

## Многофазность образования трубки им. В. Гриба и её выраженность в палеомагнитных свойствах пород и ситовых характеристиках алмазов

### Polyphase nature of Grib pipe formation and its manifestation in paleomagnetic rock properties and sieve diamond characteristics

Пенделяк Р. Н.

Pendelyak R. N.

Рассматриваются палеомагнитные свойства пород трубки и ситовые характеристики алмазов. Для установления палеомагнитных характеристик в 2019–2020 гг. из пород трубки было отобрано 59 ориентированных образцов кимберлитов и ксенотуфобрекчий. По результатам анализа и сопоставления полученных данных сделаны выводы о причинах смещения эпицентра магнитной аномалии и приведены доводы, указывающие на многофазность образования трубки им. В. Гриба. Полученные результаты свидетельствуют о сложном строении трубки им. В. Гриба, в пределах которой выделяется участок кимберлитов с аномально высокими значениями магнитных параметров. Он мог проявить себя в качестве основной аномалии, с выделения которой начались поисковые работы, приведшие к открытию трубки. А его расположение преимущественно в центре и на востокетрубки и преобладающее восточное направление остаточной намагниченности могут объяснить причину смещения аномалии на восток, в том числе частично за контур самой трубки. Многофазность трубки также подтверждается разными ситовыми характеристиками алмазов из различных участков рудного тела.

Ключевые слова: месторождение, палеомагнитные свойства, алмаз, ситовые характеристики, магнитная аномалия.

Paleomagnetic pipe rock properties and sieve diamond characteristics are discussed. To determine paleomagnetic characteristics, 59 samples (41 kimberlites and 18 xenotuff breccias) were taken from pipe rocks in 2019–2020. Based on analysis results and the obtained data comparison, reasons of magnetic anomaly epicenter shift are validated and polyphase nature of Grib pipe formation is proved. The results suggest complex pipe structure with abnormally magnetized kimberlites. They could be the main anomaly, a focus of early prospecting, which resulted in the pipe discovery. Their location, mostly in the central and eastern pipe combined with primarily east-trending residual magnetization, can account for the eastward anomaly shift and partly beyond the pipe contour. Polyphase pipe nature is also confirmed by various sieve characteristics of diamonds from the orebody.

Keywords: deposit, paleomagnetic properties, diamond, sieve characteristics, magnetic anomaly.

---

Для цитирования: Пенделяк Р. Н. Многофазность образования трубки им. В. Гриба и её выраженность в палеомагнитных свойствах пород и ситовых характеристиках алмазов. Руды и металлы. 2021. № 3. 92–100. DOI: 10.47765/0869-5997-2021-10021.

For citation: Pendelyak R. N. Polyphase nature of Grib pipe formation and its manifestation in paleomagnetic rock properties and sieve diamond characteristics. Ores and metals, 2021, № 3, 92–100. DOI: 10.47765/0869-5997-2021-10021.

Изучение и анализ истории открытия месторождения им. В. Гриба говорят о смещении эпицентра магнитной аномалии на 200 м от геометрического центра трубки в восточном (аэромагнитная аномалия) и северо-восточном (наземная магнитная аномалия) направлениях. Смещение эпицентра аномалии привело к тому, что первая скважина была пробурена в 100 м к востоку от трубки, а открытие состоялось в результате повторной заверки аномалии № 441 лишь через девять лет, в 1996 г. Повторной заверке предшествовали геофизические исследования – наземная магнитная съёмка м-ба 1 : 5000 в комплексе с электроразведкой методом дипольного индуктивного профилирования (ДИП). По их результатам выявлено, что эпицентр магнитной аномалии оказался смещённым на 200 м в северо-восточном направлении от центра открытой впоследствии трубки, и был выделен проводящий объект глубинного залегания размером ~ 100 x 150 м [1].

Предполагалось (Е. М. Веричев и др., 2005), что основная причина смещения магнитной аномалии на земной поверхности – восточное (под углом 75°) направление вектора намагниченности пород, слагающих трубку, однако никаких документированных свидетельств этому найдено не было. В связи с этим было принято решение изучать магнитные свойства пород трубки, чтобы понять причину и природу её особенностей для возможного применения полученных данных при поисковых работах, направленных на обнаружение коренных месторождений алмазов.

Для установления палеомагнитных характеристик и использования полученных результатов при проведении поисковых работ в 2019–2020 гг. с горизонтов -113...-131 из пород трубки были отобраны 59 ориентированных образцов: 41 представлен кимберлитами, 18 – ксенотуфобрекчиями. Из каждого образца были изготовлены по два-три кубика размером 2 x 2 x 2 см для необходимых исследований. Всего изготовлено 143 кубика. Лабораторные палеомагнитные исследования и обработка полученных результатов проводились по общепринятой методике [2] в АО «ВНИГРИ».

Предполагалось, что полученные результаты дадут некую единую обобщённую характеристику палеомагнитных свойств пород трубки, которая подтвердит сделанные ранее выводы, а также дифференцирует характеристики кимберлитов и ксенотуфобрекчий. Однако результаты выполненных работ оказались намного более интересными и не только подтвердили теоретические представления о сложном строении трубки им. В. Гриба, но и косвенно указали на многофазность её образования и дали ответ на вопрос о возможной причине смещения магнитной аномалии. Далее приводятся результаты анализа некоторых из палеомагнитных свойств пород трубки.

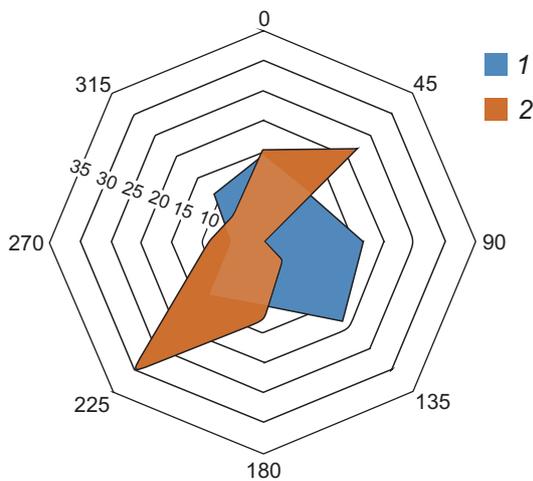
*Значения склонений ( $D^\circ$ ) средних направлений компонент естественной остаточной намагниченности горных пород ( $J_n$ )* показали большой разброс. При этом результаты исследования каждого кубика, выпиленного из отдельного образца, в целом сходны. Для удобства анализа и получения читаемой и понятной картины склонения сгруппированы по восьми направлениям сторон света – румбам (рис. 1). Результаты приведены в табл. 1.

Кимберлиты характеризуются широким диапазоном полученных значений, при этом значительную долю (суммарно 47 %) занимают восточные направления остаточной намагниченности (северо-восток, восток, юго-восток), каждое из остальных направлений составляет менее 15 %.

Образцы из ксенотуфобрекчий разделяются на две группы, в которых южные направления (юг и юго-запад) характерны для 43 % образцов, северные – для 37 %, доля остальных направлений незначительна.

Распределение склонений по трубке довольно хаотичное (рис. 2), при этом определённые образцы можно сгруппировать в отдельные поля по 3–8 образцов, но достоверность в этом случае будет невысокой, так как часть расположенных рядом образцов нередко показывает противоположные значения.

Для определения типов магнитных минералов, являющихся основными носителями естественной остаточной намагниченности горных пород, были изучены зависимости измене-

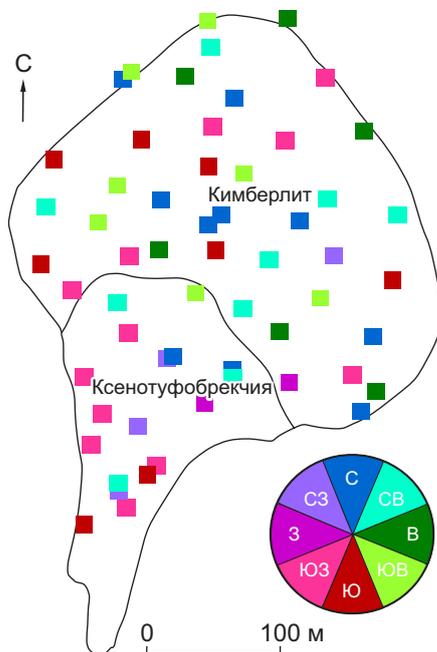


**Рис. 1. Склонения ( $D^\circ$ ) средних направлений компонент  $J_n$ :**

1 – кимберлит; 2 – ксенотуфобрекчия

**Fig. 1. Deviation ( $D^\circ$ ) of the  $J_n$  component mean directions:**

1 – kimberlite, 2 – xenotuff breccia



**Рис. 2. Распределение склонений ( $D^\circ$ ) средних направлений компонент  $J_n$  по трубке**

**Fig. 2. Distribution of  $J_n$  component mean direction deviation ( $D^\circ$ ) along the pipe**

ния магнитной восприимчивости от температуры в процессе нагрева и охлаждения  $K_m(T)$ . Преобладающими магнитными минералами – носителями  $J_n$  – являются гидроксиды железа, титаномагнетит и магнетит, а в трёх образцах – вторичный гематит.

Отношение Кенигсбергера (фактор  $Q$ ) является одной из наиболее широко используемых величин для оценки вклада в магнитные аномалии остаточной естественной и индуктивной намагниченности. Оно может применяться для примерной оценки магнитной стабильности (так как слабо зависит от концентрации магнитных минералов в образце).

Величина фактора  $Q$  может колебаться в очень широких пределах (от десятых долей единицы до многих сотен единиц) и выражается следующей формулой:

$$Q = J_n / (K_m \cdot H_T),$$

где:  $J_n$  – естественная остаточная намагниченность горных пород;  $K_m$  – магнитная восприимчивость горных пород, ед. СИ;  $H_T$  – полный вектор напряжённости геомагнитного поля.

При анализе результатов выполненных работ контрастно выделяется аномальная группа образцов кимберлитов, среднее значение фактора  $Q$  в которых в 2,6 раза выше среднего по трубке и в 20 раз больше, чем в кимберлитах с низким значением фактора  $Q$ . В поле кимберлитов эти образцы образуют компактную группу № 6, вытянутую от центра в юго-восточном направлении (рис. 3) и с некоторыми допусками (ввиду невыдержанности значений в отдельных пробах) простирающуюся до юго-восточной границы трубки. По словам исполнителя работ, несмотря на то что индуктивная намагниченность ( $J_i$ ) по отношению к естественной остаточной намагниченности  $J_n$  мала, в сумме они могли бы создать магнитную аномалию. Но при этом направления полной естественной остаточной намагниченности по данной группе образцов (как и в целом по остальным образцам трубки) различны (прямая и обратная полярности), что затрудняет корректную оценку  $J_i$ .

Помимо аномальной группы кимберлитов выделяется участок кимберлитов с относительно высокими значениями фактора  $Q$ . Он



## 1. Склонения средних направлений компонент естественной остаточной намагниченности

### 1. Deviations of the natural remanent magnetization component mean directions

Румбы	$D^\circ$	$D^\circ_{\text{cp}}$	Кимберлиты		Ксенотуфобрекчии	
			Число проб	%	Число проб	%
С	337,5–22,5	0	14	15	7	15
СВ	22,5–67,5	45	11	11	10	22
В	67,5–112,5	90	16	17	0	0
ЮВ	112,5–157,5	135	18	19	2	4
Ю	157,5–202,5	180	10	10	6	13
ЮЗ	202,5–247,5	225	12	12	14	30
З	247,5–292,5	270	5	5	4	9
СЗ	292,5–337,5	315	11	11	3	7
Всего 143 кубика, в том числе:			97		46	

локализован в северной и восточной частях кимберлитового поля и как бы опоясывает его. Остальные кимберлиты, которые отнесены к группе с низкими значениями фактора  $Q$ , располагаются в западной части трубки, на границе с ксенотуфобрекчиями, и севернее аномальной группы, занимая при этом существенную площадь.

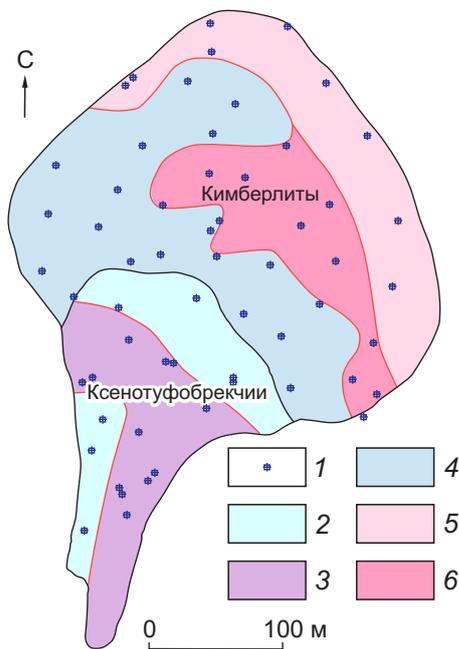
Ксенотуфобрекчии в целом характеризуются значительно меньшими значениями фактора  $Q$ , причём относительно как кимберлитов, так и среднего значения по трубке. При этом в них выделяются две группы, отличающиеся друг от друга по значению фактора  $Q$  в 2,8 раза, конфигурация которых проведена с некоторой долей условности ввиду малого числа проб и особенностей строения самого поля развития ксенотуфобрекчий. Однако на контакте с кимберлитами локализуется участок с низкими значениями фактора  $Q$ , который выделяется и по другим свойствам, о чём будет упомянуто ниже.

Здесь отдельно следует отметить, что выделение различных групп по фактору  $Q$  выполнено в пределах в целом слабомагнитной трубки, и в абсолютных значениях эти группы не столь контрастны (табл. 2), интересно именно их сравнение друг с другом. Также конфигурации выделенных участков при наличии большего числа образцов могут иметь несколько иной характер. Но при этом одно установлено

абсолютно точно: породы трубки существенно неоднородны по своим палеомагнитным свойствам, и в связи с этим можно уверенно утверждать, что именно аномальная группа кимберлитов (в большей степени) и опоясывающая её с восточной и северной сторон группа кимберлитов (в меньшей степени) могли дать слабоконтрастную магнитную аномалию, расположенную именно на востоке трубки и за её восточной границей.

*Прочностные характеристики.* Безусловно, на все эти построения можно смотреть с определённой долей скептицизма, но есть ещё один заслуживающий внимания факт. Он не относится к палеомагнитным параметрам, а косвенно, но с удивительной точностью указывает на общую верность выполненных построений. Дело в том, что при отработке месторождения им. В. Гриба проводится эксплуатационная разведка и при документации каждой скважины, не более чем через 6 м, породам присваивается условный код, который отражает их прочностные характеристики. Это не прочность, указанная в МПа. В обычной полевой документации, простой, но безотказной, при помощи рук, ножа и геологического молотка породы разделены на пять категорий прочности, где «0» соответствует породам с очень низкой прочностью, а «4» – с очень высокой.

По результатам такой кодировки построена блочная модель, которая используется при

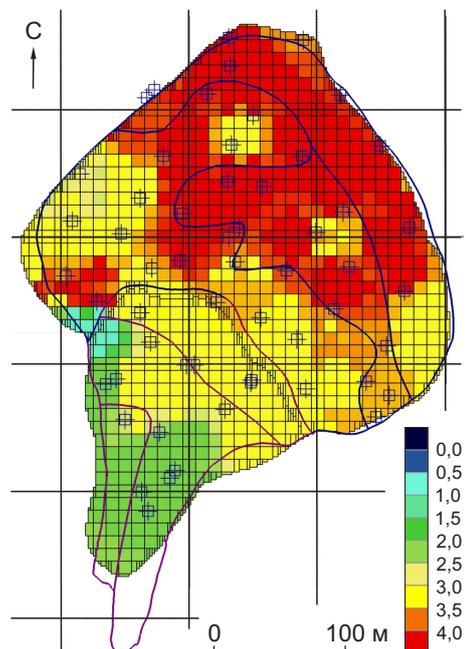


**Рис. 3. Поля локализации по значениям отношения Кенигсбергера (фактор Q):**

1 – точки отбора проб на палеомагнитные исследования; 2 – участки низких значений магнитных параметров в ксенотуфобрекчиях (0,47); 3 – участки высоких значений магнитных параметров в ксенотуфобрекчиях (1,86); 4 – участки низких значений магнитных параметров в кимберлитах (0,26); 5 – участки высоких значений магнитных параметров в кимберлитах (1,76); 6 – участки аномально высоких значений магнитных параметров в кимберлитах (5,3)

**Fig. 3. Fields of localization by the Koenigsberger ratio value (Q factor):**

1 – sampling points for paleomagnetic research vanaia; 2 – areas of low values of magnetic fields dimensions in xenotephobrecia (0,47); 3 – areas of high values of magnetic parameters in xenotephobrecias (1,86); 4 – areas of low values of magnetic parameters in kimberlites (0,26); 5 – areas of high values of magnetic parameters in kimberlites (1,76); 6 – areas of anomalously high values of magnetic parameters in kimberlites (5,3)



**Рис. 4. Блочная модель условной прочности пород трубки**

**Fig. 4. Block model of pipe rocks conventional strength**

отработке месторождения для выделения участков повышенной прочности, так как применяемая технология не предусматривает проведение буровзрывных работ. На рис. 4 приведена блочная модель по прочности пород на горизонте -119, и на ней чётко видно, что конфигурации участков повышенной прочности кимберлитов во многом сходны с конфигурациями участков, которые могли вызвать магнитную аномалию. В ксенотуфобрекчиях также наблюдается различие в прочностных характеристиках, причём это заметно не только на приложенном рисунке, но и ощущается при обогащении руды на обогатительной фабрике. Помимо этого, в карьере задокументирован контакт различных типов туфо- и ксенотуфобрекчий, из которых более прочные и с более высоким содержанием алмазов располагаются в полосе шириной 5–40 м вдоль контакта с кимберлитом.

*Ситовые характеристики алмазов.* Чтобы подкрепить полученные выводы, которые косвенно могут указывать на то, что трубка харак-



## 2. Значения фактора Q в различных типах пород

### 2. Q factor value in different types of rocks

Типы пород	Характеристика магнитных параметров	Число проб	Значения фактора Q		
			min	max	среднее
Кимберлит	Аномально высокие	12	2,5	26,3	6,0
	Высокие	9	0,6	6,3	2,8
	Низкие	20	0,01	1,3	0,3
Ксентуфобрекчия	Высокие	11	0,75	2,5	1,7
	Низкие	7	0,1	1,5	0,6
Итого / среднее		59	0,8	7,6	2,3

## 3. Данные проведённых опробований руд

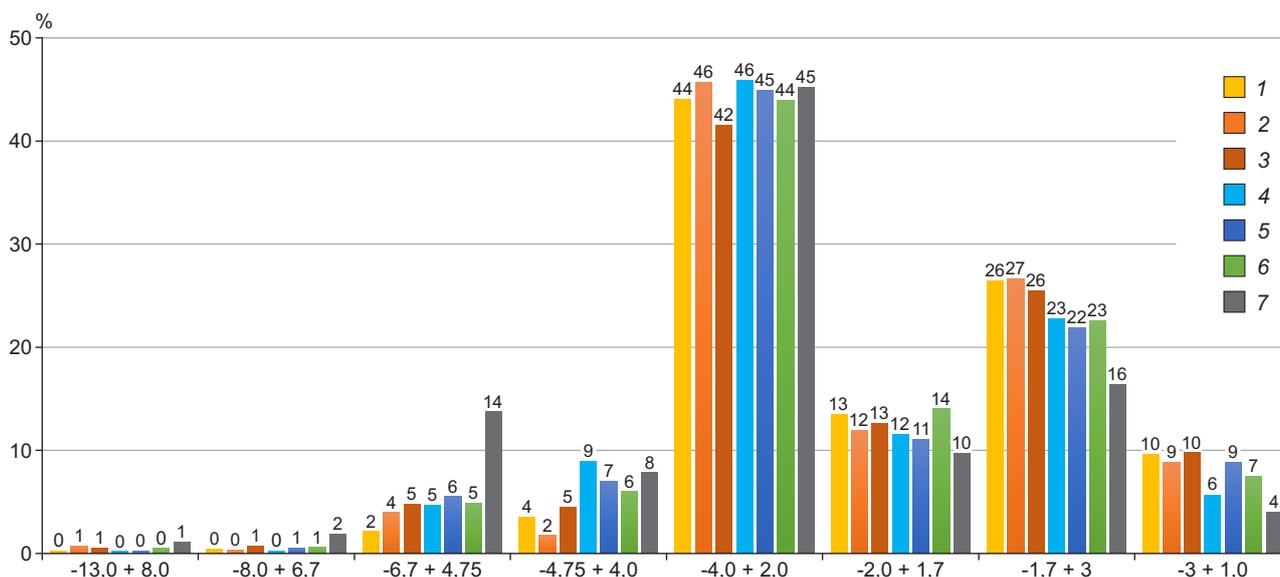
### 3. Data of the conducted ore sampling

Горизонты	Типы руды	Периоды опробования, г.	Масса алмазов, кар
-80	Кимберлит «северный»	2017	5376
-115	Кимберлит «северный»	11.2019	2676
-110	Кимберлит «южный»	08.2019	14 624
-115	Кимберлит «южный»	11.2019	5939
-74	Кимберлит «западный»	2017	5018
-114	Ксенотуфобрекчия «центр»	2019	3613
	Породы верхней части кратера	2020	2102

теризуется более сложным строением, чем изначально предполагалось, так как может иметь больше двух фаз внедрения, были проанализированы все имеющиеся данные по ситовым характеристикам алмазов из её разных частей. Отдельно следует отметить, что руда подаётся на обогатительную фабрику в шихте, которая обеспечивает оптимальный режим работы оборудования при выполнении плановых показателей, поэтому любое опробование руд некоторых типов – это, скорее, исключение. Тем не менее такие опробования периодически проводятся, и результаты анализа ситовых характеристик алмазов однозначно показывают, что действительно имеются различные кимберлиты, которые отличаются не только по набору палеомагнитных свойств между собой и ксенотуфобрекчиями, но и, по всей ви-

димости, связаны с различными источниками алмазов. О представительности опробования говорит то, что минимальная масса алмазов из каждой пробы составляет более 2000 кар. Данные по проведённым опробованиям приведены в табл. 3.

На рис. 5 приведены ситовые характеристики алмазов, для удобства интерпретации которых результаты по различным участкам рудного тела даны сходными цветами. Положение участков опробования показано на рис. 6. Из диаграммы видно, что алмазы из «северных» и «южных» кимберлитов существенно отличаются по ситовым характеристикам: в классах  $-4,75+4,0$  и  $-4,0+2,0$  алмазы из «южных» кимберлитов преобладают над «северными» на 4–6 %, при этом в классе  $-1,7+3$  наблюдается обратная ситуация – здесь на 4 % больше алма-



**Рис. 5. Диаграмма распределения ситовых характеристик алмазов:**

алмазы: 1 – из кратера (2020), из кимберлитов: 2 – «северные» (11.2019), 3 – «северные» (12.2017), 4 – «южные» (11.2019), 5 – «южные» (08.2019), 6 – «западные» (2017); 7 – из ксенотуфобрекций «центр» (2019); в скобках – периоды отбора проб

**Fig. 5. Diagram of diamond sieve characteristics distribution (sampling periods are in brackets):**

diamonds from: 1 – crater, 2020); kimberlites: 2 – “northern” (11.2019), 3 – “northern” (12.2017), 4 – “southern” (11.2019), 5 – “southern” (08.2019), 6 – “western” (2017); 7 – xenotuff breccias (“center”, 2019); in brackets – sampling periods

зов из «северных» кимберлитов. Также обращает на себя внимание и то, что кимберлиты, отработанные в разный период времени с разных горизонтов, но со смежных участков, имеют очень близкие ситовые характеристики, при этом в классе  $-4,75+4,0$  в «северных» кимберлитах отмечается разница в 3 %, которая нивелируется в классе  $-4,0+2,0$ . Кимберлиты с «западных» участков трубки имеют ситовые характеристики, сходные с показателями «южных» кимберлитов, что хорошо видно на основе представительных классов  $-4,0+2,0$  и  $-1,7+3$ , при этом они имеют ряд отличий в непредставительных.

По ксенотуфобрекциям было проведено одно опробование, результаты которого не позволяют разделить эти породы на различные типы, но указывают на преобладание в них алмазов средних и крупных классов относительно содержащихся в кимберлитах. Так, если в классе  $-4,0+2,0$  алмазы ксенотуфобрекций сходны с

алмазами «южных» кимберлитов, то содержание алмазов класса  $-1,7+3$  значительно ниже, а класса  $-6,7+4,75$  – значительно выше, чем в кимберлитах.

Также информативны данные по ситовым характеристикам алмазов из пород кратера. Несмотря на сходство полученных результатов с результатами по «северным» кимберлитам, использовать эти данные для полноценного сравнения не рекомендуется, так как они считаются непредставительными в связи с тем, что пробы были отобраны из песчаников с магматическим материалом, реже туфопесчаников, но в них полностью отсутствовали туффиты и туфы.

Подводя итог выполненных работ, обратим внимание на рис. 6, на котором как основа использована карта аэромагнитной съёмки м-ба 1 : 10 000, осуществлённой в 1986 г. (Г. М. Левин и др., 1986). На ней нанесён актуальный контур трубки им. В. Гриба на горизонте  $-125$



**Рис. 6. Положение полей локализации по значению фактора  $Q$  и участков опробований на аэромагнитной съёмке 1986 г.:**

усл. обозн. см. рис. 3, 5

**Fig. 6. Position of localization fields according to  $Q$  factor value and sampling areas in aeromagnetic survey performed in 1986.:**

see Fig. 3, 5 for legend

м, выделены поля локализации по значению фактора  $Q$  и участки проведённых опробований. Последние на рисунке показаны цветами, соответствующими таковым на диаграмме (см. рис. 5). Краткие выводы по выполненным работам следующие:

1. В кимберлитах преобладающее направление остаточной намагниченности – восточных румбов (северо-восток, восток, юго-восток – 47 %), в ксенотуфобрекчиях – южных (юг, юго-запад – 43 %) и северных (37 %).

2. Образцы из кимберлитов группируются в три отдельных поля, при этом в центральной и юго-восточной частях трубки выделяется участок с аномально высокими значениями маг-

нитных параметров, который мог создать магнитную аномалию.

3. Образцы из ксенотуфобрекчий группируются в два поля, причём эти поля соответствуют различным типам пород, наблюдаемым визуально в карьере и отличающимся по содержанию алмазов, цвету, прочности, размеру и количеству магматического материала, а также по обогатимости на фабрике.

4. Ориентировка участков с высокими и аномально высокими значениями магнитных параметров совпадает с простираем аэромагнитной аномалии (1986), также аномалия в юго-западной части осложнена незначительным выступом, который может быть связан с ксенотуфобрекчиями.

5. Ситовые характеристики алмазов указывают на преобладание (на 4–6 %) кристаллов крупных и средних классов «южных» кимберлитов над «северными». Кимберлиты с «западных» участков трубки имеет ситовые характеристики, сходные с «южным».

Полученные результаты в целом говорят о верности изначальных предположений о причине смещения эпицентра магнитной аномалии трубки им. В. Гриба, указывая на её сложное строение. При этом участок кимберлитов с аномально высокими значениями магнитных параметров мог проявить себя в качестве основной аномалии, с выделения которой начались поисковые работы, завершившиеся открытием трубки. А его расположение преимущественно в центре и на востоке трубки с преобладающим восточным направлением остаточной намагниченности в кимберлитах может объяснить причину смещения аномалии на восток, в том числе частично за контур самой трубки.

На сложное строение трубки и, возможно, на её многофазность прямо указывают различные ситовые характеристики алмазов из различных участков рудного тела. При этом при их изменении по площади трубки на смежных участках не наблюдается существенного изменения характеристик с глубиной, однако для подтверждения или опровержения этого требуется дальнейшее опробование. Предполагается наличие пяти фаз внедрения (двух в ксе-



нотуфобрекчиях и трёх в кимберлитах), но, чтобы эти предположения обосновать, необходимы дополнительные исследования.

Исходя из полученных результатов нужно отчётливо понимать, что каждая отдельная (особенно многофазная) трубка имеет присущие только ей особенности, которые характе-

ризуют историю её становления и развития, и применять эталонные модели при проведении поисковых работ следует очень вдумчиво и осторожно. Помимо этого, имеет смысл проанализировать фонд уже заверенных аномалий, в особенности тех, на которых пробурена всего одна скважина.

## Список литературы

1. Пенделяк Р. Н., Морозов А. В., Могутова В. А. Геологическое строение трубки им. В. Гриба и её индикаторные особенности в геофизических полях // Отечественная геология. – 2019. – № 5. – С. 53–59.
2. Храмов А. Н., Гончаров Г. И., Комиссарова Р. А. [и др.]. Палеомагнитология / под ред. А. Н. Храмова. – Л. [СПб.]: Недра, 1982. – 312 с.

## References

1. Pendelyak R. N., Morozov A. V., Mogutova V. A. Geologicheskoe stroenie trubki im. V. Griba i ee indikatornye osobennosti v geofizicheskikh polyakh [The geological structure of the tube them. V. Griba and its indicator features in geophysical fields], *Otechestvennaya geologiya* [National Geology], 2019, No 5, pp. 53–59. (In Russ.).
2. Khramov A. N., Goncharov G. I., Komissarova R. A. [et al.]. Paleomagnetologiya [Paleomagnetology], Leningrad, Nedra Publ., 1982, 312 p.

## Автор

**Пенделяк Роман Николаевич**

главный геолог ГОКа  
a-mas81@yandex.ru

АО «АГД Даймондс»,  
г. Архангельск

## Author

**Pendelyak Roman Nikolaevich**

Chief geologist  
a-mas81@yandex.ru

JSC AGD Diamonds  
Arkhangelsk, Russia