

УДК 550.380; 553.078.2

DOI 10.31242/2618-9712-2018-24-2-29-38

Петромагнитные неоднородности стресса: прикладное следствие Виллари-эффекта

К.М. Константинов^{*,**}, А.А. Киргуев^{*}, М.С. Хороших^{*}

^{*}Научно-исследовательское геологическое предприятие АК «АЛРОСА» (ПАО), Мирный, Россия

^{**}Институт земной коры СО РАН, Иркутск, Россия
konstantinovkm@alrosa.ru

Аннотация. Практика геолого-геофизических работ на территории Якутской кимберлитовой провинции показала, что поиски коренных месторождений алмазов по окружающим их зонам эпигенеза сталкиваются с трудностями получения доказательств причин изменения вмещающих пород карбонатного цоколя, которые определяются многообразием проявления физических и химических процессов. Это порождает неоднозначность интерпретации геолого-геофизических материалов и, как следствие, ведет к пропуску перспективных на кимберлитовые тела участков или заверку заведомо бесперспективных территорий дорогостоящим бурением. Таким образом, чтобы целенаправленно вести поиски кимберлитов, необходимо знать характеристики химических, физических и т. п. эффектов, генетически связанных со структурами диатремовой ассоциации. Становление кимберлитов оказывает, главным образом, динамическое воздействие на вмещающие ее геологические образования. В результате Виллари-эффекта (изменение магнитных свойств тела при его деформации) в осадочных горных породах зоны динамического влияния кимберлитового тела образуются петромагнитные неоднородности стресса, отличающиеся от стерильных пород карбонатного цоколя специфическими значениями параметров анизотропии магнитной восприимчивости (АМВ). Этот эффект целесообразно использовать в качестве петрофизического поискового критерия присутствия на перспективных участках кимберлитовых тел. Ранее подобные изменения параметров АМВ от давления с целью решения прикладных геолого-геофизических задач не проводились и выполнены авторами впервые.

Ключевые слова: Виллари-эффект, анизотропия магнитной восприимчивости, петрофизический поисковый критерий, кимберлитовая трубка, карбонатный цоколь.

DOI 10.31242/2618-9712-2018-24-2-29-38

Petromagnetic heterogeneities of stress: applied corollary of Villari effect

K.M. Konstantinov^{*,**}, A.A. Kirguyev^{*}, M.S. Khoroshikh^{*}

^{*}Geo-Scientific Research Enterprise of «ALROSA» (PJSC), Mirny, Russia

^{**}Institute of the Earth Crust SB RAS, Irkutsk, Russia
konstantinovkm@alrosa.ru

Abstract. Practice of geologic-geophysical works in the territory of the Yakut kimberlite province showed that search of radical diamond fields in the zones of epigenesis surrounding them interferes with difficulties of obtaining proofs of the reasons of change of the containing breeds of a carbonaceous socle, which are defined by a variety of manifestation of physical and chemical processes. It generates ambiguity of interpretation of geologic-geophysical materials and, as a result, leads to omission of promising sites with kimberlite

bodies, or authentication of obviously unpromising territories by expensive drilling. Thus, in order to purposefully conduct searches for kimberlites, it is necessary to know characteristics of chemical, physical, etc. effects genetically related to structures of diatreme association. Becoming of kimberlites has, mainly, the dynamic effect on the surrounding geological formations. As a result of the Villari effect (the change in the magnetic properties of the body during its deformation), in the sedimentary rocks of the zone of dynamic influence of the kimberlite body, petromagnetic heterogeneities of stress are formed that differ from the sterile rocks of the carbonaceous socle by specific values of parameters of anisotropy of magnetic susceptibility (AMS). This effect is advisable to use as a petrophysical search criterion of presence of promising areas of kimberlite bodies. Earlier, such changes of the AMS parameters because of pressure, for the purpose of solving applied geologic-geophysical problems, were not carried out and were performed by the authors for the first time.

Key words: Villari effect, anisotropy of magnetic susceptibility, petrophysical search criterion, kimberlite pipe, carbonaceous socle.

Введение

В настоящее время в методике поисков коренных месторождений алмазов на закрытых территориях (4–5 геотипов) в Якутской кимберлитовой провинции все больше используются косвенные (геолого-геофизические) признаки [1]. По мнению ряда исследователей [2, 3], одним из таких признаков могут служить зоны эпигенетически измененных вмещающих кимберлитовые тела осадочных пород карбонатного цоколя нижнего палеозоя. Зоны эпигенеза, прежде всего, должны характеризоваться «аномалиями» в значениях геохимических, минералогических, а также петрофизических параметров. Однако результаты этих исследований по обнаружению перспективных на наличие кимберлитовых тел участков более чем скромные. Это зависит не только от недостаточной точности методов, но и от неоднозначности интерпретации полученных данных, на которые могут влиять не только кимберлиты, но и траппы, «горелики» и другие геологические объекты и процессы. Таким образом, задача обнаружения

кимберлитовых тел заключается в установлении тех или иных эффектов, вызванных трубками взрыва во вмещающих породах.

Процессы внедрения кимберлитов сопровождаются мощным динамическим воздействием на вмещающие породы, о чем свидетельствуют наблюдаемые в приконтактных околотрубочных зонах повышенная трещиноватость, брекчирование, зеркала скольжения и т. п. признаки деформаций (рис. 1) [4]. Следовательно, одним из важнейших факторов внедрения кимберлитовых тел является высокое направленное давление (стресс). В этом случае, согласно Виллари-эффекту¹ [5], следует ожидать изменения магнитных свойств вмещающих осадочных горных пород.

Одним из доказательств нашего предположения служит деформация границ магнитных доменов ферромагнитных минералов в результате повышения давления (рис. 2) [6]. Естественно, проводить сравнение доменных структур ферромагнетиков под микроскопом с целью установления процессов эпигенеза не имеет смысла,

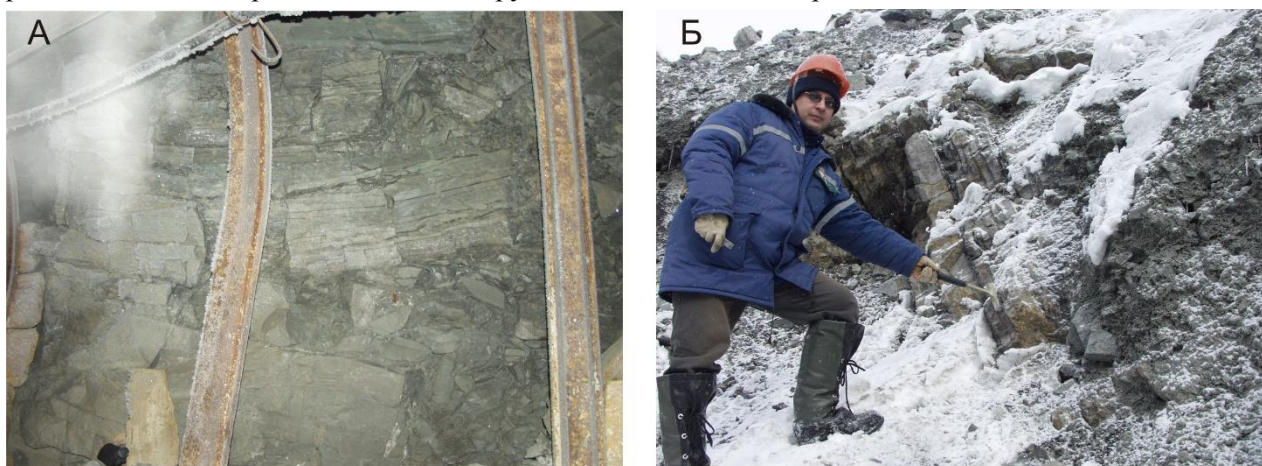


Рис. 1. Приконтактные деформации пород карбонатного цоколя с кимберлитами трубок Айхал (А) и Комсомольская (Б)

Fig. 1. Contact of breeds of a carbonaceous socle with kimberlites of pipes Aykhal (A) and Komsomolskaja (B)

¹ Виллари-эффект – изменение намагниченности ферромагнетиков под давлением (эффект, обратный явлению магнитострикции). Открыт итальянским физиком Э. Виллари в 1868 г.

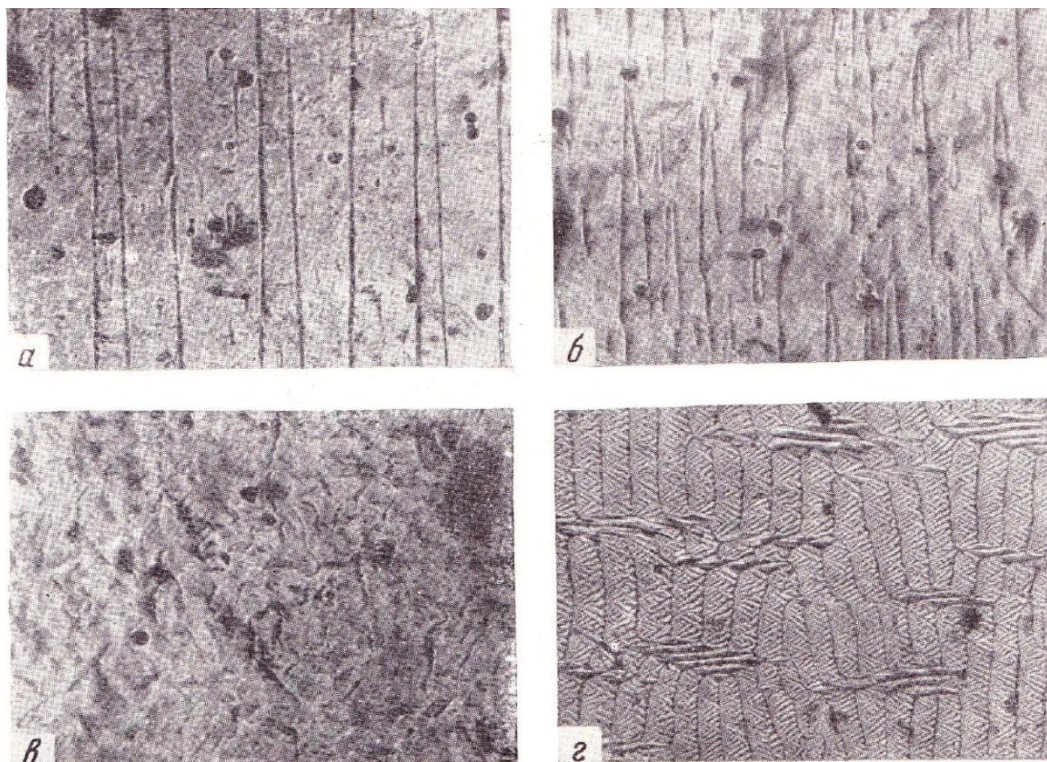


Рис. 2. Изменение доменной структуры под действием напряжений [6]: а – $F=0$; б – $F=8$; в – $F=12,5$; г – $F=19$ кг/мм²

Fig. 2. Change of a domain structure under the influence of tension [6]: а – $F=0$; б – $F=8$; в – $F=12,5$; д – $F=19$ kg/mm²

поскольку мы не знаем их исходных форм. Выходом из создавшейся ситуации может служить метод изучения анизотропии магнитной восприимчивости (АМВ), который позволяет проводить измерения петрографической структуры горных пород с целью определения их происхождения и эволюции [7].

Теоретические представления. Как известно, гидродинамические силы, действующие в процессе формирования первичных структур осадочных и магматических пород, достаточно похожи [7]. Благодаря им и более поздним процессам диагенеза и эпигенеза, минералы образуют в горных породах специфические магнитные текстуры относительно направления движения «потока» (осадочного, магматического, теплового, динамического и др.). Любые изменения горных пород можно впоследствии интерпретировать с точки зрения преобладающей формы зерен и степени их кристаллического выравнивания. Таким образом, в породе совсем не обязательно должны наблюдаться специфические признаки «деформации». Этот факт позволяет применять магнитно-текстурный метод (к которому относится исследование АМВ), благодаря его высокой точности и скорости получения результатов, в более крупных масштабах и для решения более широкого круга геоло-

го-геофизических задач, нежели большинство обычных методов.

В силу своего формирования и преобразования величина магнитной восприимчивости (χ) в разных направлениях может существенно различаться вследствие анизотропии среды. Более наглядно АМВ можно представить в виде эллипсоида, где она достигает наивысшей интенсивности вдоль длинной оси K_1 , средней – вдоль оси K_2 , а наименьшей – вдоль короткой оси K_3 [8]. Кроме того, имеются многочисленные параметры величины АМВ для определения формы эллипсоида, например:

- степень анизотропии $P = P_2 = \frac{K_1}{K_3}$,

- линейная анизотропия $P_1 = L = \frac{K_1}{K_2}$,

- плоскостная анизотропия $P_3 = F = \frac{K_2}{K_3}$,

- параметр формы $T = \left[\frac{2 \ln(K_2 / K_3)}{\ln(K_1 / K_3)} \right] - 1$.

Тела сплюсненной формы имеют положительные значения ($0 < T \leq 1$), тогда как отрицательные значения ($-1 \leq T < 0$) характерны для тел удлинённой формы. Для нейтральных эллипсоидов, по форме напоминающих так называемые плоскодеформированные эллипсоиды, используемые геологами-структурщиками, $T=0$.

Большой массив данных АМВ можно представить в виде специальных графиков (рис. 3), например: зависимости линейности L от плоскости F и/или степени анизотропии P от формы T , т. к. эти графики аналогичны графикам деформаций, обычно применяемым в структурной геологии. Направления главных осей эллипсоида АМВ обычно указываются на равновеликой стереограмме нижнего полушария. Такие стереограммы дают возможность быстро различать трёхмерные, сплюсненные и удлинённые эллипсоиды, а также позволяют наносить одновременно и другие важные для интерпретации признаки (векторы намагниченности, простирающие тел, кливаж, трещиноватость и т. п.). К наиболее значимым из них относится *плоскость магнитного расслоения* (ПМР), которую образуют большие оси $K1$ и $K2$.

Практические результаты измерений АМВ терригенно-осадочных образований нижнего-среднего палеозоя показаны на рис. 3. Так (рис. 3, А) для алевропесчаников аппаинской свиты позднего девона D_{3ap} из обн. 24 (р. Ыгыатта) характерен «осадочный» тип анизотропии – $P \approx 5,5\%$, ПМР субгоризонтальная, $T=0,943$ (плоскодеформированный эллипсоид), а фигуративные точки лежат в области плоскостной анизотропии $F=1,047$, что заметно превышает значение линейной анизотропии $L=1,001$.

Анализ материалов, полученных по осадочным отложениям разного возраста (поздний докембрий, палеозой или мезозой) и литологического состава (песчаники, алевролиты или известняки), показал, что для первичной магнитной текстуры эпигенетически стерильных осадочных пород характерны, главным образом:

- относительно пониженные значения ($P < 7\%$);
- преобладание плоскостной анизотропии ($F \gg L$);
- сплюсненный или трехмерный эллипсоид ($T \rightarrow 1$).

Очевидно, что существенные отклонения данных параметров АМВ от приведенных критериев могут быть связаны с эпигенезом вмещающих кимберлитовые тела осадочных пород [9–11]. Например (рис. 3, Б), для алевропесчаников аппаинской свиты позднего девона D_{3ap} из обн. 26 (р. Ыгыатта) характерен «даечный» тип анизотропии – ПМР субвертикальная северо-восточного простираения, ось $K1$ – субвертикальная (низкая скорость образования $< 1 \text{ см/с}$), $T=-0,879$ (удлинённый эллипсоид), а

фигуративные точки лежат в области линейной анизотропии – $L=1,025 \gg F=1,002$.

«Даечный» тип АМВ может свидетельствовать в пользу температурного воздействия на объект со стороны поздних магматических процессов, в результате чего возникают *петромагнитные неоднородности* (ПМН) зон обжига (ПМН 2 типа) [12, 13]. Кроме изменения типа анизотропии, ПМН зон обжига характеризуются повышенными значениями гистерезисных параметров и наличием среднетемпературной метакристаллической компоненты вектора естественной остаточной намагниченности. Но поскольку образцы не несут явных признаков ороговикования, мы не можем это утверждать с высокой степенью вероятности.

Здесь следует отметить тот факт, что законы распределения скалярных параметров T , F и L , полученные для вертикального керна, не зависят от ориентации образца (см. пары эпигенетически стерильных (рис. 3, А, Г) и измененных (рис. 3, В, Д) вмещающих терригенно-осадочных пород). Этот вывод весьма важен для интерпретации материалов АМВ керна, полученного в результате площадного бурения, поскольку оно ведется без керноскопа и отбора ориентированных образцов.

Объекты исследования. Для получения динамического эффекта АМВ в качестве объекта исследования выбраны базальты эмяксинской свиты раннего карбона C_{1et} , поскольку они обладают «осадочным» типом анизотропии [11] и, что важно для надежной регистрации эффекта, имеют по сравнению с осадочными отложениями повышенные прочностные свойства (до 35–40 кН).

Методика работ. Измерения АМВ горных пород выполнены на многофункциональном каппа-мосте МФК1-FA (AGICO, Чехия). Давление создавалось с помощью гидравлического испытательного пресса ВМ-3.4 (ВЗ «Эталон», РФ) вдоль меридиональной оси кубика N.

Результаты эксперимента демонстрируют следующие эффекты (рис. 4), характеризующие ПМН стресса осадочных пород:

- тип АМВ остается «осадочным», т. н. трехмерный эллипсоид (рис. 4, А);
- значения α не меняются (рис. 4, Б);
- повышение степени анизотропии P (рис. 4, Б, В);
- параметр формы эллипсоида T изменился из сплюсненного на удлинённый (рис. 4, В);
- плоскостная анизотропия F сменилась на линейную анизотропию L (рис. 4, Г).

Обсуждение результатов. Таким образом, у осадочных пород, испытавших воздействие кимберлитовой трубки (ПМН стресса), будет наблюдаться:

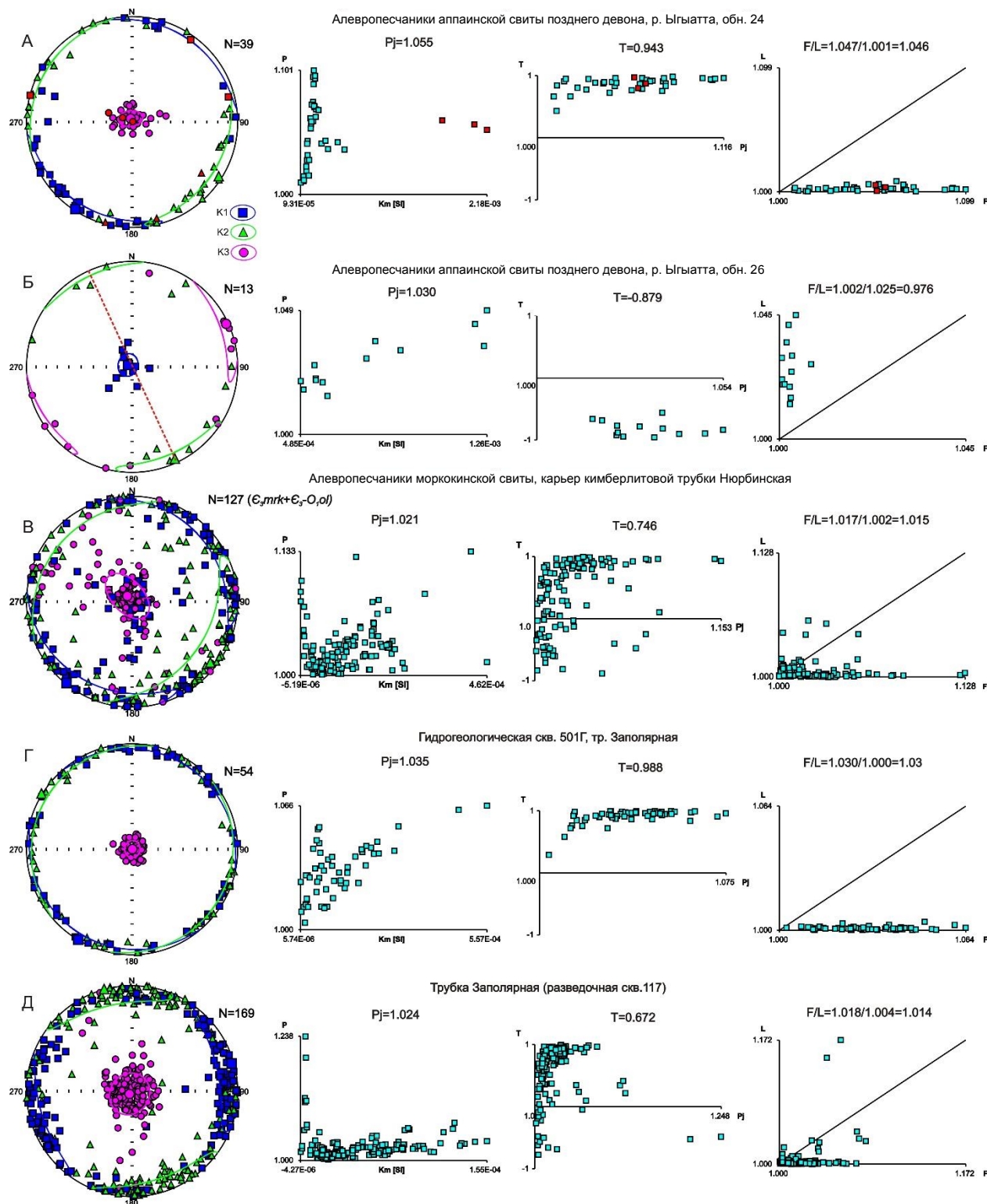


Рис. 3. Типы АМВ в терригенно-осадочных образованиях палеозоя: «осадочный» (А, Г), «даечный» (Б) и «гибридный» (В, Д). K1, K2 и K3 – оси эллипса АМВ, соответственно, большая, средняя и малая. Штрихпунктирная линия – плоскость магнитного расслоения. Пояснения см. в тексте

Fig. 3. The AMS types in terrigenous and sedimentary formations of the Paleozoic: «sedimentary» (A, D), «dikes» (B) and «hybrid» (C, E). K1, K2 and K3 – AMS ellipse axes, respectively, larger, average and small. A dashed line – the plane of magnetic stratification. Explanations see in the text

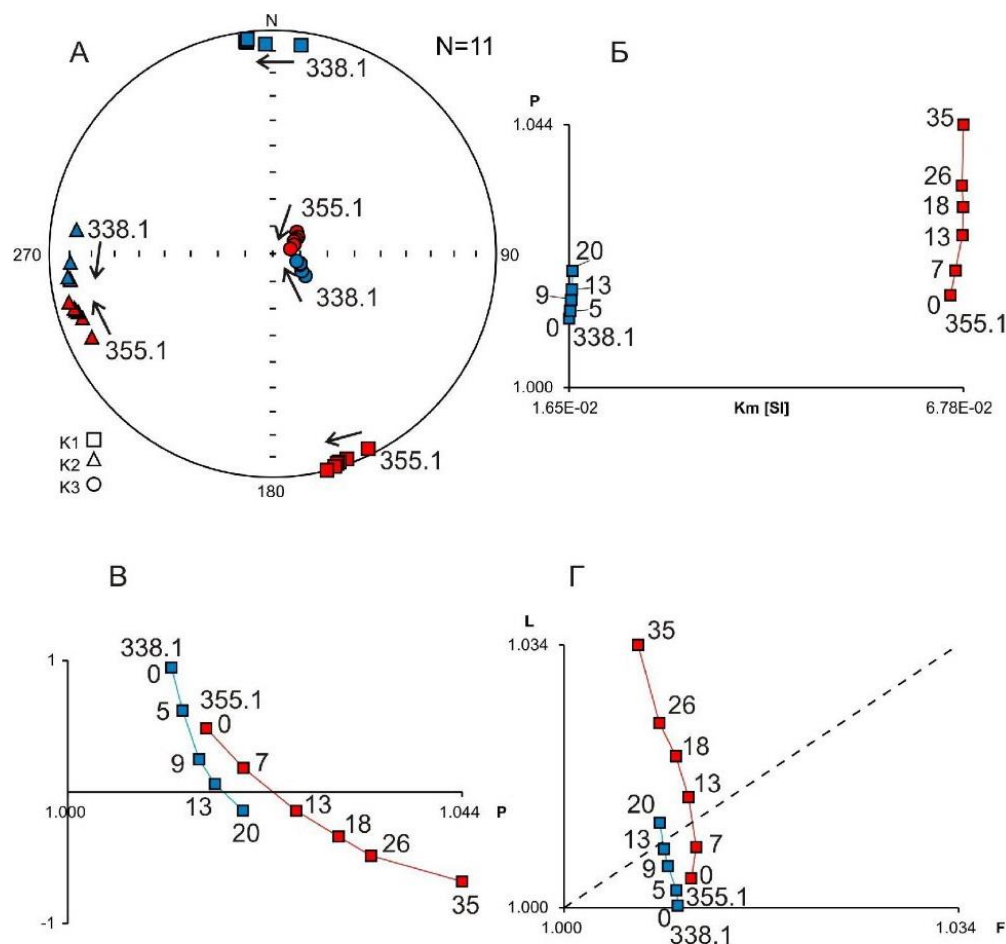


Рис. 4. Эффект изменения АМВ базальтов эмяксинской свиты раннего карбона при увеличении давления. Цифры – давление, кН (в 1 кН – 2,5 кг/мм²). А – стереограмма осей АМВ; Б – Г – графики зависимости, соответственно, $P=f(\alpha)$, $T=f(P)$ и $L=f(F)$

Fig. 4. Effect of change of AMS of basalts of emyaksinsky suite of early carbon fabrics at increase in pressure. Figures – pressure, kN (in 1 kN – 2,5 kg/mm²). А – the stereogram of axes of AMS; В – Д – schedules of dependence, respectively, $P=f(\alpha)$, $T=f(P)$ and $L=f(F)$

- сплюснутый или трехмерный тип АМВ;
- повышенные, относительно «осадочного» типа АМВ, значения P ;
- преобладание линейной анизотропии ($L \gg F$);
- вытянутый эллипсоид ($T \rightarrow -1$).

Исследования АМВ алевропесчаников моркокинской свиты позднего кембрия E_{3mk} из карьера кимберлитовой трубки Нюрбинская показали, что здесь мы имеем дело с сочетанием разных типов анизотропии: «гибридный» = «осадочный» + «даечный» (рис. 3, В). Данный тип АМВ, вероятнее всего, обязан своему формированию за счет процессов стресса и обжига, вызванных внедрением кимберлитовой трубки [11, 14]. Логично предположить, что «гибридный» тип АМВ отражает эпигенетические изменения пород околотрубочного пространства (ПМН стресса и обжига).

Аналогичная картина АМВ отмечается по керну разведочной скв. 117, пробуренной в

непосредственной близости от контакта с трубкой Заполярная во вмещающих ее терригенно-карбонатных образованиях (рис. 3, Г). В то же время она контрастно отличается от изученных терригенно-карбонатных образований, отобранных из гидрогеологической скв. 501Г на большом расстоянии от трубки (рис. 3, Д). Таким образом, мы наблюдаем изменение типа АМВ вмещающего цоколя при удалении от контакта с трубкой: с «гибридного» на «осадочный», что целесообразно использовать при картировании (прослеживании) зон эпигенеза².

Подобная работа по картированию зон эпигенеза по керну вертикальных скважин проведена

² Зоны эпигенеза могут быть связаны и с другими магматическими образованиями. Кимберлитовая природа зон эпигенеза должна устанавливаться дополнительно по комплексу методов.

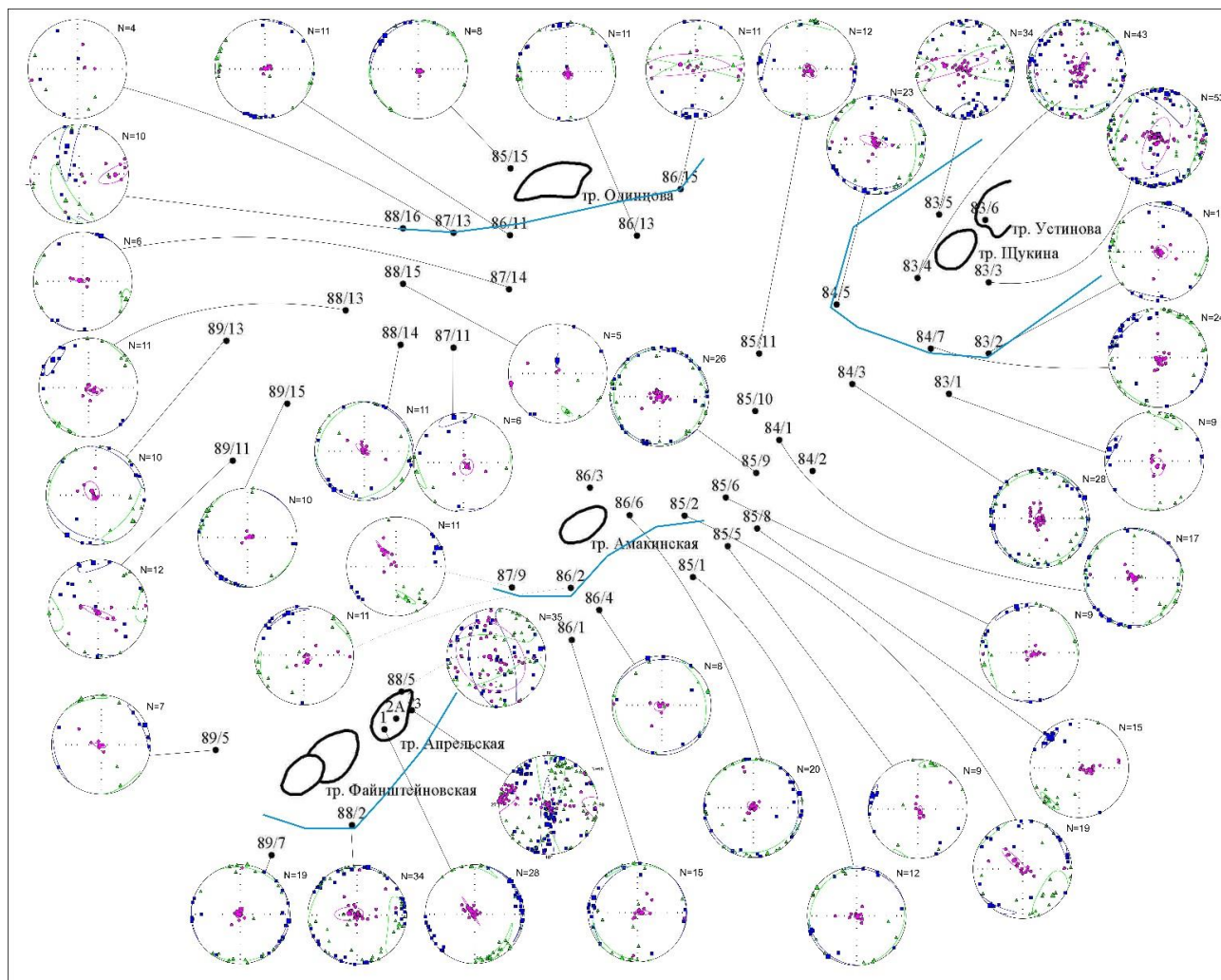


Рис. 5. Качественный уровень интерпретации: стереограммы АМВ пород карбонатного цоколя уч. Полигон

Fig. 5. Qualitative level of interpretation: stereograms of AMS of breeds of a carbonaceous socle of area Pologon

на участке Полигон, расположенного к северо-западу от п. Айхал. Качественную интерпретацию по оконтуриванию зон эпигенеза можно проводить как по стереограммам (рис. 5), так и по графикам АМВ. В этом варианте зоны эпигенеза фиксируются на расстоянии до 3 диаметров кимберлитовых трубок. Количественная интерпретация основывается на анализе планов изотроп³ параметров АМВ. Интересно, но факт, кимберлитовые трубки на плане изолиний α не выделяются (рис. 6, А). Поэтому каротаж α для поиска трубок по зонам эпигенеза малоэффективен. В то же время те или иные кимберлитовые трубки начинают «светиться» на планах изотроп разных параметров АМВ (рис. 6, Б–Г). Как правило, это повышенные значения Pj и

отношение L/F в сочетании с низким показателем формы T .

Заключение

В процессе проведения экспериментальных исследований зависимости АМВ осадочных образований от давления открыто существование ПМН стресса (ПМН 5 типа), которые характеризуются определенными закономерностями изменения ее параметров (степени, формы, типа).

Установлены принципиальные отличия между ПМН 5 типа (стресс) и ПМН 2 типа (обжиг). Таким образом, Виллари-эффект определяет петрофизический (АМВ) поисковый критерий, который повышает вероятность обнаружения кимберлитовых тел по окружающим их зонам эпигенетических изменений вмещающих образований, вызванных радиальным давлением в процессе становления трубок взрыва.

³ Изотропы – линии на карте, соединяющие точки с равными значениями параметров анизотропии.

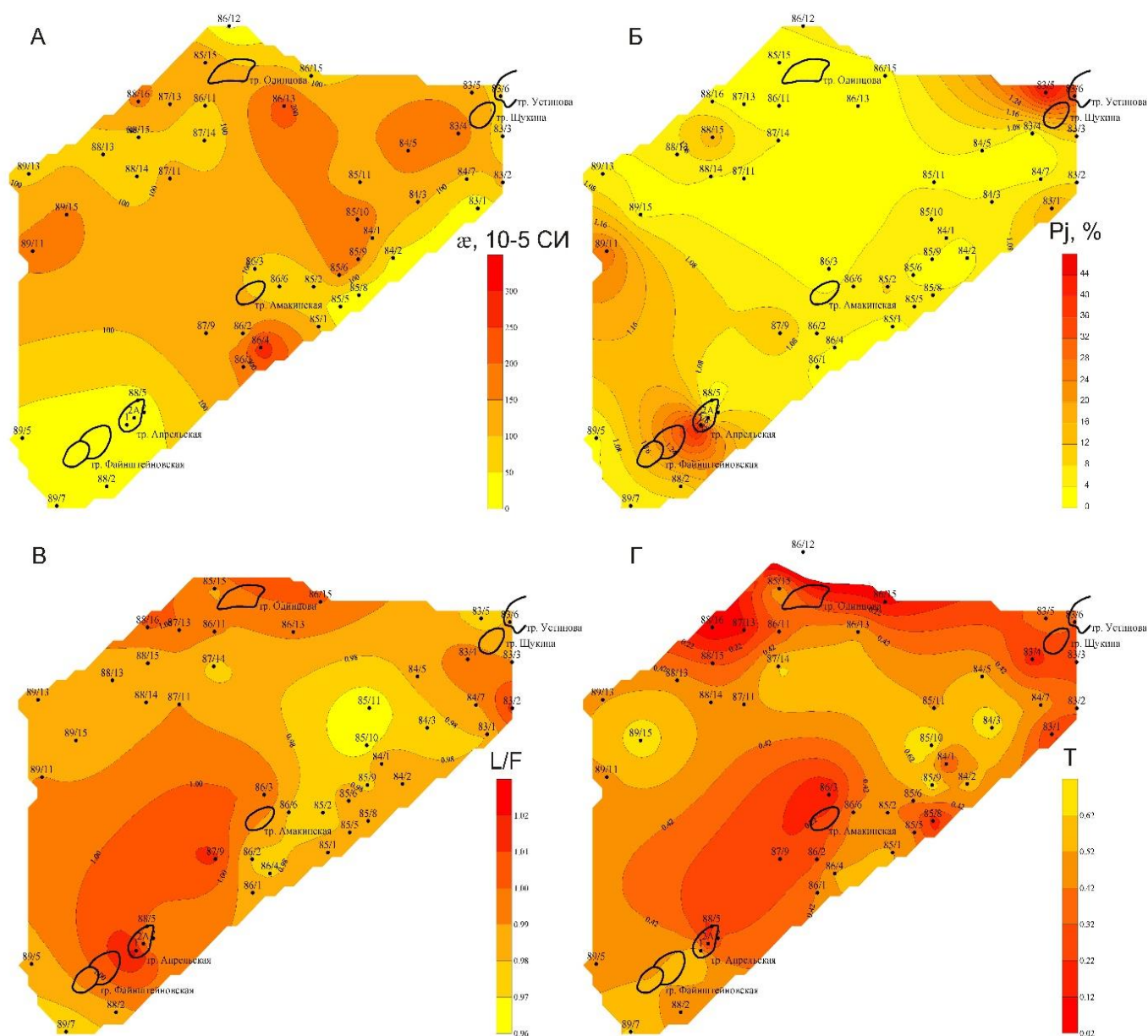


Рис. 6. Количественный уровень интерпретации: планы изотроп параметров АМВ пород карбонатного цоколя уч. Полигон

Fig. 6. The quantitative level of interpretation: plans of isotrops of the AMS parameters of breeds of a carbonaceous socle of area Pologon

Не исключено существование и других типов ПМН, генетически связанных со структурами диатремовой ассоциации.

Литература

1. Владимиров Б.М., Дауев Ю.М. и др. Месторождения алмазов СССР, методика поисков и разведки. Ч. 1. Геология месторождений алмазов СССР. М.: ЦНИГРИ, 1984. 435 с.
2. Зинчук Н.Н., Бондаренко А.Т., Гарат М.Н. Петрофизика кимберлитов и вмещающих пород. М.: ООО «Недра-Бизнесцентр», 2002. 695 с.

3. Никулин В. И., Лелюх М. И., Фон-дер-Флаасс Г.С. Алмазопрогностика (методическое пособие). Иркутск, 2002. 320 с.

4. Харьков А.Д., Зинчук Н.Н., Крючков А.И. Коренные месторождения алмазов мира. М.: Недра, 1998. 555 с.

5. Физический энциклопедический словарь. М.: Советская энциклопедия, 1960. Т. 1. 664 с.

6. Киренский Л.В. Магнетизм. М.: Изд-во АН СССР, 1963. 144 с.

7. Tarling D.H., Hrouda F. The magnetic anisotropy of rocks. London, Chapman&Hall, 1993. 217 p.

8. Jelinek V. Measuring anisotropy of magnetic susceptibility on a slowly spinning specimen – Basic theory. Agico Print, № 10, Brno, 1997. 27 p.

9. Константинов К.М., Матасова Г.Г., Казанский А.Ю., Убинин С.Г., Устимук А.Н., Олениус Ю.В. Опыт использования магнитной анизотропии для оценки влияния трубки взрыва на вмещающие породы // Палеомагнетизм и магнетизм горных пород: теория, практика, эксперимент: Материалы семинара. Борок, 11–14 октября, 2003 г. М.: ГЕОС, 2003. С. 31–32.

10. Константинов К.М., Мишенин С.Г., Томишин М.Д. Изучение петромагнитных неоднородностей с целью поисков месторождений алмазов в Якутской алмазоносной провинции // Изменяющаяся геологическая среда: пространственно-временные взаимодействия эндогенных и экзогенных процессов: Материалы Международной конференции: в двух томах. Т. 2. г. Казань, 13–16 ноября, 2007 г. Казань: Изд-во КГУ, 2007. С. 175–180.

11. Константинов К.М., Артёмова Е.В., Константинов И.К., Яковлев А.А., Киргуев А.А. Возможности метода анизотропии магнитной восприимчивости в решении геолого-геофизических задач поисков коренных месторождений алмазов // Геофизика. 2018. № 1. С. 67–77.

12. Константинов К.М., Гладков А.С. Петромагнитные неоднородности зон обжига пермотриасовых траппов месторождения трубки Комсомольская (Якутская алмазоносная провинция) // ДАН. 2009. Т. 427, № 2. С. 245–252.

13. Константинов К.М., Мишенин С.Г., Томишин М.Д., Корнилова В.П., Ковальчук О.Е. Петромагнитные неоднородности пермотриасовых траппов Далдыно-Алакитского алмазоносного района (Западная Якутия) // Литосфера. 2014. № 2. С. 77–98.

14. Яковлев А.А., Константинов К.М., Ибрагимов Ш.З., Константинов И.К., Антонова Т.А., Артёмова Е.В., Монхоров Р.В. Петромагнитный мониторинг кимберлитов трубки Нюрбинская (Якутская алмазоносная провинция) // Наука и образование. 2016. № 4. С. 15–25.

References

1. Vladimirov B.M., Dauev Yu.M. i dr. Mes-torozhdeniyaalmazov SSSR, metodika poiskov i razvedki. Ch. 1. Geologiya mestorozhdenijalmazov SSSR. Moscow: TsNIGRI, 1984. 435 p.

2. Zinchuk N.N., Bondarenko A.T., Garat M.N. Petrofizika kimberlitov i vmeschayuschikh porod. Moscow: ООО «Nedra-Biznessentr», 2002. 695 p.

3. Nikulin V.I., Lelyukh M.I., Fon-der-Flaass G.S. Almazoprognozistika (metodicheskoe posobie). Irkutsk, 2002. 320 p.

4. Khar'kiv A.D., Zinchuk N.N., Kryuchkov A.I. Korennye mestorozhdeniyaalmazov mira. Moscow: Nedra, 1998. 555 p.

5. Fizicheskij entsiklopedicheskij slovar'. Moscow: Sovetskaya entsiklopediya, 1960. V. 1. 664 p.

6. Kirenskiy L.V. Magnetizm. Moscow: Izd. AN SSSR, 1963. 144 p.

7. Tarling D.H., Hrouda F. The magnetic anisotropy of rocks. London, Chapman&Hall, 1993. 217 p.

8. Jelinek V. Measuring anisotropy of magnetic susceptibility on a slowly spinning specimen – Basic theory. Agico Print, № 10, Brno. 1997. 27 p.

9. Konstantinov K.M., Matasova G.G., Kazanskiy A.Yu., Ubinin S.G., Ustimuk A.N., Olenius YU.V. Opyt ispol'zovaniya magnitnoj anizotropii dlya otsenki vliyaniya trubki vzryva na vmeschayuschie породы // Paleomagnetizm i magnetizm gornyx porod: teoriya, praktika, eksperiment: Materialy seminar. Bороk, 11–14 oktyabrya, 2003 g. Moscow: GEOS, 2003. P. 31–32.

10. Konstantinov K.M., Mishenin S.G., Tomshin M.D. Izuchenie petromagnitnykh neodnorodnostej s tsel'yu poiskov mestorozhdenijalmazov v Yakutskojalmazonosnojprovintsii // Izmenyayuschayasya geologicheskaya sreda: prostranstvenno-vremennyye vzaimodejstviya endogennykh i ekzogennykh protsessov: Materialy Mezhdunarodnoy konferentsii: v dvukhtomakh. Tom 2. Kazan', 13–16 noyabrya, 2007 g. Kazan': izd. KGU, 2007. P. 175–180.

11. Konstantinov K.M., Artemova E.V., Konstantinov I.K., Yakovlev A.A., Kirguyev A.A. Vozmozhnosti metoda anizotropii magnitnoj vospriimchivosti v reshenii geologo-geofizicheskikh zadach poiskov korenykh mestorozhdenijalmazov // Geofizika. 2018. № 1. P. 67–77.

12. Konstantinov K.M., Gladkov A.S. Petromagnitnye neodnorodnosti zon obzhiga permotriasovykh trappov mestorozhdeniya trubki Komsomol'skaya (Yakutskayaalmazonosnayaprovintsiya) // Doklady AN. 2009. V. 427, № 2. P. 245–252.

13. Konstantinov K.M., Mishenin S.G., Tomshin M.D., Kornilova V.P., Koval'chuk O.E. Petromagnitnye neodnorodnosti permotriasovykh trappov Daldyno-Alakitskogoalmazonosnogo rajona (ZapadnayaYakutiya) // Litosfera. 2014. № 2. P. 77–98.

14. Yakovlev A.A., Konstantinov K.M., Ibragimov Sh.Z., Konstantinov I.K., Antonova T.A., Artemova E.V., Monkhorov R.V. Petromagnitnyj monitoring kimberlitov trubki Nyurbinskaya (Yakutskayaalmazonosnayaprovintsiya) // Nauka i obrazovanie. 2016, № 4. P. 15–25.

Поступила в редакцию 14.06.2018

Об авторах

КОНСТАНТИНОВ Константин Михайлович, доктор геолого-минералогических наук, зав. лабораторией, Научно-исследовательское геологическое предприятие АК «АЛРОСА» (ПАО), 678170, Мирный, Чернышевское шоссе, 16, Институт земной коры СО РАН, 664033, Иркутск, ул. Лермонтова, 128, <http://orcid.org/0000-0002-1196-8776>, konstantinovKM@alrosa.ru;

КИРГУЕВ Александр Альбертович, младший научный сотрудник, Научно-исследовательское геологическое предприятие АК «АЛРОСА» (ПАО), 678170, Мирный, Чернышевское шоссе, 16, kirguezAIA@alrosa.ru;

ХОРОШИХ Максим Сергеевич, младший научный сотрудник, Научно-исследовательское геологическое предприятие АК «АЛРОСА» (ПАО), 678170, Мирный, Чернышевское шоссе, 16, khoroshikhMS@alrosa.ru.

About the Authors

KONSTANTINOV Konstantin Mikhailovich, Doctor of Geology and Mineralogy, Head of Laboratory, Geo-Scientific Research Enterprise of «ALROSA», Chernychevskoe highway, 16, Mirny, 678170, Russia, Institute of the Earth's Crust SB RAS, 128 Lermontov street, Irkutsk, 664033, Russia, <http://orcid.org/0000-0002-1196-8776>, konstantinovKM@alrosa.ru;

KIRGUEV Alexander Albertovich, Junior Researcher, Geo-Scientific Research Enterprise of «ALROSA», Chernychevskoe highway, 16, Mirny, 678170, Russia, kirguezAIA@alrosa.ru;

KHOROSHIKH Maksim Sergeevich, Junior Researcher, Geo-Scientific Research Enterprise of «ALROSA», Chernychevskoe highway, 16, Mirny, 678170, Russia, khoroshikhMS@alrosa.ru.