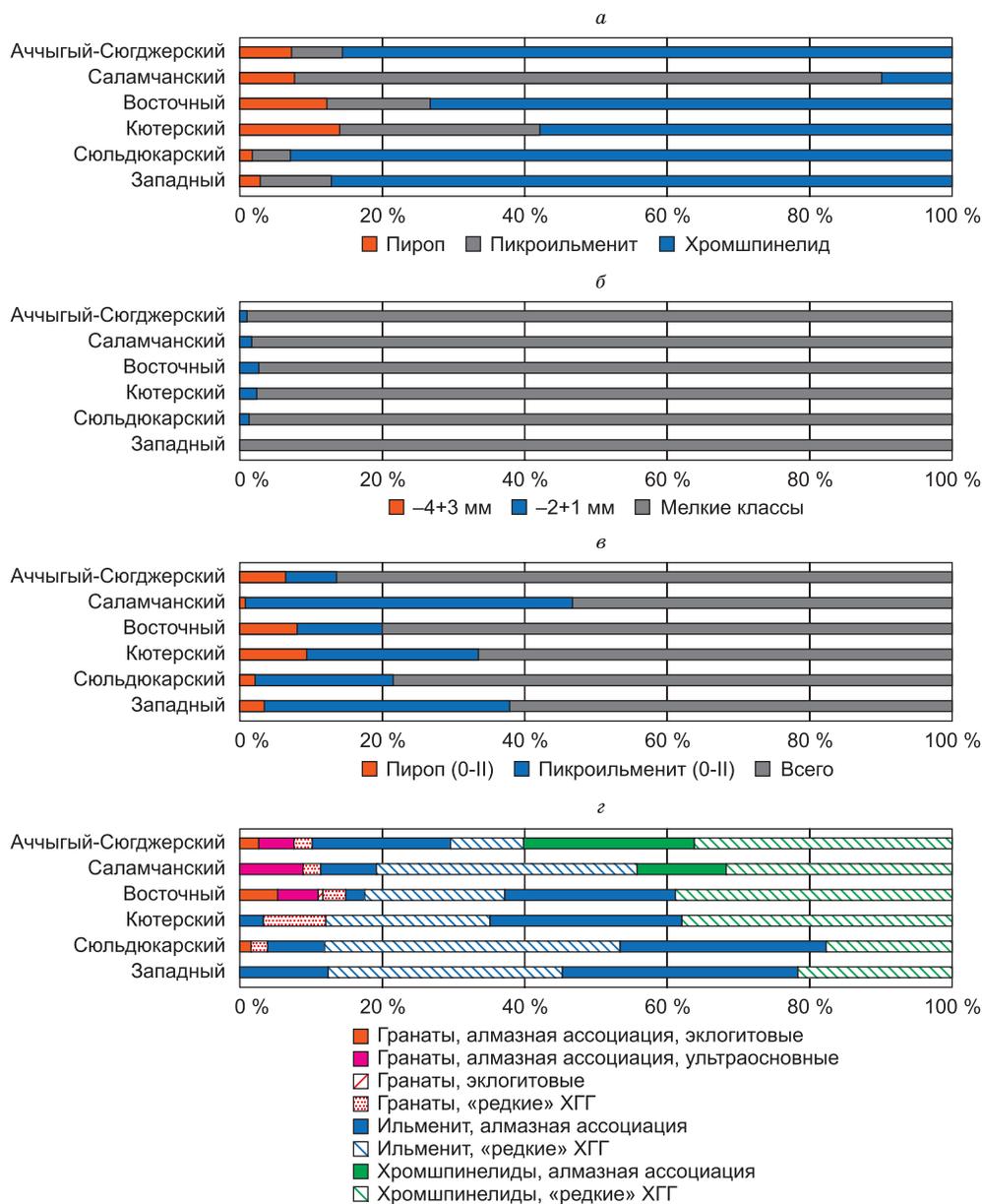


Рис. 6. Минералогические узлы Ыгыаттинского алмазоносного района: *а* – ассоциация; *б* – доля сохранных ИМК (0–II класс), %; *в* – доля ИМК размером +1мм, %; *з* – типохимические особенности ИМК

Fig. 6. *a*) Association; *б*) safe (0–II class) KIM percent; *в*) +1mm size KIM percent; *з*) KIM typochemical peculiarities of the Ygyatta Diamond-bearing Region mineralogical nodes

ИМК (рис. 6). Это может свидетельствовать о коренных источниках алмазов с разным соотношением индикаторных минералов на изучаемой территории. Крупные зерна ИМК наиболее часто встречаются в верхнепалеозойских отложениях Восточного и Кютерского минералогических узлов, сохранные – в пределах Саламчанского, Кютерского и Западного узлов.

Признаки близости кимберлитовых тел на основе химического состава ИМК наиболее про-

явлены на территории Восточного, Аччыгый-Сюгджерского, Кютерского и Сюльдюкарского минералогических узлов (см. рис. 6, з).

Таким образом, в Ыгыаттинском районе аномальными значениями определены следующие характеристики ИМК:

- концентрация ИМК в 10-литровой пробе – более 25 знаков;
- содержание ИМК в тяжелой фракции свыше 16 %;

- ИМК высокой степени сохранности (0–II класс);
- ИМК «аномальных» химико-генетических групп.

Использование ГИС-технологий и разработанной методики позволило сократить территорию поисков с 12 870 км² до 2627 км², поскольку за пределами выделенных минералогических узлов поиски представляются нецелесообразными.

Новый ГИС-интегрированный подход к оконтуриванию таксономических единиц «минералогический узел» и «минералогический участок», учитывающий максимально возможное количество (от двух до четырех) типоморфных особенностей ИМК осадочных коллекторов, позволил выделить не только вышеупомянутые минералогические узлы, но и 15 минералогических участков.

Заключение

Описанная нами методика минералогического картирования основана на выделении минералогических узлов и участков с использованием подхода «фон–аномалия». Предлагается формировать индивидуальный «паспорт» горной выработки с набором типоморфных характеристик ИМК посредством принятия минимально аномальных значений для каждого минералогического признака.

Для каждой горной выработки формируется индивидуальный «паспорт» с идентичным набором типоморфных характеристик ИМК, что позволяет оценить распределение параметров минералогического поля на площади в пределах выбранного возраста отложений и позволяет выполнять машинную обработку информации с выделением аномальных участков.

Применение статистических методов при обработке результатов минералогического анализа существенно облегчает обработку поступающей информации.

Методика может применяться не только при среднемасштабных, но и при крупномасштабных алмазопроизводственных работах, о чем свидетельствуют выделенные минералогические участки.

При применении методики в других алмазных районах необходимо учитывать специфику изучаемой площади. Стабильно аномальными значениями ИМК могут быть признаны только высокосохранные зерна ИМК и аномальные химико-генетические группы.

Список литературы / References

1. Антипин И.И., Антипин И.И., Тарасов И.О. Основные аспекты методики и технологии обработки шлихоминералогических материалов при поисках месторождений алмазов на закрытых территориях. *Наука и образование*. 2006;(4):24–30.

Antipin I.I., Antipin I.I., Tarasov I.O. Methodology and technology of mineralogical material processing basic aspects in the search of diamond deposits on closed territories. *Nauka i obrazovaniye*. 2006;(4):24–30. (In Russ.)

2. Антипин И.И., Антипин И.И. Особенности современных ореолов индикаторных минералов кимберлитов Якутии (по данным ретроспективного анализа исследований). *Наука и образование*. 2009;(2):9–13.

Antipin I.I., Antipin I.I. Peculiarities of recent kimberlite indicator minerals haloes in Yakutia. *Nauka i obrazovaniye*. 2009;(2):9–13. (In Russ.)

3. Антипин И.И., Антипин И.И. Среднемасштабное алмазопрогнозирование на примере Центрально-Сибирской субпровинции. *Руды и металлы*. 2018;(1):4–10.

Antipin I.I., Antipin I.I. Medium-scale diamond prospecting exemplified by the Central Siberian subprovince. *Ores and Metals*. 2018;(1):4–10. (In Russ.)

4. Афанасьев В.П., Зинчук Н.Н., Похиленко Н.П. *Морфология и морфогенез индикаторных минералов кимберлитов*. Новосибирск: Филиал «Гео» Издательства СО РАН, Издательский дом «Манускрипт»; 2001.

Afanasiev V.P., Zinchuk N.N., Pokhilenko N.P. *Morphology and morphogenesis of kimberlite indicator minerals*. Novosibirsk: Academic Publishing House “Geo”, Publishing House “Manuscript”; 2001. (In Russ.)

5. Афанасьев В.П., Зинчук Н.Н., Похиленко Н.П. *Поисковая минералогия алмаза*. Новосибирск: Академическое издательство «Гео»; 2010.

Afanas'yev V.P., Zinchuk N.N., Pokhilenko N.P. *Diamond prospecting mineralogy*. Novosibirsk. Academic Publishing House “Geo”; 2010. (In Russ.)

6. 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; 55(4):295–304. <https://doi.org/10.7868/S0016777013040023>

Afanas'yev V.P. Dispersion halos of kimberlite indicator minerals in the Siberian Platform: History and formation conditions. *Geology of Ore Deposits*. 2013;55(4):256–264. <https://doi.org/10.1134/S1075701513040028>

7. Гаранин В.К. *Минералогия кимберлитов и родственных им пород алмазоносных провинций России в связи с их генезисом и поисками*: Дис. ... докт. геол.-минерал. наук. М.; 2006. 551 с.

Garanin V.K. *Kimberlites and related rocks mineralogy of Russia diamondiferous provinces in connection*

with their genesis and search. Diss. ... Doct. Sci. Moscow; 2006. 551 p. (In Russ.)

8. Горев Н.И., Масленникова Э.А. Информативность шлихоминералогического метода поисков погребенных месторождений алмазов в Западной Якутии. *Эффективность геологоразведочных работ на алмазы: прогнозно-ресурсные, методические, инновационно-технологические пути ее повышения: Материалы V Всероссийской научно-практической конференции с международным участием, посвященной 50-летию Алмазной лаборатории ЦНИГРИ – НИГП АК «АЛРОСА» (ПАО), г. Мирный, 29 мая – 01 июня 2018 г.* Мирный; 2018:262–266.

Gorev N.I., Maslennikova E.A. Slimeminerological searching method informativity in the search of buried diamond deposits in Western Yakutia. *Efficiency of geological exploration for diamonds: Predictive, methodological, innovative, and technological ways for improvement: Materials of the 5th All-Russian Scientific and Practical Conference with international participation dedicated to the 50th anniversary of the Diamond Laboratory TSNIGRI – NIGP AK «ALROSA» (PAO), Mirny, May 29 – 01 June 2018.* Mirny; 2018:262–266. (In Russ.)

9. Зинчук Н.Н. Первичные минералы кимберлитов и районирование территорий для оценки их перспективности. *Эволюция биосферы и техногенез: материалы Всероссийской конференции с международным участием, г. Чита, 21–25 мая, 2022 г.* Чита; 2022:150–152.

Zinchuk N.N. Primary minerals of kimberlites and zoning of territories to assess their prospects. *Biosphere evolution and technogenesis. Proceedings of All-Russian conference with international participation, Chita, May 21–25.* Chita; 2022:150–152. (In Russ.)

10. Зинчук Н.Н. Типоморфные свойства индикаторных минералов кимберлитов и их использование при прогнозировании месторождений алмазов на Сибирской платформе. *Отечественная геология.* 2021;(2): 41–56. <https://doi.org/10.47765/0869-7175-2021-10012>

Zinchuk N.N. Typomorphic properties of kimberlite indicator minerals and their use in forecasting diamond deposits on the Siberian platform. *Otechestvennaya geologiya.* 2021;(2):41–56. <https://doi.org/10.47765/0869-7175-2021-10012>. (In Russ.)

11. 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):24–30.

Zinchuk N.N., Koptil' V.I., Boris E.I., Lipashova A.N. Typomorphysm of diamond from placers of Siberian Platform as a diamond deposits prospecting base. *Ores and Metals.* 1999;(3):24–30, (In Russ.)

12. Кудрявцева Г.П., Вержак В.В., Гаранин В.К. Повышение эффективности минералогических методов при проведении поисков алмазных месторожде-

ний. *Проблемы алмазной геологии и некоторые пути их решения.* АК «АЛРОСА» (ЗАО) Якутское научно-исследовательское геологоразведочное предприятие ЦНИГРИ; Воронежский государственный университет. Воронеж: Воронежский государственный университет; 2001:505–517.

Kudryavtseva G.P., Verzhak V.V., Garanin V.K. Increasing of mineralogical methods efficiency at prospecting of diamond deposits. *Problems of diamond geology and some ways to solve them.* АК «ALROSA» YANIGP TSNIGRI; Voronezh State University: Voronezh; 2001: 505–517. (In Russ.)

13. Мальцев М.В., Толстов А.В., Бережнев И.И. Условия локализации и критерии поисков кимберлитов (на примере Ыгыаттинского алмазоносного района, Западная Якутия). *Известия высших учебных заведений. Геология и разведка.* 2018;(6):41–49. <https://doi.org/10.32454/0016-7762-2018-6-41-49>

Maltsev M.V., Tolsov A.V., Berezhnev I.I. Conditions of localization and criteria for kimberlites exploration (on the example of Igyatta Diamondiferous Region, Western Yakutia). *Proceedings of higher educational establishments. Geology and Exploration.* 2018;(6):41–49. (In Russ.). <https://doi.org/10.32454/0016-7762-2018-6-41-49>

14. 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):86–94.

Maltsev M.V., Tolsov A.V., Fomin V.M., Starkova T.S. New kimberlite field in Yakutia and typomorphic especially its indicators minerals. *Voronezh university vestnik, Geology series.* 2016;(3):86–94. (In Russ.)

15. Масайтис В.Л., Эринчек Ю.М. Первые карты прогноза алмазоносности Сибирской платформы (1952–1954). *Региональная геология и металлогения.* 2005;(26):17–27.

Masaytis V.L., Erinchek Yu.M. The history of the first diamond-prediction maps of Siberian Platform (1952–1954). *Regional Geology and Metallogeny.* 2005;(26): 17–27. (In Russ.)

16. Проценко Е.В., Толстов А.В., Горев Н.И. Критерии поисков кимберлитов и новые перспективы коренной алмазоносности Якутии. *Руды и металлы.* 2018;(4):14–23.

Protsenko E.V., Tolstov A.V., Gorev N.I. Kimberlite prospecting criteria and new perspectives of Yakutia native diamondiferous. *Ores and Metals.* 2018;(4):14–23. (In Russ.)

17. Самданов Д.А., Афанасьев В.П., Тычков Н.С., Похиленко Н.П. Минералогическое районирование алмазоносных территорий: опыт применения парагенетического анализа гранатов из кимберлитов. *Доклады Академии наук.* 2016;467(2):192–195. <https://doi.org/10.7868/S0869565216080193>

Samdanov D.A., Afanas'ev, V.P., Tychkov N.S., Pokhilenko N.P. Mineralogical zoning of the diamond-

- diferous areas: Application experience of paragenetic analysis of garnets from kimberlites. *Doklady Earth Sciences*. 2016;467(1):228–231. <https://doi.org/10.1134/S1028334X16030120>.
18. Сарсадских Н.Н. Поиски месторождений алмаза по минералам спутникам. *Информационный сборник ВСЕГЕИ*. 1958;(5):122–132.
- Sarsadskikh N.N. Diamond deposits prospecting by accompanying minerals. *VSEGEI*. 1958;(5):122–132. (In Russ.)
19. Серов И.В., Никифорова А.Ю., Коршикова Л.Б. Повышение эффективности минералогических методов: районирование поисковых площадей на основе типоморфных особенностей МСА как основа прогноза на коренную алмазоносность. *Геологическое обеспечение минерально-сырьевой базы алмазов: проблемы, пути решения, инновационные разработки и технологии: Материалы IV Региональной научно-практической конференции, г. Мирный, 9–11 июня 2014*. Мирный; 2014:207–208.
- Serov I.V., Nikiforova A.Yu., Korshikova L.B. Improving the efficiency of mineralogical methods: zoning of prospecting areas based on typomorphic features of the diamond accompanying minerals as prospecting native diamond deposits base. *Geological support of the mineral resource base of diamonds: problems, solutions, innovative developments and technologies: Materials of the 4th Regional Scientific and Practical Conference, Mirny, June 9–11, 2014*. Mirny; 2014:207–208. (In Russ.)
20. Серов И.В., Граханов О.С., Кошкарев Д.А. *Прогнозирование и поиски коренных месторождений алмазов на Сибирской платформе: Методическое пособие*. Мирный: АЛРОСА; 2020.
- Serov I.V., Grachanov O.S., Koshkarev D. A. *Native diamonds deposits prospecting and search on Siberian platform: Guidance manual*. Mirny: ALROSA; 2020. (In Russ.)
21. Старкова Т.С., Муллаярова Л.С., Овчинников И.М., Остапенко Д.В., Толстов А.В. Новые кимберлиты Сьюльдюкарского поля (Ыгыаттинский алмазоносный район, Якутия). *Геология и минерально-сырьевые ресурсы Северо-Востока России: материалы XII Всероссийской научно-практической конференции, посвященной 65-летию Института геологии алмаза и благородных металлов Сибирского отделения РАН*. 2022:354–357.
- Starkova T.S., Mullayarova L.S., Ovchinnikov I.M., Ostapenko D.V., Tolstov A.V. The new kimberlites of the Suldyukar field (Ygyattinsky diamonds region, Yakutia). *Geology and mineral resources of North-East Russia: Materials of XII all-Russian scientific-practical conference devoted to the 65-year anniversary of Diamond and Precious Metal Geology Institute SB RAS*. 2022:354–357. (In Russ.)
22. Старкова Т.С., Мальцев М.В., Толстов А.В. Сравнительная характеристика минералов-индикаторов кимберлита и новые перспективы Ыгыаттинского алмазоносного района (Западная Якутия). *Известия высших учебных заведений. Геология и разведка*. 2019;(2):35–44.
- Starkova T.S., Maltsev M.V., Tolstov A.V. Comparative characteristics of indicator minerals of kimberlites and new perspectives diamond of the Ygyatta diamondiferous region (Western Yakutia). *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedeniy. Geologiya i razvedka*; 2019(2):35–44. (In Russ.)
23. Толстов А.В., Проценко Е.В. Подготовка площадей для поисков новых алмазоносных районов в Западной Якутии. *Научно-методические основы прогноза, поисков, оценки месторождений алмазов, благородных и цветных металлов. Сборник тезисов докладов IX Международной научно-практической конференции*. 2019:48–49.
- Tolstov A.V., Protsenko E.V. Preparation of areas for the search for new diamond-bearing areas in western Yakutia. *Scientific and methodological foundations of forecasting, prospecting, evaluation of diamond deposits, precious and non-ferrous metals. Proceedings of the 9th International Scientific and Practical Conference*. 2019: 48–49.
24. Толстов А.В., Проценко Е.В. Подготовка площадей для поисков новых алмазоносных районов в Западной Якутии. *Научно-методические основы прогноза, поисков, оценки месторождений алмазов, благородных и цветных металлов. Сборник тезисов докладов IX Международной научно-практической конференции, г. Москва, 17–19 апреля 2019 г.* М.:ЦНИГРИ; 2019:48–49.
- Tolstov A.V., Protsenko E.V. Preparation of areas for the search for new diamond-bearing areas in western Yakutia. *Scientific and methodological foundations of forecasting, prospecting, evaluation of diamond deposits, precious and non-ferrous metals. Proceedings of 9th International Scientific and Practical Conference, Moscow, April 17-19, 2019*. Moscow: TsNIGRI; 2019: 48–49. (In Russ.)
25. Юшкин Н.П. *Топоминералогия*. М.: Недра; 1982.
- Yushkin N.P. *Topomineralogy*. Moscow: Nedra; 1982. (In Russ.)

Об авторах

ШАХУРДИНА Надежда Константиновна, руководитель направления, <https://orcid.org/0000-0003-2894-7530>, e-mail: ShakhurdinaNK@alrosa.ru

ТАРСКИХ Оксана Васильевна, кандидат геолого-минералогических наук, эксперт, <https://orcid.org/0000-0002-1004-0546>, e-mail: TarskikhOV@alrosa.ru

N. K. Shakhurdina et al. ♦ The method of medium-scale mineralogical mapping during diamond searching...

КОЛЕСНИК Александр Юрьевич, ведущий геолог, <https://orcid.org/0000-0001-9623-321X>, e-mail: kolesnikau@yandex.ru

About the authors

SHAKHURDINA, Nadezhda Konstantinovna, Head of Research, <https://orcid.org/0000-0003-2894-7530>, e-mail: ShakhurdinaNK@alrosa.ru

TARSKIKH, Oksana Vasilievna, Dr. Sci. (Geol. and Mineral.), Expert, <https://orcid.org/0000-0002-1004-0546>, e-mail: TarskikhOV@alrosa.ru

KOLESNIK, Alexander Yurievich, Leading Geologist, <https://orcid.org/0000-0001-9623-321X>, e-mail: kolesnikau@yandex.ru

Поступила в редакцию / Submitted 17.02.2023

Поступила после рецензирования / Revised 19.04.2023

Принята к публикации / Accepted 25.04.2023