

**Петромагнитные характеристики плейстоценовых пеплов разреза Половинка, Центральная Камчатская депрессия, Камчатка**

**А.Н. Наумов<sup>1</sup>, С.С. Бурнатный<sup>1</sup>, П.С. Минюк<sup>1</sup>, А.Г. Зубов<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>Северо-Восточный комплексный научно-исследовательский институт им. Н.А.Шило ДВО РАН, Магадан, e-mail: naumov240395@gmail.com

<sup>2</sup>Институт вулканологии и сейсмологии ДВО РАН, Петропавловск-Камчатский,

Приведены результаты петрофизических характеристик плейстоценовых пеплов разреза Половинка (Камчатка, Центральная Камчатская депрессия). Определены магнитные свойства, точки Кюри магнитных минералов, доменная структура.

*Объект исследований.* Разрез Половинка расположен в правом борту реки Камчатка в 20 км ниже по течению п. Кирганик Мильковского района Камчатского края (158° 55,670' в.д., 54° 54,654' с.ш.). Представляет собой крутой обрыв высотой около 80 м. В разрезе изучено 5 толщ (снизу-вверх), названия которых заимствованы из работы [1].

1. Толща синих глин (ТСГ). Представлена сизовато-серыми ленточными горизонтально слоистыми глинами в нижней части и неслоистыми глинами в верхней части толщи. В толще отмечены прослой песка и белёсого пепла (до 5 см), а также мелкая галька. Генезис толщи озёрный. Мощность составляет ~ 4,0 м.

2. Аллювиальная толща (АТ). Представлена косослоистыми песками зеленовато-серого цвета, с прослоями галечника и гравийника и редкими линзами супесей и суглинков. Местами толща сильно окислена, имеет бурый цвет с корками гидроокислов железа. В нижней части толщи отмечены включения стволов деревьев, скопления веток. Мощность толщи 24 м.

3. Мореноподобная толща (МТ). Представлена галечниками, преимущественно с мелкой галькой с супесчано-глинистым заполнителем. Толща косослоистая, слоистость крупная, материал внутри косых серий не сортирован, встречаются валуны. В нижней части толщи отмечены инородные блоки галечников, песков. Блоки облекаются слоями песчано-глинистого материала, указывающие на течение во время накопления толщи. Переход между 2-й и 3-й толщиной постепенный. Местами на толще залегают косослоистые пески и галечники, часто ожелезнённые до рыжеватого цвета. Мощность толщи не постоянна, в исследованной части разреза составляет ~18 м.

4. Озёрно-аллювиальная толща (ОАТ). Переслаивание прослоев сизовато-серых глин, суглинков и бурых галечников, песков. В 40 см от кровли прослой пепла (5 см) с псевдоморфозой по жильному льду, проникающей на 30 см в нижележащие слои. Толща водного генезиса. Мощность 2,7 м.

5. Покровная полигенетическая толща (ППТ). Исследована в 6 расчистках. Толща неоднородная по составу и строению. Сложена преимущественно серыми, оливково-серыми супесями и тонкозернистыми глинистыми песками, чередование которых придает горизонтальную слоистость, особенно ясно выраженную в нижней части (5 м) толщи. В толще отмечены остатки разложившейся органики бурого цвета, характерно сильное ожелезнение, распространённое локально и по слоистости. В средней части выявлен слой гумусированной супеси, мощностью 2,5 м. В нижней части слоя цвет осадков тёмно-серый, который становится более светлым к кровле. В слое выявлены линзы органики (торфа, веток) тёмно-коричневого цвета, опробованные на радиоуглеродное датирование. Для покровной толщи характерны многочисленные

криогенные нарушения, в виде псевдоморфоз по ледяным жилам (рис. 1Б, В). Мощность толщи около 35 м.

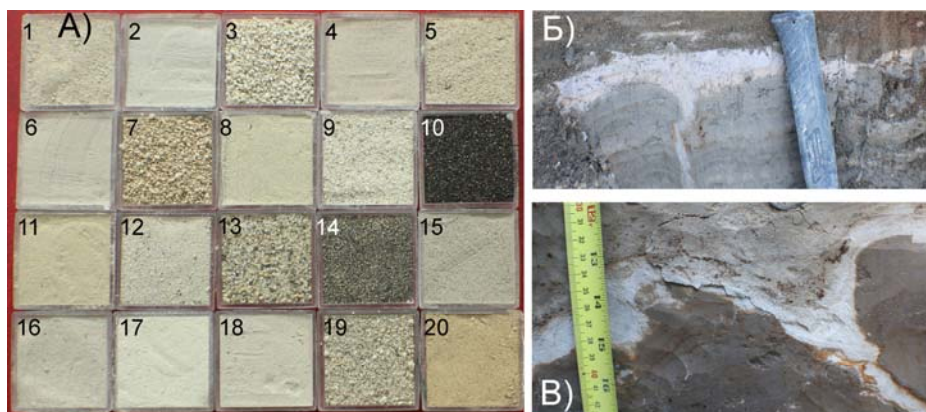


Рис. 1. Пеплы разреза Половинка в контейнерах с ребром 2 см (А), псевдоморфозы по ледяным жилам, выполненные пеплом (Б, В).

В толще отмечены прослои пеплов различного состава и зернистости (рис. 1А). В большинстве случаев прослои не выдержаны по простиранию, залегают линзообразно и в виде карманов различной мощности (до 15–20 см). Наиболее заметным в разрезе является пепел 12, который по всему обнажению разорван мерзлотными процессами. Многочисленные линзы пеплов до нескольких мм встречаются по всей толще. Пепел 13 и 19, отобранные в разных частях обнажения, являются, видимо, одновозрастными.

*Методика исследований.* Измерения магнитной восприимчивости ( $M$ ,  $\chi$ ) и исследование её при высоких температурах проведены на многофункциональном каппаметре МФК1-ФА с термоприставкой CS-3 (AGICO Ltd.). Скорость нагрева и остывания составляла около 12–13°C/мин, максимальная температура нагрева – 700°C. Прогрев выполнен в воздушной и аргоновой средах. Гистерезисные параметры, включая остаточную намагниченность насыщения ( $J_{rs}$ ), намагниченность насыщения ( $J_s$ ), индуктивную намагниченность ( $J_i$ ), коэрцитивную силу ( $B_c$ ), остаточную коэрцитивную силу ( $B_{cr}$ ), измерены на автоматическом коэрцитиметре J-meter [Буров и др., 1986]. Максимальная индукция поля составляла 500 мТл. Термокаппаметрия позволяет определить температуры Кюри магнитных минералов, гистерезисные характеристики – доменное состояние магнитных частиц.

*Результаты исследований.* Магнитные характеристики пеплов приведены в табл. 1. Слабомагнитными являются пеплы 16 и 18,  $M$  которых составляет 0,6 м<sup>3</sup>/кг, 10<sup>-6</sup>. Эти пеплы отобраны под покровной толщей. Пепел 16 залегают внутри почвенно-растительного слоя в расчистке 5, пепел 18 находится в озёрно-аллювиальной толще (рис. 1Б). Отношения гистерезисных характеристик  $J_{rs}/J_s$  и  $B_{cr}/B_c$  вынесены на диаграмму Дея [2], что позволило оценить доменное состояние магнитных минералов. Практически все пеплы расположены в области или вблизи области многодоменных частиц (рис. 2). Пеплы 10, 18 и 6 попадают в область псевдооднодоменных частиц и имеют максимальные значения коэрцитивной силы (табл. 1). Пеплы 3 и 9 характеризуются минимальными отношениями  $J_{rs}/J_s$  и  $B_{cr}/B_c$ .

Пеплы отличаются по набору магнитных минералов, определённых термокаппаметрией. Анализировались кривые  $k(T)$  нагрева и остывания (рис. 3).

Пеплы 6, 10, 11 и 18 магнетитовые ( $T_c = 590–600^\circ\text{C}$ ). Магнетит присутствует и в других пеплах, однако, судя по кривым  $k(T)$ , в незначительном количестве. Основными магнитными минералами являются титаномагнетиты. Выделяется, как правило, несколько фаз с разными температурами Кюри. Устойчивые титаномагнетиты с очень низкими точками Кюри (80–105°C) установлены в пеплах 1, 2, 5, 9, 12 (рис. 3). Фазы титаномагнетитов с высокими температурами Кюри отличаются по устойчивости к

нагревам. Судя по кривым  $k(T)$  остывания, среди двух фаз, фаза с большей точкой Кюри не устойчива к нагреву в аргоновой среде. На кривых остывания она исчезает, в то время как более отчётливо проявляется фаза с более низкой точкой Кюри. Предполагается, что в аргоновой среде происходит восстановление окисленных титаномагнетитов. Кривые остывания лежат выше кривых нагрева (образовался более магнитный минерал). Обратный результат получен при нагреве пеплов в воздушной среде (детально исследован пепел 14). Кривые остывания лежат ниже кривых нагрева, а точки Кюри фаз на кривых остывания сдвигаются к более высоким температурам и сохраняются при нагревах второго и третьего циклов (рис. 3). В процессе нагрева в воздушной среде происходит окисление магнитных минералов с образованием менее магнитных фаз.

**Таблица 1. Петромагнитные характеристики пеплов**

Пепел	Толща – № расчистки – глубина, м	$B_c$ , мТл	$B_{cr}$ , мТл	$J_s$ , Ам <sup>2</sup> /кг	$J_{rs}$ , Ам <sup>2</sup> /кг	$J_{rs}/J_s$	$B_{cr}/B_c$	$\chi_s$ , м <sup>3</sup> /кг, 10 <sup>-6</sup>
1	ППТ – 1 – 3,7	4,39	26,83	0,78	0,04	0,05	6,11	6,912
2	ППТ – 2 – 1,5	5,64	25,28	0,61	0,05	0,08	4,48	5,047
3	ППТ – 3 – 2,2	1,33	16,19	0,77	0,01	0,01	12,16	6,691
4	ППТ – 3 – 4,8	8,68	44,23	0,12	0,01	0,10	5,10	0,966
5	ППТ – 3 – 5,4	2,55	24,99	0,26	0,01	0,04	9,82	2,751
6	ППТ – 3 – 5,6	14,07	35,72	0,09	0,02	0,18	2,54	0,836
7	ППТ – 3 – 10,2	2,30	17,16	0,81	0,03	0,03	7,47	8,481
8	ППТ – 3 – 11,0	4,53	28,08	0,18	0,01	0,04	6,20	1,296
9	ППТ – 3 – 12,1	1,17	14,63	1,31	0,02	0,01	12,51	12,61
10	ППТ – 5 – 15,4	34,80	80,68	0,99	0,31	0,31	2,32	8,683
11	ППТ – 5 – 15,7	8,76	41,23	0,29	0,02	0,07	4,71	2,035
12	ППТ – 5 – 20,5	3,94	33,83	0,19	0,01	0,05	8,59	2,003
13	ППТ – 4 – 23,0	2,77	27,42	0,77	0,03	0,03	9,88	13,36
14	ППТ – 4 – 24,9	3,37	27,58	1,42	0,06	0,04	8,20	14,76
15	ППТ – 4 – 25,1	6,13	36,74	0,45	0,04	0,08	5,99	4,307
16	ППТ – 5 – 29,5	6,77	48,62	0,06	0,004	0,07	7,18	0,593
17	ТСГ	6,01	33,67	0,10	0,01	0,08	5,60	1,011
18	ОАТ – 6	16,10	46,49	0,08	0,01	0,18	2,89	0,679
19	ППТ – 6	3,18	28,53	0,64	0,02	0,03	8,96	4,384
20	ППТ – 6	6,51	33,46	0,51	0,04	0,07	5,14	5,479

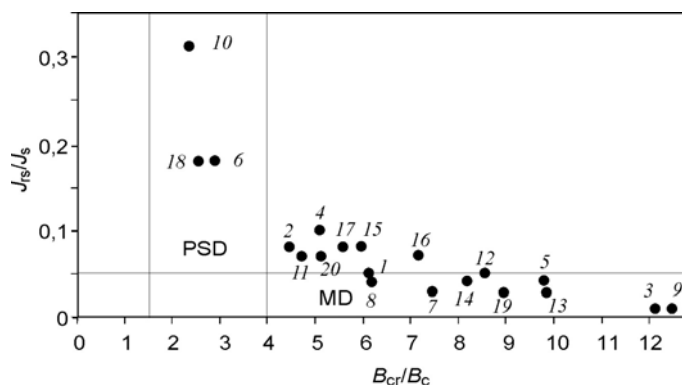


Рис. 2. Диаграмма Дея. MD (PSD) – многодоменные (псевдооднодоменные) частицы. Цифрами обозначены пеплы

Результаты исследования магнитной восприимчивости в полях от 2 до 700 А/м выявили, что МВ большинства образцов возрастает с увеличением магнитного поля.

В поле 700 А/м её величина превышает на 5–17% первоначальную. Рост магнитной восприимчивости с увеличением поля в горных породах типичен для

титаномагнетитов [3] и не характерен для магнетитов. Установлено, что магнитная восприимчивость не возрастает при увеличении поля для пеплов 6, 10, 11, 18, магнитные минералы которых представлены преимущественно магнетитами (рис. 3).

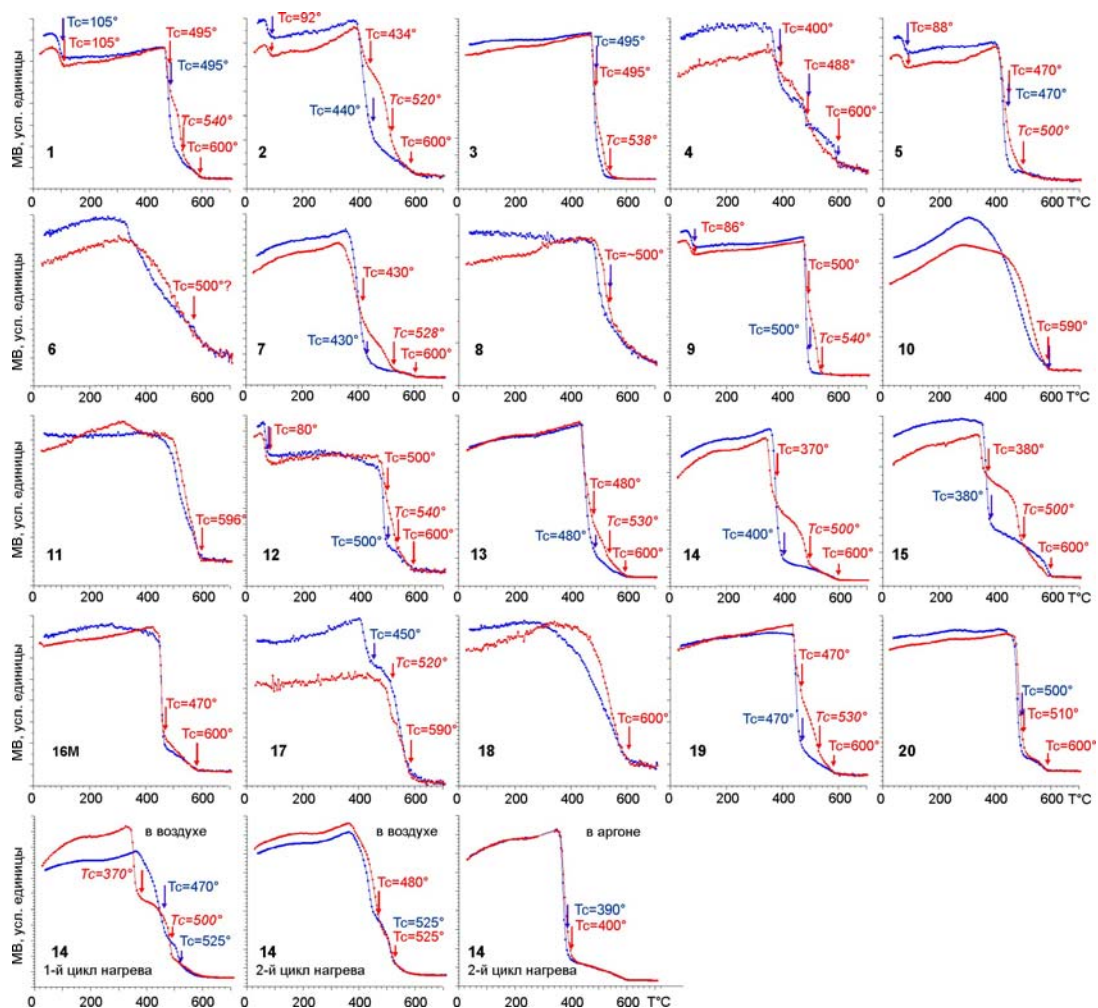


Рис. 3. Кривые термокаппаметрии пеплов. Красным (синим) цветом обозначены кривые нагрева (остывания), курсивом – неустойчивые к нагреву магнитные фазы, жирным шрифтом – номера пеплов

Работа выполнена при поддержке грантов РФФИ 15-05-06420, ДВО РАН 15-I-2-067.

### Список литературы

1. Брайцева О.А., Мелекесцев И.В., Евтеева И.С., Лупкина Е.Г. Стратиграфия четвертичных отложений и оледенения Камчатки. М.: Наука, 1968. 228 с.
2. Буров Б.В., Нургалеев Д.К., Ясонов П.Г. Палеомагнитный анализ. Казань: изд-во КГУ, 1986. 167 с.
3. Day R., Fuller M., Schmidt V.A. Hysteresis properties of titanomagnetites: grain-size and compositional dependence // *Physics of the Earth and Planetary Interiors*. 1977. V. 13. P. 260–267.
4. Hrouda F., Chlupacova M., Mrazova S. Low-field variation of magnetic susceptibility as a tool for magnetic mineralogy of rocks // *Physics of the Earth and Planetary Interiors*. 2006. V. 154. P. 323–336.