

НАУКИ О ЗЕМЛЕ

Общая и региональная геология, петрология и вулканология

УДК

<https://doi.org/10.31242/2618-9712-2022-27-3-335-345>

Новые возможности обработки геолого-геофизической информации на примере Сюльдюкарского кимберлитового поля (Якутия)

И. М. Овчинников¹, А. В. Толстов^{2,*}

¹АК «АЛРОСА» (ПАО), г. Мирный, Российская Федерация

²Институт геологии алмаза и благородных металлов СО РАН, г. Якутск, Российская Федерация

✉ *tols61@mail.ru

Аннотация

Приведены новые данные о структурном контроле первого кимберлитового тела в Сюльдюкарском поле Ыгыаттинского алмазоносного района в Западной Якутии, полученные на основе нового подхода к обработке геолого-геофизических данных – трехмерной компьютерной интерполяции. Благодаря современным технологиям обработки первичных данных получены результаты, свидетельствующие о высокой эффективности данного подхода и позволяющие скорректировать поисковые работы в пределах нового кимберлитового поля, а также всего Ыгыаттинского алмазоносного района.

Ключевые слова: Сюльдюкарское кимберлитовое поле, трехмерное моделирование, ГИС, гамма-каротаж

Для цитирования: Овчинников И.М., Толстов А.В. Новые возможности обработки геолого-геофизической информации на примере Сюльдюкарского кимберлитового поля (Якутия). *Природные ресурсы Арктики и Субарктики*. 2022;27(3):335–345. <https://doi.org/10.31242/2618-9712-2022-27-3-335-345>

New opportunities for processing geological and geophysical information: case study Syuldyukar kimberlite field (Yakutia)

I. M. Ovchinnikov¹, A. V. Tolstov^{2,*}

¹AK ALROSA (PJSC), Mirny, Russian Federation

²Diamond and Precious Metals Geology Institute, Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, Yakutsk, Russian Federation

✉ *tols61@mail.ru

Abstract

The article presents the data on the structural control of the first kimberlite body in the Syuldyukar field of the Ygyatta diamondiferous region in Western Yakutia. We applied a new approach to processing geological and geophysical data. Three-dimensional computer interpolation technology used for processing primary data indicate high efficiency of this approach and make it possible to correct prospecting within the new kimberlite field and the entire Ygyatta diamondiferous region.

Keywords: Syuldyukar kimberlite field, 3D modeling, well logging, gamma-ray logging

For citation: Ovchinnikov I.M., Tolstov A.V. New opportunities for processing geological and geophysical information: case study Syuldyukar kimberlite field (Yakutia). *Arctic and Subarctic Natural Resources*. 2022;27(3):335–345. (In Russ.) <https://doi.org/10.31242/2618-9712-2022-27-3-335-345>

Введение

В 2015 г. в прогнозируемом Сюльдюкарском кимберлитовом поле Ыгыаттинского алмазонос-

ного района геологами Ботуобинской ГРЭ АК «АЛРОСА» (ПАО) при заверке колонковым бурением геофизической аномалии Т-54, выделен-

ной геофизиком М.В. Покровским по результатам аэромагнитной съемки масштаба 1:10 000, было вскрыто первое алмазоносное кимберлитовое тело [8, 9], которое подтвердило многочисленные прогнозы предшественников на коренную алмазоносность Ыгыаттинского алмазоносного района [3, 10, 16–19]. Однако в дальнейшем, несмотря на интенсивные поисковые работы вблизи выявленного первого кимберлитового тела, на протяжении последующих семи лет в пределах Сюльдюкарского кимберлитового поля не было обнаружено новых тел, и это объясняется сложными геолого-поисковыми условиями (рис. 1). Территория нового поля в большей степени расположена в зоне развития вулканогенно-терригенных структур и комплексов, в пределах так называемого V геологического типа, при котором породы трапповой формации зачастую прорывают или бронируют подстилающие нижнепалеозойские толщи, в том числе вмещающие кимберлитовые тела. Это практически не позволяет использовать в полной мере традиционные площадные геофизические методы для выделения детальных аномалий ранга куст/тело [12–14, 16, 17]. Помимо этого, существует еще одна сложность, обусловленная тем, что в пределах Ыгыаттинского алмазоносного района основные концентрации индикаторных минералов кимберлита (ИМК) локализованы в каменноугольных отложениях ботубинской (C2-3bt) и пермских осадках ахтарандинской (P1ah) свит, которые обладают чрезвычайно низкой продуктивностью, связанной с особенностями их формирования в делювиально-пролювиальных условиях, не способствовавших накоплению алмазов и индикаторных минералов кимберлитов (ИМК) [11, 12].

Материалы

Оценочные работы в пределах нового кимберлитового тела, выявленного на геофизической аномалии Т-54-14, проводились путем бурения колонковых скважин по сети 40·20 м глубиной, в среднем 250 м, с применением эффективного комплекса геофизических исследований скважин (ГИС), зарекомендовавшего себя в геологоразведочном комплексе АК «АЛРОСА», включающего спектральный гамма-каротаж (СГК), скважинную магнитометрию (СМ), каротаж магнитной восприимчивости (КМВ) и индукционный каротаж (ИК) [2]. Положительную роль при выявлении кимберлитового тела сыграло расположение его в пределах так называемого траппово-

го окна, которое позволило выделить магнитную аномалию, обусловленную кимберлитами.

После выявления первого трубчатого тела в новом районе было предпринято его интенсивное изучение, увенчавшееся значительными успехами, о которых можно судить по многочисленным публикациями. Этому способствовали интенсивные геолого-поисковые работы с помощью колонкового бурения, охватившие всю территорию поля и района [8, 9, 11, 12]. На территории Сюльдюкарского кимберлитового поля с поисковой целью были пройдены скважины с различной густотой сети: от структурно-картировочных скважин по сети 2×2 км для уточнения структуры поля в пределах алмазоносного района до детальной треугольной сети через 250 м – для проведения радиоволновой геоинтроскопии непосредственно вблизи кимберлитового тела. Обширный объем геолого-геофизических данных, полученных при изучении нового кимберлитового тела, позволил, помимо осмысления результатов предшественников, провести дополнительный анализ полученной геолого-геофизической информации [2, 6–8, 10, 13–15, 20]. Новые возможности современных геоинформационных технологий оказали авторам при изучении незаменимую услугу, однако, несмотря на это, новых кимберлитовых объектов не было вскрыто.

Причиной низкой эффективности поисков на новом кимберлитовом поле можно считать применявшийся традиционный, во многом устаревший и не вполне соответствующий современным реалиям механизм обработки полученной информации, требующий кардинального пересмотра. Так, одной из поставленных задач при детальном изучении Сюльдюкарского кимберлитового поля являлась разработка методики трехмерного моделирования кимберлитового узла в особо сложных геологических условиях. В трехмерную модель была интегрирована вся геолого-геофизическая, минералого-петрографическая и геохимическая информация, полученная предшественниками и новыми данными за семилетний период поисковых работ, включающая и учитывающая данные геофизических, геохимических исследований, выполненных за это время по Ыгыаттинскому алмазоносному району (рис. 2) [11, 12, 14, 17]. Построение итоговой модели Сюльдюкарского кимберлитового поля проведено авторами в ГГИС Micromine (рис. 3).

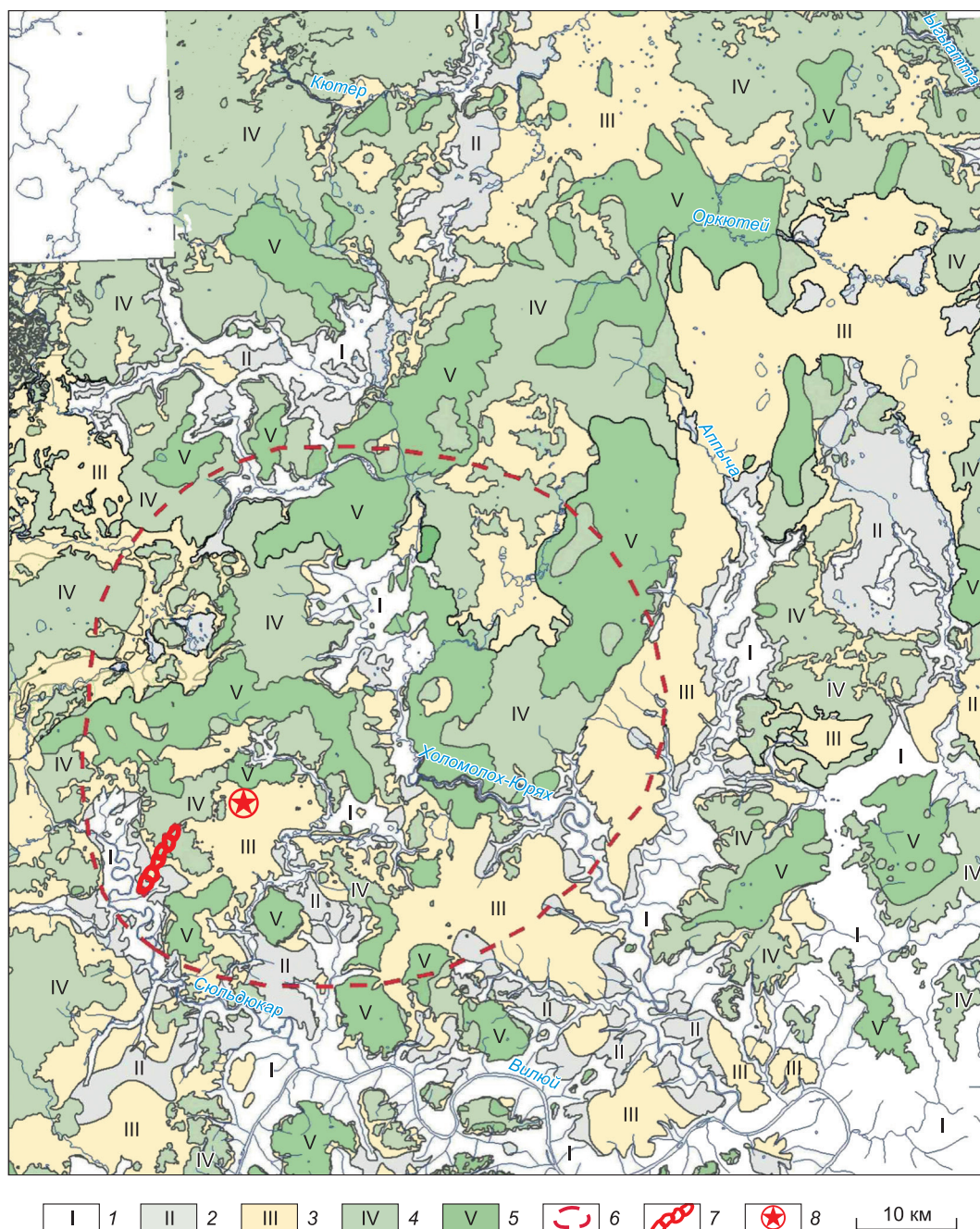


Рис. 1. Схема Сюльдюкарского поля по условиям ведения поисков [4]. 1–4 – типы площадей: 1 – с маломощными аллювиальными и делювиальными отложениями (до 3 м); 2 – развития терригенных отложений мощностью до 20 м; 3 – с мощностью от 20 до 200 м; 4 – преимущественно развития пород трапповой формации, залегающих на терригенных отложениях каменноугольного, пермского и триасового возрастов; 5 – развития пород трапповой формации залегающих непосредственно на карбонатных породах нижнего палеозоя; 6 – прогнозные контуры Сюльдюкарского кимберлитового поля; 7 – ореол рассеяния ИМК «Хатырык»; 8 – кимберлитовое тело.

Fig. 1. Scheme of the Syuldyukar field according to the conditions of conducting searches [4]. 1–4 – types of areas: 1 – with thin alluvial and deluvial deposits (up to 3 m); 2 – development of terrigenous deposits up to 20 m thick; 3 – with a thickness of 20 to 200 m; 4 – predominantly the development of rocks of the trap formation occurring on terrigenous deposits of the Carboniferous, Permian and Triassic ages; 5 – development of rocks of the trap formation occurring directly on the carbonate rocks of the Lower Paleozoic; 6 – forecast contours of the Syuldyukar kimberlite field; 7 – halo scattering IMC «Khatyryk»; 8 – kimberlite body.

В связи с неравномерностью полученной поисковой сети буровых скважин, интерполяция данных ГИС зачастую нуждается в корректировке и обладает весьма низкой достоверностью.

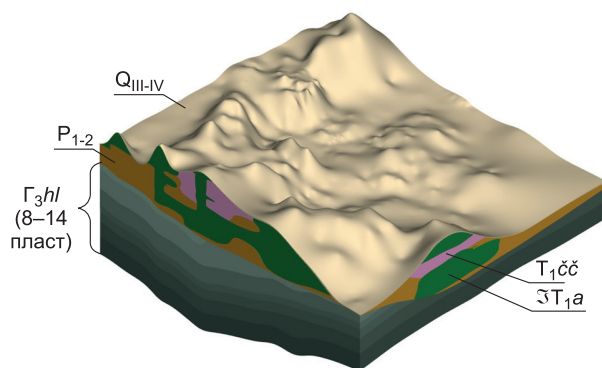


Рис. 2. Трехмерная каркасная модель Сюльдюкарского узла (вид модели в направлении на северо-восток).

Fig. 2. Three-dimensional wireframe model of the Syuldyukar node (northeast direction of the model).

Поэтому нами проведено построение и анализ детальной модели по ГИС непосредственно окорудного пространства кимберлитового тела. В качестве исходных данных для построения использована геолого-геофизическая информация по 27 поисково-оценочным скважинам по сети 40·20 м.

С целью выделения подсчетных блоков ранее геологической службой Вилуйской ГРЭ была построена трехмерная модель (каркас) Сюльдюкарского кимберлитового тела на основе данных документации оценочных скважин (см. рис. 3, а), для создания каркаса применена методика пого-

ризонтных срезов. Эта методика характеризуется своей простотой и для выделения подсчетных блоков в целом применима, однако в связи с частичным сглаживанием контуров рудного тела она не позволяет в полной мере учитывать тонкости строения кимберлитового тела сложной морфологии.

При исследовании окорудного пространства в пределах Средне-Мархинского и Ыгыатинского алмазоносных районов были использованы разработанные ранее Игнатовым П.А. принципиально новые для данного алмазоносного района методики, основанные на детальном геолого-геохимическом и структурно-тектоническом изучении вмещающих толщ и хорошо апробированные на других алмазоносных полях [5], позволяющие вполне уверенно прогнозировать возможное расположение новых кимберлитовых тел или отходящих от них апофизных жил на площади в ранге алмазоносного района и поля [4, 6]. Подобные же детальные геолого-геохимические исследования были выполнены нами и в пределах Сюльдюкарского поля. Результаты могут быть оценены весьма высоко [7].

Методика

С развитием геоинформационных систем появилась возможность использования более сложных алгоритмов построения каркасов. В настоящий момент набирает обороты построение кар-

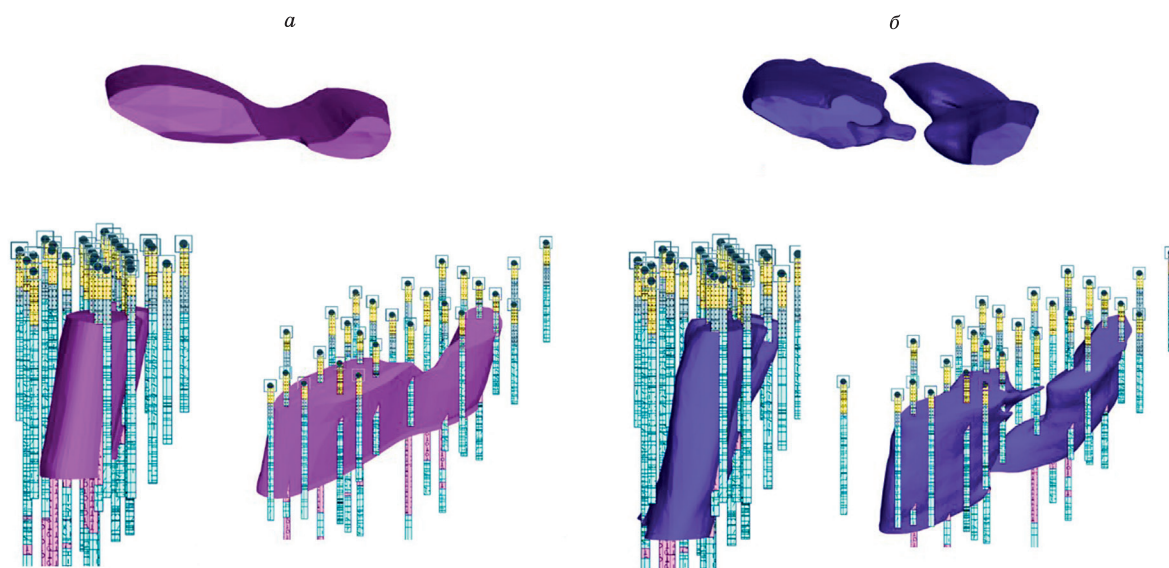


Рис. 3. Каркасы кимберлитового тела Т-54-14, построенные на основе геологической документации скважин (а – методом погоризонтных срезов; б – методом условного моделирования).

Fig. 3. Frameworks of the T-54-14 kimberlite body, constructed on the basis of geological documentation of wells (а – by horizontal sections method; б – by conditional modeling method).

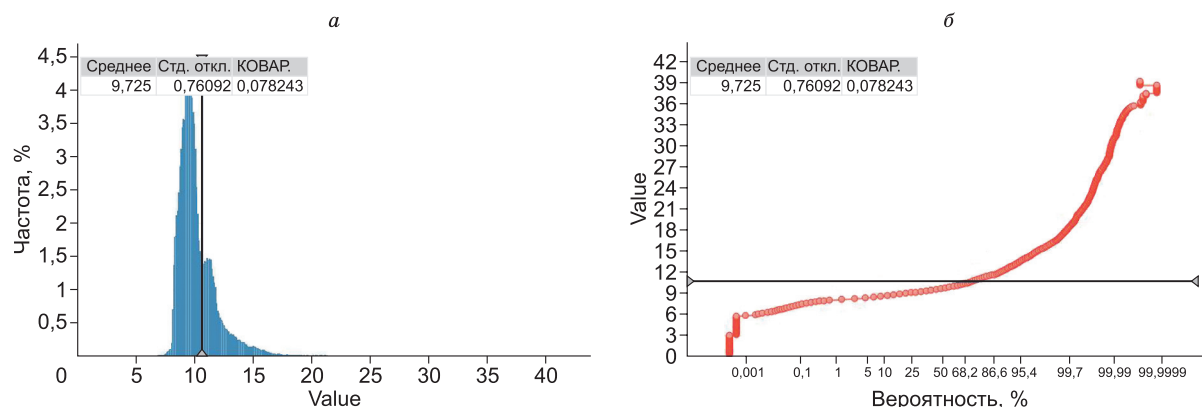


Рис. 4. Гистограмма (а) и график вероятности (б) распределения радиоактивности.

Fig. 4. Histogram (a) and graph of radioactivity distribution probability (b).

касов с помощью условного моделирования, основанного на применении расчета радиально-базисной функции. Данный способ позволяет разделить весь массив данных (облако точек) на три основных кластера: внутри рудного тела – 1; граница рудного тела – 0; вне рудного тела – (–1).

Эта методика условного моделирования позволяет построить каркас более детальным с учетом информации не по отдельным горизонтам, а в объеме, учитывая общий массив точек наблюдения. Таким образом был построен каркас Сюльдюкарского кимберлитового тела, существенно уточнивший его морфологию (см. рис. 3, б).

По результатам данного моделирования, Сюльдюкарская кимберлитовая трубка сложена двумя сопряженными телами (западным и восточным). Кимберлиты, выполняющие эти два тела, различаются некоторыми особенностями петрографического, минералогического, геохимического состава и их алмазонасностью [8, 9, 11, 12, 16]. Кимберлитовое тело имеет четко выраженное западное простирание (азимут около 280°) со средним углом падения 77° . Морфология тела близка к жильной, с единичными апофизами.

Интерпретация данных ГИС в ходе поисковых работ выполнена по традиционной схеме, в первую очередь с целью корреляции геофизических пластов и обнаружения разрывных нарушений и неравномерностей залегания карбонатного кимберлитовмещающего цоколя. Также в ходе интерпретации данных по поисково-оценочным скважинам геофизической службой Вилуйской ГРЭ была предпринята попытка построения трехмерной блочной модели кимберлитового тела по различным геофизическим параметрам, од-

нако, данная работа не выявила его ярких особенностей.

В ходе дополнительного анализа геофизической информации по данным каротажа скважин была построена блочная модель распределения радиоактивности пород. Гамма-каротаж был выбран как основной метод для определения параметров интерполяции блочной модели, поскольку среди всех методов ГИС он является наименее зависимым от конструкции скважин и имеет наименьшую дисперсию распределения.

Первоначально модель была построена только по радиоактивности карбонатных пород и кимберлитового тела в пределах поисково-оценочного участка. Проведен общий статистический анализ (рис. 4), который указывает на наличие двух отдельных популяций пород по радиоактивности: от 5 до 10,56 и от 10,56 до 22 мкР/ч. Пространственно данные группы выделяются также отчетливо. К первой группе относятся карбонатные породы кимберлитовмещающего цоколя, ко второй – коры выветривания карбонатных пород и западное тело Сюльдюкарской трубки, также частично восточное тело (рис. 5).

Для оценки близких околорудных изменений и выявления особенностей в карбонатных породах кимберлитовмещающего цоколя проведено изучение разрезов блочной модели вдоль и вкрест простирания кимберлитового тела Т-54-14 (рис. 6). В разрезе по азимуту 100° отчетливо выделяются оба тела трубки Т-54-14, характеризующиеся радиоактивностью центральных частей тел более 10 мкР/ч, относительно вмещающих пород, имеющих радиоактивность порядка 8 мкР/ч.

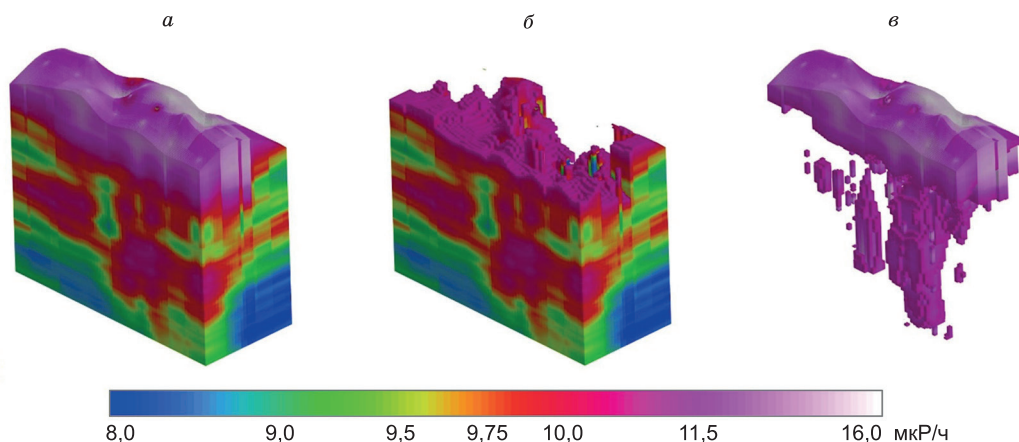


Рис. 5. Блочная модель (вид на юго-запад) радиоактивности кимберлитовмещающего цоколя в пределах поисково-оценочного участка Т-54-14. *а* – общая модель; *б* – первая группа (<10,56 мкР/ч); *в* – вторая группа (>10,56 мкР/ч).

Fig. 5. Radioactivity block model (south-west view) of the kimberlite-bearing basement within the prospecting and appraisal area T-54-14. *a* – general model; *b* – the first group (<10.56 μ R/hour); *c* – the second group (> 10.56 μ R / hour).

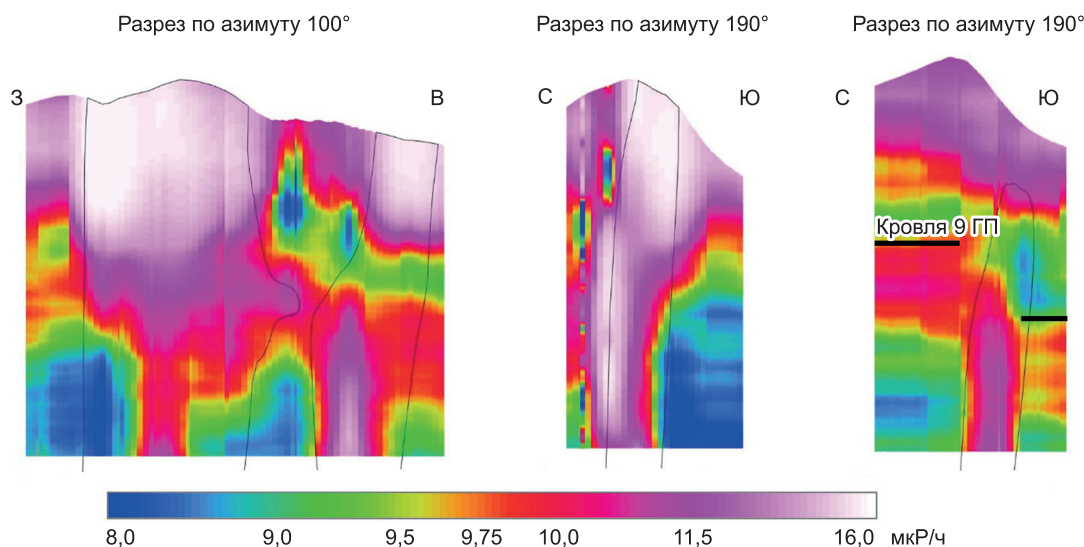


Рис. 6. Разрезы блочной модели радиоактивности кимберлитовмещающего цоколя в пределах поисково-оценочного участка аномалии Т-54-14.

Fig. 6. Sections of the radioactivity block model of the kimberlite-bearing basement within the prospecting and appraisal area of the anomaly T-54-14.

Кимберлиты Мирнинского, Далдынского и Алаakit-Мархинского полей обладают средними значениями гамма-активности, сопоставимыми с вмещающими породами (~ 10 мкР/ч), кимберлиты Накынского поля обладают радиоактивностью порядка 3–5 мкР/ч [1], это позволяет утверждать, что кимберлиты Сюльдюкарского тела в целом сопоставимы по радиоактивности с кимберлитами Мирнинского поля.

Разрез вкрест простирания западного тела в целом отображает морфологию тела лучше, чем восточное, в силу большей интенсивности радио-

активности, однако на разрезе вкрест восточного тела отмечается сбросовзбросовая структура, проявленная в опускании кровли 9 геофизического пласта южнее кимберлитового тела, амплитуда понижения составляет 10 м. Стоит отметить, что в современном рельефе кимберлитовмещающего цоколя Сюльдюкарское кимберлитовое тело проявлено локальным поднятием с превышением около 12 м.

Также, помимо данных ГК, были построены модели по КМВ и ИК. Однако, результаты данных построений представляют меньший инте-

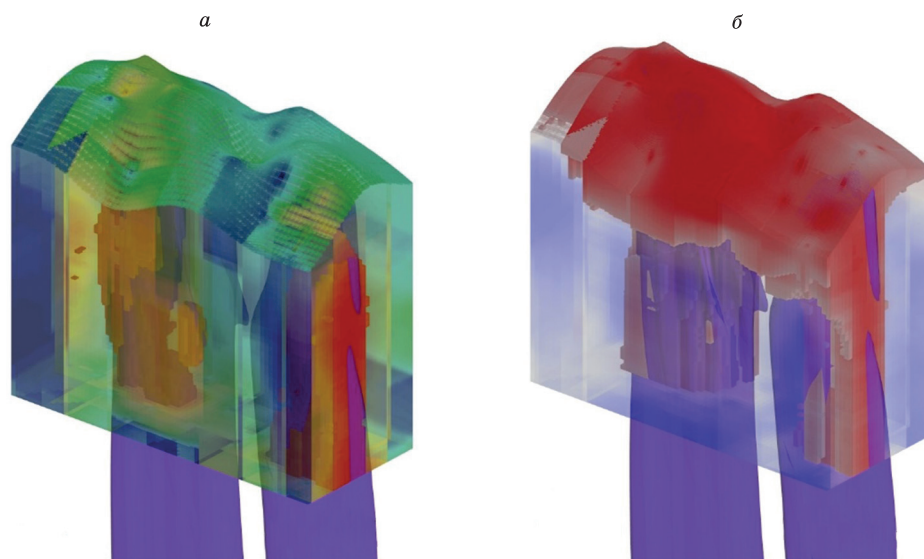


Рис. 7. Блочные модели по КМВ (а) и ИК (б).

Fig. 7. Block models for CMW (a) and IC (b).

рес вследствие их менее четкой наглядности. По данным КМВ отчетливо выделяются западное и восточное кимберлитовые тела, при значениях более $500 \cdot 10^{-5}$ ед. СИ. (рис. 7, а). По данным ИК аналогично ГК отчетливо выделяются коры выветривания и кимберлиты со значениями выше 23 мСм/м (рис. 7, б).

В конце 2021 г. в 170 м северо-западнее Сьюльдюкарской трубки наклонной скважиной НС-1, азимут 145° , наклон 75° на глубине около 200 м (рис. 8) была вскрыта новая жила кимберлита, расчетная мощность которой составила 0,17 м [15].

Замер элементов залегания кимберлитовой жилы показал, что угол падения в скважине НС-1 составляет 86° ; во вмещающих породах наблюдаются также микросбросы амплитудой порядка 0,78 см. Микросбросы и их системы возникают в локальных зонах растяжения [2]. При этом угол падения практически совпадает с углом падения Сьюльдюкарского кимберлитового тела.

Целевое назначение скважины НС-1, вскрывшей новую жилу, – заверка сейсмической аномалии на продолжении предполагаемого рудовмещающего кимберлитового тела разлома. Аналогичность кинематики микротектонических нарушений в керне скважины НС-1 и в околоскважинном пространстве нового кимберлитового тела позволяет идентифицировать простираание данной жилы аналогичным с простираанием основного кимберлитового тела (рис. 9). Кроме

того, кимберлиты, слагающие жилу НС-1, отличаются от пород Сьюльдюкарского тела по структурно-текстурным признакам, составу и представлены мелкопорфировыми разностями существенно карбонатного состава.

Среди ИМК в кимберлитах значительно преобладают пикроильмениты, доля пиропов и хромитов невысока. Состав и характер изменений пикроильменитов из жильных кимберлитов указывает на их низкую потенциальную алмазность. Предполагается, что жила, подсеченная скважиной НС-1, является частью прожилковой системы, обрамляющей и сопровождающей кимберлитовое тело Сьюльдюкарское [6]. Изучение и поиски новых кимберлитов продолжаются.

Выводы

1. Несмотря на то что традиционный комплекс ГИС, применяемый при поисках кимберлитовых тел, не дает возможности достоверно прогнозировать нахождение объектов в межскважинном пространстве, использование трехмерной интерполяции путем построения блочных моделей в условиях достаточно густой сети позволяет обнаружить тектонические нарушения малых амплитуд с определением их кинематики, влияющие на морфологию кимберлитовых тел.

2. Кимберлитовмещающее тектоническое нарушение, контролирующее размещение Сьюльдюкарского кимберлитового тела (аномалия Т-54-14),

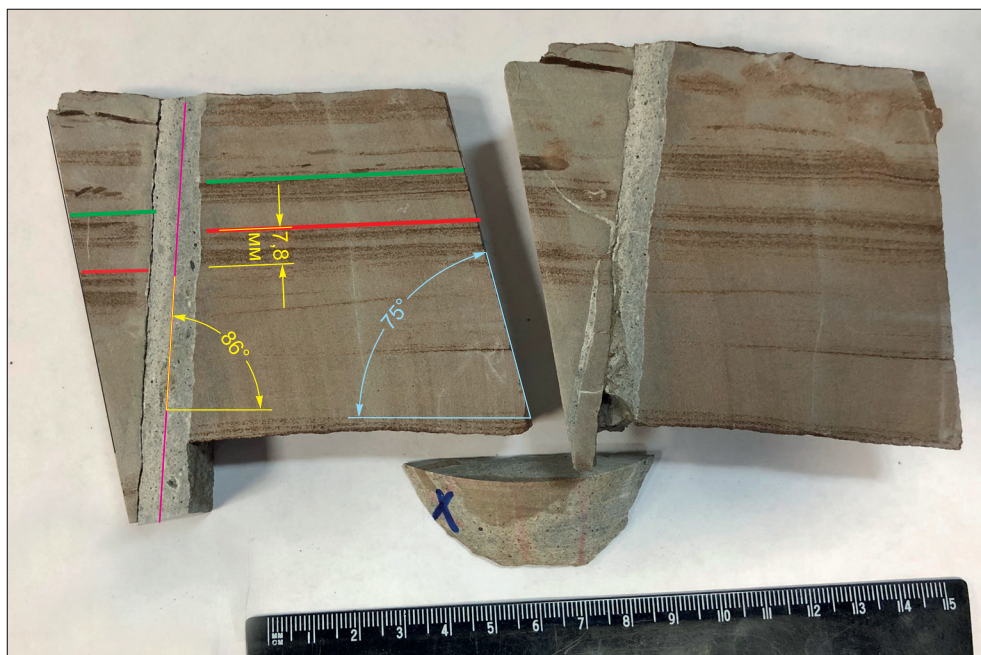


Рис. 8. Продольный спил образца керна из скважины НС-1 с глубины 208 м.

Fig. 8. Longitudinal cut of the core sample from the well NS-1, 208 m depth.

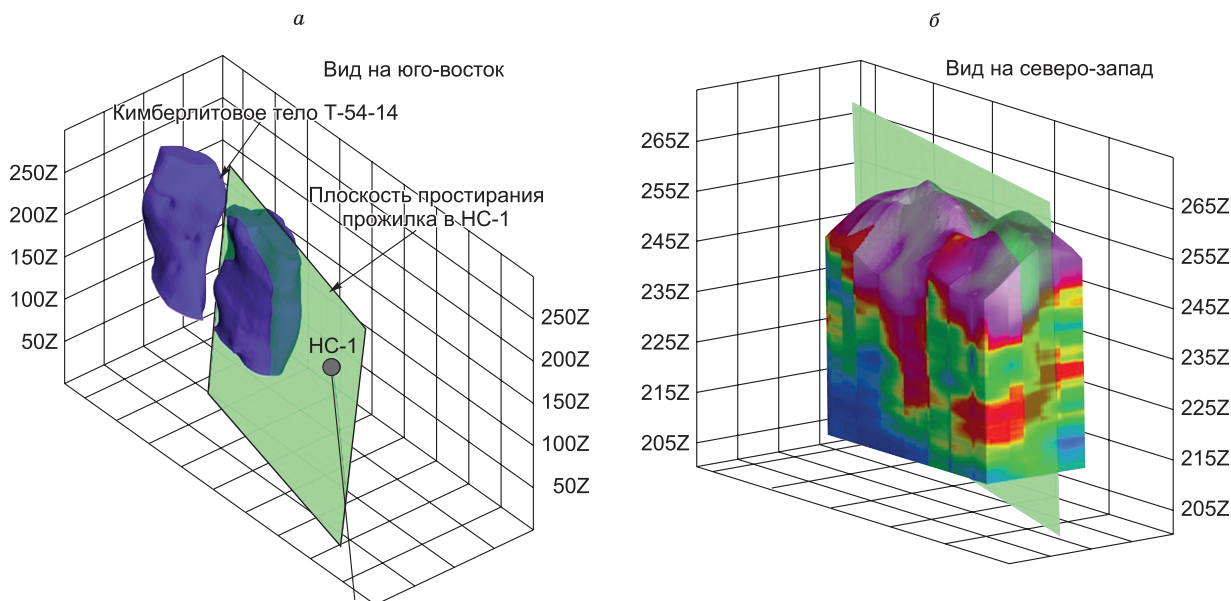


Рис. 9. Сопоставление плоскости развития жилы и Сюльдюкарского кимберлитового тела (*а* – основного тела, *б* – блочная модель по ГК).

Fig. 9. Comparison of the development plane of the vein and the Syuldyukar kimberlite body (*a* – the main body, *b* – block model according to the Civil Code).

наиболее вероятно, имеет простирание 280° , с крутым падением $75\text{--}86^\circ$. Данное нарушение имеет сложное строение и представляет сбросо-взбросовую систему. Локальное поднятие, к которому

приурочено кимберлитовое тело, вероятно, также обусловлено природой тектонического нарушения, однако вопрос о возрасте вертикальных движений на данный момент открыт.

3. Согласно выполненному моделированию, жила, вскрытая скважиной НС-1 к северо-западу от Сюльдюкарского кимберлитового тела, наиболее вероятно, приурочена к единой с основным телом разломной зоне. Это, в свою очередь, указывает на направление кимберлитовмещающего нарушения, что позволяет локализовать детальные прогнозные построения и, соответственно, скорректировать дальнейшие поисковые работы в пределах нового кимберлитового поля и всего Ыгыаттинского алмазного района.

Список литературы / References

1. Горев Н.И., Герасимчук А.В., Проценко Е.В., Толстов А.В. Тектонические аспекты строения Вилуйско-Мархинской зоны и их использование при прогнозировании кимберлитовых полей. *Наука и образование*. 2011;88(3):5–10.
[Gorev N.I., Gerasimchuk A.V., Protsenko E.V., Tolstov A.V. Tectonic aspects of the structure of the Vilyuisko-Markhinskaya zone and their use in predicting kimberlite fields. *Nauka i obrazovanie*. 2011;88(3):5–10. (In Russ.)]
2. Горев Н.И., Новопашин А.В., Герасимчук А.В., Проценко Е.В., Зайцевский Ф.К. Новая методика анализа геофизических данных при прогнозно-поисковых исследованиях в Накынском кимберлитовом поле (Западная Якутия). *Наука и образование*. 2016;82(2):7–15.
[Gorev N.I., Novopashin A.V., Gerasimchuk A.V., Protsenko E.V., Zaitsevsky F.K. A new technique for analyzing geophysical data in predictive and prospecting studies in the Nakyn kimberlite field (Western Yakutia). *Nauka i obrazovanie*. 2016;82(2):7–15. (In Russ.)]
3. Емельянов В.С., Толстов А.В., Борис Е.И. Новые данные о перспективах коренной алмазности Вилуйско-Мархинской зоны разломов. *Вопросы методики прогнозирования и поисков месторождений полезных ископаемых (применительно к объектам геологоразведочных работ АК «АЛРОСА»)*. ЯНИГП ЦНИГРИ. Якутск, 2004. С. 115–123.
[Emelyanov V.S., Tolstov A.V., Boris E.I. New data on the prospects for the primary diamond content of the Vilyuisko-Markhinskoy fault zone. *Questions of methods for forecasting and prospecting for mineral deposits. (in relation to the objects of geological exploration work of JSC «ALROSA»)*. YANIGP TsNIGRI. Yakutsk; 2004: 115–123. (In Russ.)]
4. Игнатов П.А., Бушков К.Ю., Штейн Я.И., Толстов А.В., Яныгин Ю.Т. Геологические и минералогическо-геохимические признаки структур, контролирующих алмазоносные кимберлиты Накынского поля Якутии. *Руды и металлы*. 2006;(4):59–67.
[Ignatov P.A., Bushkov K.Yu., Shtein Ya.I., Tolstov A.V., Yanygin Yu.T. Geological and mineralogical-geochemical signs of structures controlling diamond-bearing kimberlites of the Nakyn field of Yakutia. *Ores and metals*. 2006;(4):59–67. (In Russ.)]
5. Игнатов П.А., Новиков К.В., Бушков К.Ю., Толстов А.В. Реконструкция кинематики разломов на закрытых территориях по данным анализа микронарушений в керне. *Известия высших учебных заведений. Геология и разведка*. 2011;(3):55–60.
[Ignatov P.A., Novikov K.V., Bushkov K.Yu., Tolstov A.V. Reconstruction of the kinematics of faults in closed areas according to the analysis of microdisturbances in the core. *News of higher educational institutions. Geology and exploration*. 2011;(3):55–60. (In Russ.)]
6. Игнатов П.А., Новиков К.В., Шмонов А.М., Еремеев Р.В., Лисковская Л.В., Ковальчук О.Е., Толстов А.В. Оценка перспектив и локальное прогнозирование кимберлитов с помощью ГИС-технологий на закрытых территориях Накынского кимберлитового поля, Западная Якутия. *Руды и металлы*. 2012;(4):54–60.
[Ignatov P.A., Novikov K.V., Shmonov A.M., Eremeev R.V., Liskovaya L.V., Kovalchuk O.E., Tolstov A.V. Evaluation of prospects and local forecasting of kimberlites using GIS technologies in closed areas of the Nakyn kimberlite field, Western Yakutia. *Ores and Metals*. 2012;(4):54–60. (In Russ.)]
7. Игнатов П.А., Зарипов Н.Р., Толстов А.В., Колесник А.Ю., Мальцев М.В. Гидротермальная минерализация в осадочных породах кембрия как индикатор рудовмещающей структуры кимберлитов Сюльдюкарского поля Якутии. *Руды и металлы*. 2021;(1):93–105. DOI: 10.47765/0869-5997-2021-10006
[Ignatov P.A., Zaripov N.R., Tolstov A.V., Kolesnik A.Yu., Maltsev M.V. Hydrothermal mineralization in Cambrian sedimentary rocks as an indicator of the ore-bearing structure of kimberlites in the Syuldyukar field of Yakutia. *Ores and Metals*. 2021;(1):93–105. (In Russ.)]
8. Корнилова В.П., Специус З.В., Иванов А.С., Храмов А.А. Петрология кимберлитов первой трубки нового Сюльдюкарского поля. *Геология и минерально-сырьевые ресурсы Северо-Востока России*, Якутск, 05–07 апреля 2017 года. Якутск: Издательский дом СВФУ; 2017. С. 302–307.
[Kornilova V.P., Spetsius Z.V., Ivanov A.S., Khramtsov A.A. Petrology of kimberlites of the first pipe of the new Syuldyukar field. *Geology and mineral resources of the North-East of Russia*, Yakutsk, April 05–07, 2017. Yakutsk: NEFU Publishing House; 2017:302–307. (In Russ.)]
9. Мальцев М.В., Толстов А.В., Фомин В.М., Старкова Т.С. Новое кимберлитовое поле в Якутии и типоморфные особенности его минералов-индикаторов. *Вестник ВГУ. Серия: Геология*. 2016;(3):86–94.
[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 VGU. Series: Geology*. 2016;(3):86–94. (In Russ.)]
10. Мальцев М.В., Толстов А.В., Фомин В.М., Минин В.А. Перспективы выявления новых кимберли-

тов на Вилуй-Мархинском междуречье (Западная Якутия). *Месторождения алмазов: процессы формирования, закономерности локализации, методы прогнозирования и поисков*. ИГМ СО РАН, Новосибирск; 2016:76–80.

[Maltsev M.V., Tolstov A.V., Fomin V.M., Minin V.A. Prospects for the discovery of new kimberlites in the Vilyui-Markhin interfluvium (Western Yakutia). *Diamond deposits: formation processes, localization patterns, forecasting and prospecting methods*. IGM SB RAS, Novosibirsk; 2016:76–80. (In Russ.)]

11. Мальцев М.В., Толстов А.В., Старкова Т.С., Иванов А.С. Особенности вещественного состава кимберлитов Сюльдюкарского поля (Западная Якутия). *Наука и образование*. 2017;88(4):37–43.

[M.V. Maltsev, A.V. Tolstov, T.S. Starkova, A.S. Ivanov. Features of the Matter of the Suldyukar Field Kimberlites (Western Yakutia). *Nauka i Obrazovanie*. 2017; 88(4):37–43. (In Russ.)]

12. 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. DOI: 10.32454/0016-7762-2018-6-41-49

[Maltsev M.V., Tolstov A.V., Berezhnev I.I. Localization conditions and criteria for searching for kimberlites (on the example of the Ygyatta diamondiferous region, Western Yakutia). *Proceedings of higher educational establishments. Geology and Exploration*. 2018;(6): 41–49. (In Russ.)]

13. 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. DOI: 10.24411/08695997201810009

[Protsenko E.V., Tolstov A.V., Gorev N.I. Criteria for the search for kimberlites and new prospects for the primary diamond content of Yakutia. *Ores and Metals*. 2018;(4):14–23. (In Russ.)]

14. Симоненко В.И., Толстов А.В., Васильева В.И. Новый подход к геохимическим поискам кимберлитов на закрытых территориях. *Разведка и охрана недр*. 2008;(4-5):108–112.

[Simonenko V.I., Tolstov A.V., Vasil'eva V.I. A new approach to the geochemical search for kimberlites in closed areas. *Exploration and protection of mineral resources*. 2008;(4-5):108–112. (In Russ.)]

15. Старкова Т.С., Муллаярова Л.С., Овчинников И.М., Остапенко Д.В., Толстов А.В. Новые кимберлиты Сюльдюкарского поля (Ыгыаттинский алмазоносный район, Якутия). *Геология и минерально-сырьевые ресурсы Северо-Востока России: Материалы XII Всероссийской научно-практической конференции, посвященной 65-летию ИГАЮМ Сибирского от-*

деления РАН, Якутск, 23–25 марта 2022 года. Якутск: СВФУ им. М.К. Аммосова; 2022. С. 354–357.

[Starkova T.S., Mullayarova L.S., Ovchinnikov I.M., Ostapenko D.V., Tolstov A.V. New kimberlites of the Syuldyukar field (Ygyatta diamond-bearing region, Yakutia). *Geology and mineral resources of the North-East of Russia: Proceedings of the XII All-Russian scientific and practical conference dedicated to the 65th anniversary of the IGAUM of the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences*, Yakutsk, March 23–25, 2022. Yakutsk: M.K. Ammosov NEFU; 2022:354–357.]

16. Толстов А.В., Разумов А.Н., Гончаров Е.М., Шерстяных А.И. Перспективы выявления и разведки нового типа коренных месторождений алмазов в Якутской алмазоносной провинции. *Алмазы Сибири и Арктических регионов мира – история, настоящее и будущее. VI Международный горно-геологический форум «МИНГЕО СИБИРЬ 2012»*. Красноярск; 2012: 153–164.

[Tolstov A.V., Razumov A.N., Goncharov E.M., Sherstyanykh A.I. Prospects for the discovery and exploration of a new type of primary diamond deposits in the Yakutsk diamond province. *Diamonds of Siberia and the Arctic regions of the world – history, present and future. VI International mining and geological forum «MINGEO SIBERIA 2012»*. Krasnoyarsk; 2012:153–164. (In Russ.)]

17. Толстов А.В., Фомин В.М., Разумов А.Н., Гончаров Е.М. Новые подходы к поискам месторождений алмазов в Якутской алмазоносной провинции. *Збірник наукових праць Українського державного геологоровідвального інституту*. 2013;(1):154–160.

[Tolstov A.V., Fomin V.M., Razumov A.N., Goncharov E.M. New approaches to prospecting for diamond deposits in the Yakutsk diamondiferous province. *Collection of scientific works of the Ukrainian State Geological Institute*. 2013;(1):154–160. (In Russ.)]

18. Lapin A.V., Tolstov A.V., Antonov A.V. Sr and Nd isotopic compositions of kimberlites and associated Rocks of the Siberian craton. *Doklady Earth Sciences*. 2007; 414(1):557–560.

19. Lapin A.V., Tolstov A.V., Vasilenko V.B. Petrogeochemical characteristics of the kimberlites from the Middle Markha region with application to the problem of the Geochemical heterogeneity of Kimberlites. *Geochemistry International*. 2007;45(12):1197–1209.

20. Sobolev N.V., Tomilenko A.A., Kuz'min D.V., Logvinova A.M., Bul'bak T.A., Fedorova E.N., Nikolenko E.I., Reutskii V.N., Sobolev A.V., Batanova V.G., Grakhanov S.A., Kostrovitskii S.I., Yakovlev D.A., Anastasenko G.F., Tolstov A.V. Prospects of search for diamondiferous kimberlites in the Northeastern Siberian platform. *Russian Geology and Geophysics*. 2018;59(10): 1365–1379.

Об авторах

¹ОВЧИННИКОВ Илья Максимович, эксперт управления планирования производства, e-mail: OvchinnikovIM@alrosa.ru

²ТОЛСТОВ Александр Васильевич, доктор геолого-минералогических наук, главный научный сотрудник, Researcher ID: O-2643-2013, <https://orcid.org/0000-0002-6057-5987>, e-mail: tols61@mail.ru

Аффилиация

¹АК «АЛРОСА» (ПАО), 678170, г. Мирный, ул. Московская, 9А, Российская Федерация

²Институт геологии алмаза и благородных металлов СО РАН, 677007, г. Якутск, пр. Ленина, 39, Российская Федерация

About the authors

¹OVCHINNIKOV Ilya Maksimovich, Expert of Production Planning Department, e-mail: OvchinnikovIM@alrosa.ru

²TOLSTOV Aleksandr Vasilevich, Dr. Sci (Geology and Mineralogy), Chief Researcher, Researcher ID: O-2643-2013, <https://orcid.org/0000-0002-6057-5987>, e-mail: tols61@mail.ru

Affiliation

¹PJSC «ALROSA», 9A Moskovskaya st., Mirny 678170, Russian Federation

²Diamond and Precious Metals Geology Institute, Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, 39 Lenina pr., Yakutsk 677007, Russian Federation

Поступила в редакцию / Submitted 20.07.2022

Поступила после рецензирования / Revised 10.08.2022

Принята к публикации / Accepted 22.08.2022