

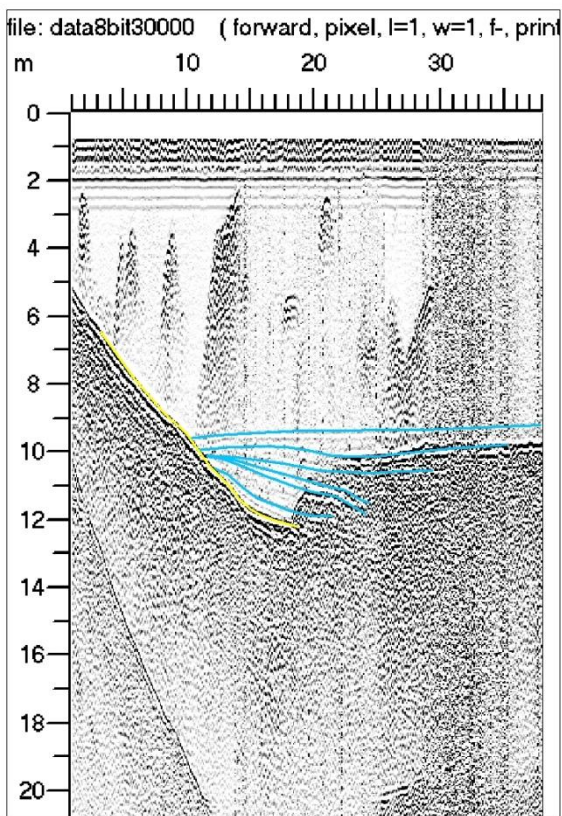


Рис 3. Профиль 7.
Синие линии – не нарушенный стратифицированный осадок, желтая линия коренные породы.

Магнитные свойства ксенолитов из кимберлитовых трубок Якутии

В.И. Максимочкин, А.Н. Целебровский

Физический факультет МГУ им. М.В. Ломоносова, Москва

Нижняя континентальная кора является слабо изученной в силу своей ограниченной доступности. Одним из источников информации о формировании нижних частей коры является изучение ксенолитов нижнекоровых пород, встречающихся в кимберлитах, в основном это перидотиты, эклогиты и др., вынесенные кимберлитовой магмой на поверхность с больших глубин.

В геологии вопросам исследования магнитных параметров магматитов и их минералогии в части ферримангнитных минералов уделяется весьма слабое внимание. В тоже время, с помощью магнитных методов могут быть решены задачи, связанные, с одной стороны, с определением фазового состава природных ферримангнетиков, ответственных за магнитные свойства горных по-

род, а с другой – с установлением термодинамических условий, в которых они формировались, т.е. с их генезисом.

Например, в работах [1-4] было установлено, что температурная зависимость намагниченности насыщения существенно различается у кимберлитов высокой и слабой алмазоносности. Обнаружены различия в магнитных свойствах кимберлитов, отобранных из трубок поля Орапа (Ботсвана, южная Африка) с различной алмазоносностью [5]. Выяснение взаимосвязи магнитных характеристик пород с их алмазоносностью может дать новые критерии для экспресс-оценки перспективности кимберлитовых и других тел на алмазы.

В настоящей работе были проведены подробные исследования магнитных свойств образцов ксенолитов из 10 кимберлитовых трубок Якутии, любезно предоставленных доктором геолого-минералогических наук В. К. Гараниным. Остаточная намагниченность измерялась с помощью ротационного магнитометра JR6 фирмы AGICO, измерение магнитной восприимчивости в температурном интервале от -196°C до $+700^{\circ}\text{C}$ - с помощью прибора MFK-1A фирмы AGICO. Измерение температурной зависимости намагниченности в поле 0.24 Тл в интервале температур от -196°C до $+700^{\circ}\text{C}$ проводилось на вибрационном магнитометре. Намагниченность насыщения ферримангнитных образцов определялась по кривой зависимости намагниченности от поля с учетом парамагнитного вклада. Парамагнитный вклад в намагниченность, представленный в табл.1, рассчитывался для поля 0.4 Тл. Точка Кюри ферримангнитных фаз определялась по линейной аппроксимации зависимости квадрата намагниченности от температуры, а также по температурному ходу кривой магнитной восприимчивости. Исследование фазового и химического составов минералов было проведено А.В. Бовкун и В.К. Гараниным на геологическом факультете МГУ с использованием растрового электронного микроскопа «Jeol JSM-6480LV». Результаты исследований представлены в таблице 1 и на рисунках 1-2.

Как видно из таблицы 1, Gt-перидотит из трубок с высокой продуктивностью алмаза (Удачная, Мир, Юбилейная) характеризуется низкими величинами естественной остаточной намагниченности (I_n) и намагниченности насыщения (I_s фм).

Естественная остаточная намагниченность (I_n) и магнитная восприимчивость (k_0) исследованных образцов колеблется в очень широких пределах: для перидотита $I_n=(0.002-0.32)$ А/м, $k_0=(0.23-3.28)*10^{-3}$ ед. СИ, для эклогитоподобной породы $I_n=(0.58-12.59)$ А/м, $k_0=(12.5-59.9)*10^{-3}$ ед. СИ, для кристаллического сланца $I_n=(0.004-22.86)$ А/м, $k_0=(0.41-84)*10^{-3}$ ед. СИ. Однако среднее значение естественной остаточной намагниченности перидотитов ($I_{n\text{ср}}=0.07$ А/м из 8 образцов) более чем порядок меньше эклогитоподобных пород ($I_{n\text{ср}}=3.77$ А/м из 4 образцов). В целом, была выявлена довольно высокая корреляция между величинами I_n , k_0 и I_s фм. Учитывая, что термомагнитный анализ исследованных образцов ксенолитов показал наличие точки Кюри близкой к T_c магнетита (таблица 1, рисунки 1, 2), можно сделать вывод, что магнитные свойства изученных пород при температурах выше комнатной в значительной степени определяется концентрацией в них магнетита. Кроме

магнетита термомагнитным анализом были также выявлены ферримагнитные фазы с точками Кюри от -50°C до -125°C .

Для того, чтобы понять какие минералы отвечают за ферримагнитные свойства ксенолитов, был проведен минералогический анализ на трех образцах Gt-перидотитов из трубок Удачная, Юбилейная и Мир и двух образцах эклогитов из трубок Удачная и Комсомольская (в таблице 1 отмечены *). Оказалось, что магнитные свойства образца эклогита из трубки Комсомольская определяются собственно эклогитом и кимберлитом. Рудные минералы глубинной породы составляют 2-3 % объема породы и представлены гемогилеменимом, образующим зерна размером до 1 мм изометричной и неправильной формы с округлыми очертаниями, расположенные в межзерновом пространстве и в краевых участках гранатовых выделений. Гемогилеменимит характеризуется низким содержанием магния (1,3-2,8 мас.% MgO) и хрома (0,1-0,6 мас.% Cr_2O_3). В его составе резко преобладает собственно ильменитовый минерал (80,5-80,7 мол.% FeTiO_3) при переменном количестве гематитового минерала (7,8-14,4 мол.% Fe_2O_3). В кимберлитовой компоненте также был обнаружен пикроильменит гомогенного строения с содержанием 10-12,5 мас.% MgO , 0,3-0,9 мас.% Al_2O_3 , низким содержанием хрома (0,7-0,8 мас.% Cr_2O_3) и умеренным количеством гематитового минерала (8,3-9,5 мол.% Fe_2O_3). Расчетные значения точек Кюри (T_c расч) исходя из содержания минералов гемогилеменимитов [7, 8] колеблются в интервале от -82°C до -142°C , причем, измеренная точка Кюри $T_c = -125^{\circ}\text{C}$ для этого образца лежит в интервале расчетных значений. По краям пикроильменитовых зерен обнаружен магнетит.

В образце эклогитоподобной породы из трубки Удачная также был обнаружен гемогилеменимит в виде крупных (до 0.1 мм) пластин. Состав ильменита отвечает собственно ильмениту (79,2-80,3 мол.% FeTiO_3) с примесью гематитовой компоненты (15,8-16,5 мол.% Fe_2O_3) и малым количеством примесей магния, алюминия и марганца (0,6-0,7 мас.% MgO ; 0,2 мас.% Al_2O_3 ; 0,5-0,7 мас.% MnO). Расчетная точка Кюри $T_{c,\text{расч}} = -(75 \div 69)^{\circ}\text{C}$ и измеренная $T_c = -50^{\circ}\text{C}$ (рис.1б, 2б) также оказались довольно близки. По трещинам и периферии титаномагнетит-ильменитовых выделений развит более поздний магнетит с малым содержанием примесей (0,1-0,2 мас.% MgO ; 0,6-0,8 мас.% Al_2O_3 ; 0,4-1,2 мас.% TiO_2 и до 0,2 мас.% MnO), который также как и в образце эклогитоподобной породы из трубки Комсомольская довольно хорошо идентифицировался нами по кривой $I_s(T)$ и точке Кюри (рисунок.1б). Можно сделать вывод, что в эклогитоподобных породах магнитные свойства при $T < -50^{\circ}\text{C}$ обусловлены гемогилеменимом.

Для перидотитов кроме ферримагнитной фазы с точкой Кюри близкой к T_c магнетита были обнаружены также ферримагнитные фазы с $T_c = -(100 \div 125)^{\circ}\text{C}$ (таблица 1, рис.1а, 2а). Минералогический анализ показал, что в перидотите (дуните) трубки Удачная за магнитные свойства, при температурах ниже комнатной, вероятно, отвечает алюмохромит (37,5 мас.% Cr_2O_3 ; 3,2 мас.% TiO_2 ; 9,5 мас.% Fe_2O_3), а в гранатизированном оливините трубки Мир - Ti-содержащий магноалюмохромит (8,7 мас.% MgO ; 11,7 мас.% Al_2O_3 ; 37,1 мас.% Cr_2O_3 ; 1,1 мас.% TiO_2) и Cr-содержащий титаношпинелид с очень вы-

соким содержанием титана, не содержащий магния и алюминия (14,3 мас.% Cr_2O_3 ; 28,9 мас.% TiO_2). Количество ульвешпинелевого минала (Fe_2TiO_4) в составе последнего достигает 78 мол.%. Ильменита и магнетита в этих образцах микронзондовым анализом обнаружено не было. Однако при термомагнитном анализе мы обнаруживаем фазу с точкой Кюри близкой к T_c магнетита. Учитывая, что порода характеризуется малыми величинами I_n , k_0 и $I_s(\text{фм})$ и высоким парамагнитным вкладом, можно сделать вывод, что концентрация магнетита в них очень мала, а магнитные свойства перидотитов при температурах выше комнатной определяются, в основном, парамагнитными минералами. Для перидотитов характерно наличие ферришпинелидов с большим содержанием хрома, титана и алюминия с $T_c < -100^\circ\text{C}$.

Таблица 1. Магнитные свойства ксенолитов.

Алмазостойкость	Трубка	Тип породы	I_n , А/м	$k_0 \cdot 10^{-3}$, ед СИ	$I_s(\text{фм})$, А/м	$I_r/I_s(\text{фм})$	H_{cr} , кА/м	H_d/H_c	ПМ вклад, %	$I_s(-196)/I_s(20)$	T_c , $^\circ\text{C}$	T_c расч., $^\circ\text{C}$
нет	Обнаженная	Gt-перидотит	0,02	0,46	45,1	0,05	32,3	5,90	76			
выс	Удачная	Gt-перидотит	0,02	0,31	56,0	0,03	33,0		64	5,74	-125 600	
выс	Удачная	Gt-перидотит	0,01	0,32	68,1	0,04	47,9	6,92	60		600	
выс	Удачная	Gt-перидотит	0,00	0,23	34,7	0,02	23,7	6,91	68		510	
выс	Удачная	Gt-перидотит	0,04	0,38	82,0	0,05	42,2	6,31	60	3,10	-100	
ср.	Юбилейная*	Gt-лерцолит	0,32	3,28	520	0,09	15,0	2,08	23	1,66	-120 585	
выс	Мир*	Gt-оливинит	0,18	1,88	384	0,16	29,9	2,04	16	1,38	-110 590	
низ	Комсомольская	Gt-перидотит	0,59	12,5	2100	0,12	12,7	1,57	3	1,16	590	
выс	Удачная	эклогит?	0,01	0,73	80,5	0,09	38,9	4,07	74		-120	
ср.	Зарница	эклогит?	0,01	0,71	59,8	0,09	46,1	5,26	79		600	
низ	Комсомольская *	эклогит + кимберлит	0,75	37,7	5680	0,10	17,5	2,29	8	5,85	-80 580	-(142 ÷82)
выс	Удачная*	эклогитоподобная	2,11	19,4	1750	0,04	14,9	4,16	14	1,90	-50 580	-(75 ÷69)
выс	Удачная	эклогитоподобная	2,8 4	19, 1	382 7	0,2 1	42, 4	2,11	1 1	1,86	-50 590	
ср.	Юбилейная	эклогитоподобная	12, 6	59, 9	367 4	0,0 4	5,0 7	2,67	1 9		190 550	

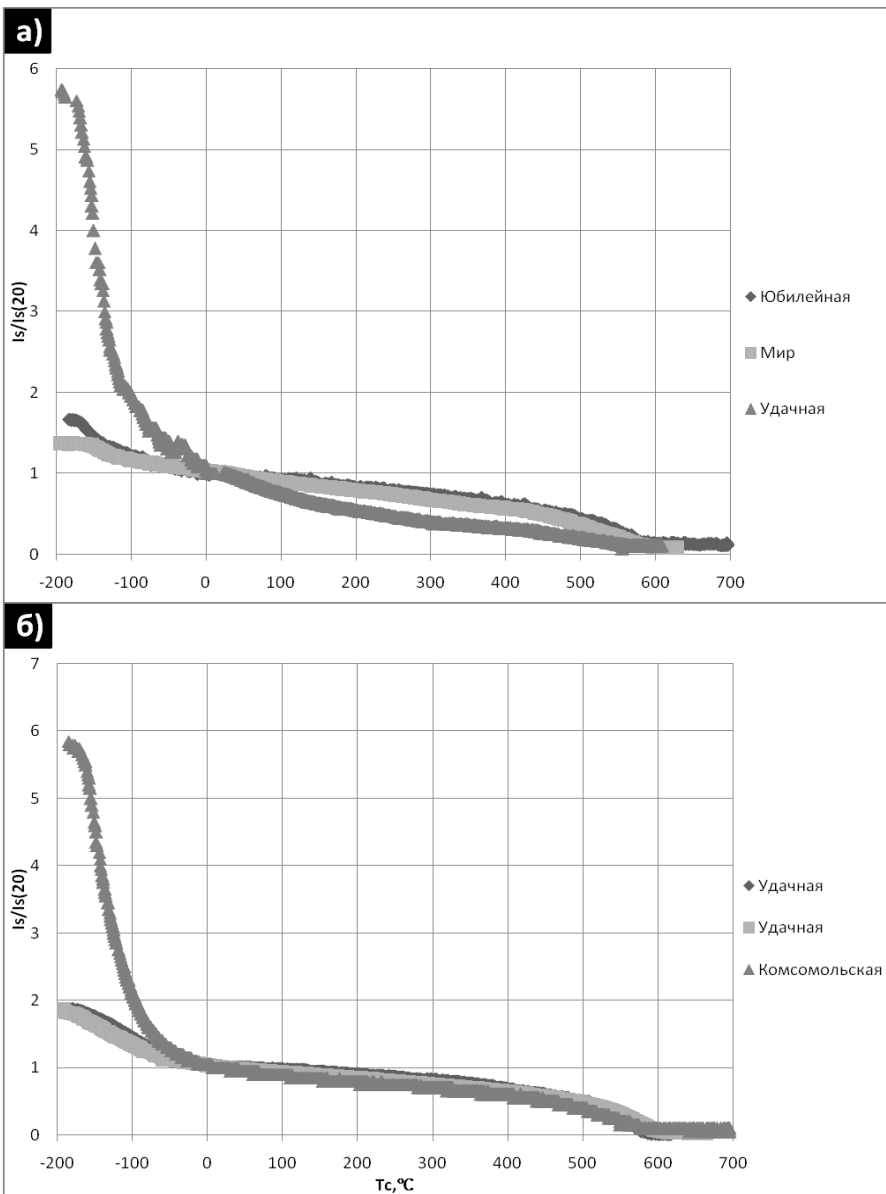


Рис. 1. Зависимость намагниченности ксенолитов в поле 0.24 Тл от температуры: а) перидотиты, б) эклогиты.

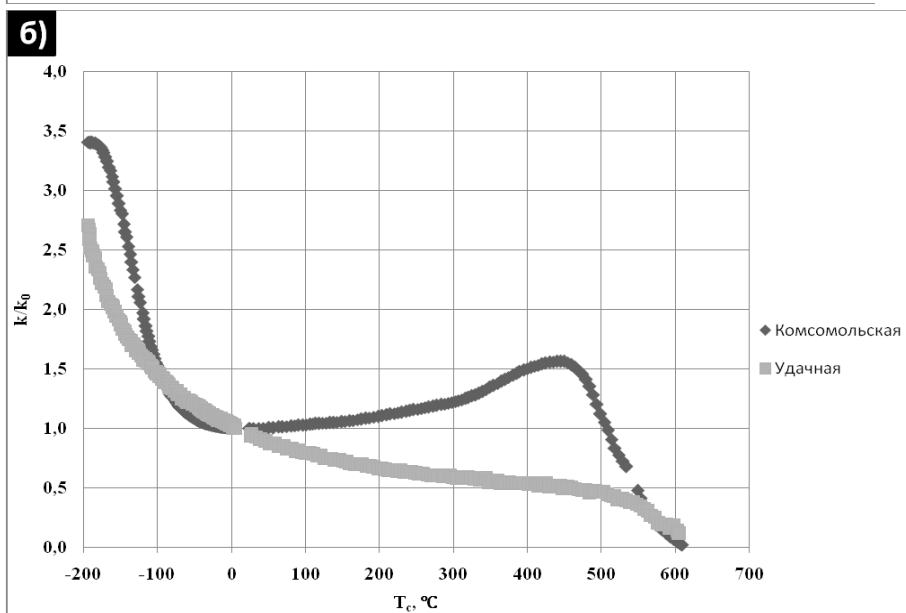
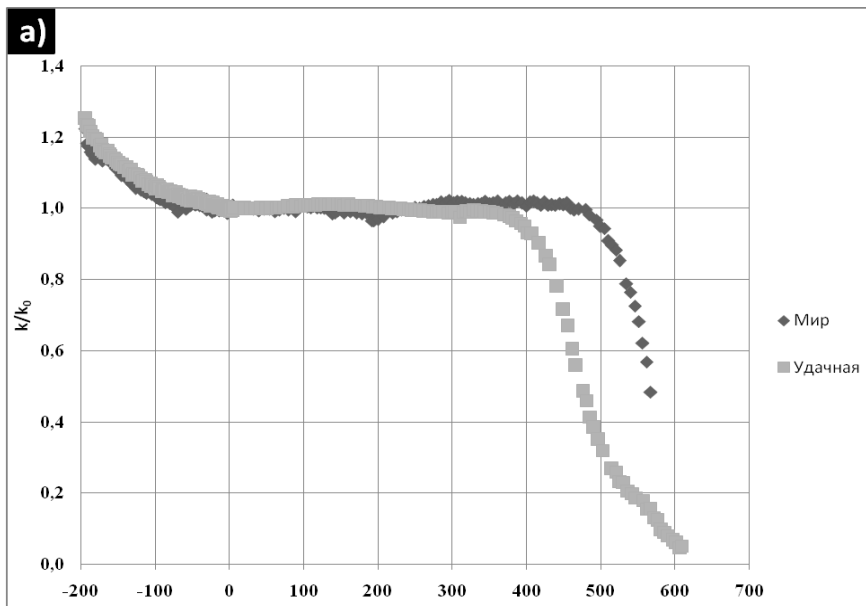


Рис. 2. Зависимость магнитной восприимчивости ксенолитов от температуры: а) перидотиты, б) эклогиты.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ, грант № 11-05-00740.

5. Трухин В.И., Жилиева В.А., Зинчук Н.Н., Романов Н.Н. Магнетизм кимберлитов и траппов. М.МГУ. 1989. с. 165
6. Трухин В.И., Веричев Е.М., Гаранин В.К. и др. Магнитоминералогия кимберлитоподобных пород Севера Европейской части СССР. //Физика Земли. 1991. №7. с.39-51
7. Гаранин В.К., Жилиева В.А., Кудрявцева Г.П. и др. Оксидные минералы и магнитные свойства лампроитов Австралии. //Вестник МГУ. Сер.4. Геология. 1993. №4, с. 55-70
8. Гаранин В.К., Жилиева В.А., Кудрявцева Г.П. и др. Оксидные минералы и магнитные свойства лампроитов Испании и России.// Вестник МГУ, сер.4. Геология. 1993. №3. с.46-59.
9. Максимочкин В.И. Трухин В.И., Минина Ю.А. и др. Магнитоминералогические свойства кимберлитов Ботсваны. //Физика земли, 2013, № 2, с. 143–160
10. Francombe M.H. Lattice changes in spinel-type iron chromites.// Phys. Chem. Solids Pergamon Press. 1957. pp. 37-43
11. Robbins M., Wertheim G.K., Sherwood R.C., Buchanan D.N.E., Magnetic properties and site distributions I the system $\text{FeCr}_2\text{O}_4\text{-Fe}_3\text{O}_4(\text{Fe}^{2+}\text{Cr}_{2-x}\text{Fe}_x^{3+}\text{O}_4)$. //Phys. Chem Solids Pergamon Press. 1971. Vol. 32. pp. 37-43

Палеомагнетизм и петромагнетизм океанских и морских донных осадков.

Часть 1. Характеристическая ориентационная намагниченность, магнитное состояние частиц

М.И.Малахов, Г.Ю.Малахова

СВКНИИ ДВО РАН, Магадан

Донные осадки дальневосточных морей являются благоприятными объектами палеомагнитных и палеоклиматических реконструкций высокого разрешения [2, 11-12]. Характеристическая намагниченность отложений Охотского и Берингова морей несет объективную информацию о величине геомагнитного поля [2, 3, 6]. Диагенетические изменения в магнитной фракции, связанные с ее полным или частичным растворением, пока не позволяют использовать осадки Японского моря для реконструкции палеонапряженности [8]. Донные осадки приэкваториальной зоны Тихого океана являются представительным объектом для изучения механизма ориентационного намагничивания, так как содержат в основном однодоменные (SD) и псевдооднодоменные (PSD) магнитные частицы титаномагнетитового ряда, а реология несущей немагнитной матрицы хорошо изучена. Из-за малых скоростей осадконакопления в этом районе геомагнитные записи имеют низкое разрешение.

Характеристическая ориентационная намагниченность Природная ориентационная намагниченность является заведомо палеомагнитно-информативной. В последние годы уточнен механизм, фиксирующий пространственную ориентацию магнитных частиц в немагнитной матрице. Стремясь к равновесному значению в геомагнитном поле K , намагниченность осадка ниже границы «вода-дно» представляет собой временную кривую