

Е. К. МАРХИНИН, В. Б. ПУГАЧ, С. Н. МАРХИНИНА

ОБ ЕСТЕСТВЕННОЙ НАМАГНИЧЕННОСТИ ПЕПЛОВЫХ СЛОЕВ РАЙОНА КЛЮЧЕВСКОЙ ГРУППЫ ВУЛКАНОВ

В течение последних лет многими исследователями проводилось изучение остаточной намагниченности современных и древних лав разных районов, в частности Камчатки и Курильских островов (Мархинин, Поспелова, 1959; Поспелова, 1959). Однако до сих пор не было уделено внимания изучению естественной намагниченности пепловых горизонтов. Оставалось не ясным, обладают или не обладают пепловые горизонты естественной ориентированной намагниченностью, возможно ли использовать направление в них вектора остаточной намагниченности для решения каких-либо геологических задач. Настоящая работа имеет целью ответить на эти вопросы.

В районе Ключевской группы вулканов пепловые горизонты залегают стратиграфически выше древнечетвертичных (предположительно мегаплагиофировых, по Б. И. Пийпу) лав и в большинстве своем выше четвертичных моренных образований. Более древние пепловые горизонты в районе Ключевской группы вулканов не известны. Мощность отдельных пепловых слоев не превышает нескольких десятков сантиметров. В разрезах пепловые слои чередуются с элювиально-делювиальными и почвенными образованиями. Общая мощность этих отложений в районе редко превышает 10—12 м. На общем темном фоне разрезов выделяются, благодаря своей светло-серой, почти белой, окраске, пеплы вулкана Шевелуч и возможно древних извержений вулкана Безымянного. Пепловые горизонты вулкана Шевелуч, некоторые из которых связываются с грандиозными историческими извержениями этого вулкана и таким образом сравнительно точно датируются, являются хорошими маркирующими горизонтами. Ниже приводится один из наиболее полных разрезов новейших рыхлых четвертичных отложений района.

РАЗРЕЗ ШУРФА НА ТЕРРИТОРИИ ВУЛКАНОСТАНЦИИ

Мощность,

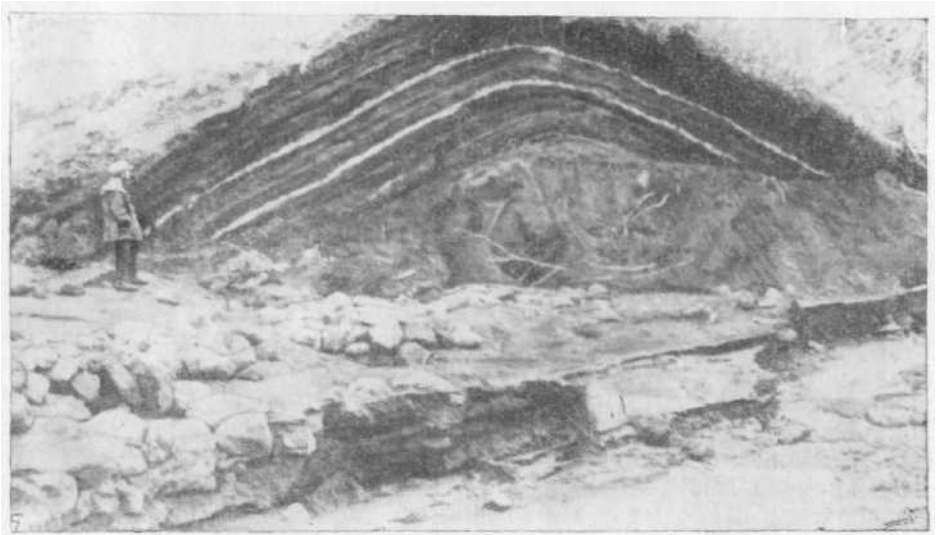
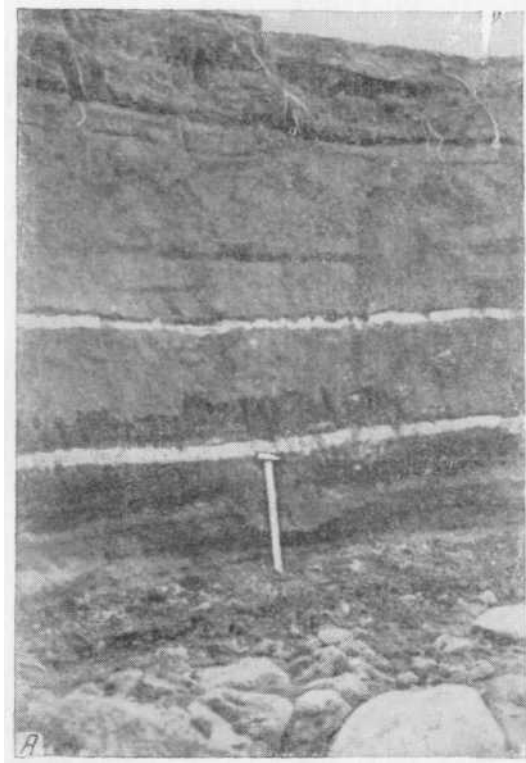
см

1. Почва с остатками растительности	3
2. Светло-серый пепел извержения вулкана Безымянного 30 марта 1957 г.	2
3. Почва с остатками растительности	12
4. Пепел светло-серого, почти белого, цвета извержения вулкана Шевелуч, согласно Пийпу, предположительно 1954 г. (1-й основной пепловый горизонт вулкана Шевелуч)	5
5. Почва с очень тонким прерывистым прослоем светло-серого пепла в средней части. Согласно Пийпу, этот пепловый прослой образовался при извержении Шевелуча предположительно в 1810 г.	5
6. Светло-серый, почти белый, пепел Шевелуча (2-й основной пепловый горизонт вулкана Шевелуч)	7
7. Светлосерый среднезернистый пемзовый песок Шевелуча. (Слом 6, 7, согласно Пийпу, образовались при извержении вулкана Шевелуч предположительно в 1780 г.)	3

	Мощность, м
8. Почва с остатками растительности с тонким прослоем черного вулканического песка в основании слоя	12
9. <i>Светло-серый, почти белый, пепел вулкана Швелуч (3-й основной пепловый горизонт вулкана Швелуч)</i>	4
10. Среднезернистый пемзовый песок. (Слои 9 и 10 образовались при извержении вулкана Швелуч, согласно Б. И. Пийпу, предположительно в XVI в.).	4
11. Почва с остатками растительности	5
12. Среднезернистый вулканический песок	1
13. Почва с остатками растительности	6
14. Светло-серый тонкий вулканический песок	2
15. Почва с остатками растительности	6
16. <i>Светлый вулканический пепел желтоватого цвета, образовавшийся при извержении вулкана Швелуч, согласно Пийпу, предположительно в XV в. (4-й основной пепловый горизонт вулкана Швелуч)</i>	10
17. Супесь бурого цвета	5
18. Тонкозернистый вулканический песок темно-серого цвета	2
19. Почва ожелезненная	2
20. Тонкозернистый вулканический песок светло-серого цвета	3
21. Переслаивание темных почвенно-пепловых слоев в верхней части буроватого цвета	70
22. Крупнозернистый вулканический песок и лапилли желтовато-серого цвета.	2
23. Переслаивание почвенно-пепловых слоев преимущественно темного цвета (Пеплы Ключевского вулкана)	3
24. Крупнозернистый вулканический песок и лапилли рыжевато-бурого цвета	7
25. Суглинок бурого цвета	8
26. Пепел светло-серый тонкий	1
27. Супесь серовато-бурого цвета	17
28. Пепел желтовато-бурого цвета	9
29. Супесь серовато-бурого цвета с примесью крупнозернистого вулканического песка	20
30. Супесь бурого цвета с примесью лапилли и крупнозернистого вулканического песка	50
31. Лапилли желтовато-бурого цвета	5
32. Пепел и лапилли бурого цвета	8
33. Супесь бурого цвета	25
34. Песок крупнозернистый с галькой	40
35. Галечники с линзами темно-серого песка	75
36. Песчано-глинистые отложения с косою слоистостью, по-видимому, флювиогляциальные	300
37. <i>Пепел рыжевато-бурого цвета с примесью супеси. (Древний пепловый горизонт вулкана Швелуч?)</i>	35
38. Песок темно-серого цвета	15
39. Лава пузыристая, черная, с вкрапленниками плагиоклаза, в верхней части ошлакованная.	82

В петрографическом отношении темные пеплы (пеплы вулканов Ключевская сопка и Толбачик) резко отличаются от светлых пеплов (пеплов вулканов Швелуч и Безымянного). Первые имеют состав базальта или андезито-базальта и состоят из обломков вулканического стекла, основного плагиоклаза, оливина, авгита и иногда гиперстена. Вторые имеют состав кислого андезита или дацита и состоят из обломков светлого вулканического стекла, менее основного плагиоклаза, роговой обманки и, реже, гиперстена. Рудный минерал в тех и других представлен главным образом зернышками магнетита, причем он содержится в виде мельчайших включений и в обломках вулканического стекла. Обычный размер пепловых частиц — сотые доли миллиметра. Однако 35% всех отобранных из пепловых горизонтов образцов содержит небольшой процент фракции с диаметрами $d > 0,25$ мм. К общему весу отобранных пепловых образцов фракция $d > 0,25$ мм составляет только 3,2%.

Пепловые слои в районе залегают, как правило, горизонтально. Однако, в отличие от большинства осадочных отложений, пепловые слои



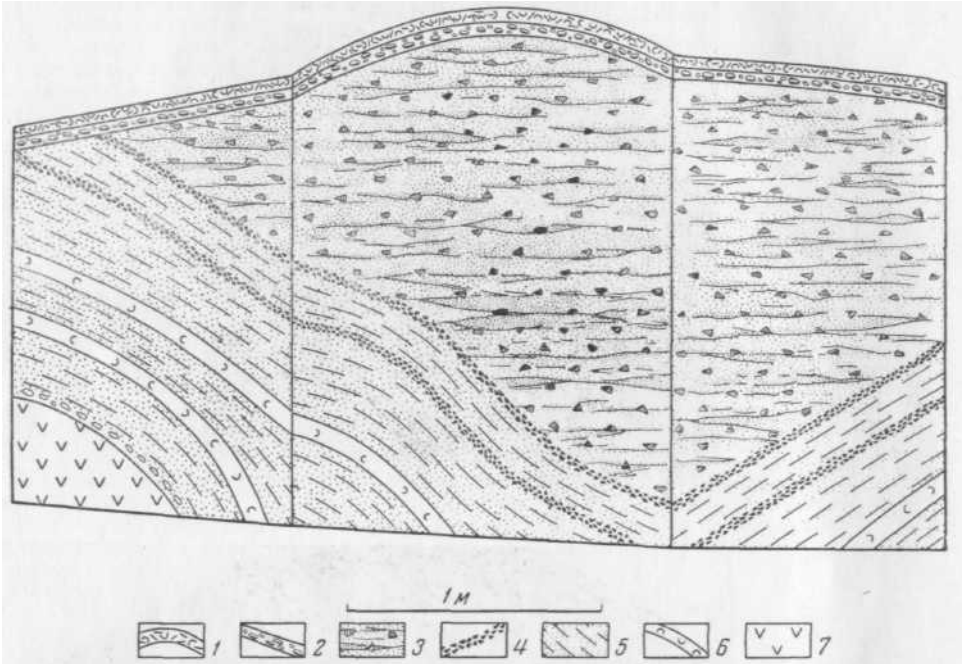
Фиг. 1. Пепловые горизонты вулкана Шивелуч
A — горизонтальное залегание; *B* — одна из многочисленных складок «облегания»

характеризуются способностью повторять существующие формы рельефа. Поэтому в ряде случаев они образуют «складки облегания» (фиг. 1) над моренными холмами, старыми шлаковыми конусами и т. п. На крыльях этих складок пепловые слои наклонены большей частью полого, но иногда углы их падения достигают $30-35^\circ$. Любопытно, что мощности пепловых слоев на крыльях и в осевой части складки остаются почти постоянными (по простиранию). Когда такие складки перекрываются более молодыми горизонтально залегающими отложениями (отложения

Западная стенка шурфа

Северная стенка шурфа

Восточная стенка шурфа



Фиг. 2. Погребенная пепловая складка. Разрез шурфа на восточном склоне Ключевского вулкана в районе сейсмической станции Апахончич. Документировал Л. А. Семенов
 1 — пепел вулкана Безымянного извержения 1956 г.; 2 — орешковый шлак базальтового состава; 2 — отложения сухой речки (грубообломочный вулканогенно-кластический материал); 4 — грубозернистый вулканический песок; 5 — темные почвенно-пепловые слои; 6 — пепловые горизонты вулкана Швелуч; 7 — базальтовая лава

сухих рек и т. п.), создается полное впечатление резкого углового несогласия. Примером такого «углового несогласия» является взаимоотношение пепловых слоев и отложений сухой речки, вскрытое шурфом у подножья восточного склона Ключевского вулкана в районе сейсмической станции Апахончич (фиг. 2).

Для определения величины и направления вектора остаточной намагниченности в пепловых слоях из них отбирались ориентированные образцы. Образцы отбирались из пепловых слоев с мощностью не менее 2,5 см. Методика их отбора сводилась к следующему. На местности выкапывали шурф с ориентированными с помощью горного компаса стенками. Затем склеенные из органического стекла кубики с внутренней длиной ребра 2,4 см, с которых предварительно снимали крышки, вдавливали ладонью в пепловые слои на одной из стенок шурфа. Направление С — Ю указывалось стрелкой на верхней грани кубика. Независимо от наклона пеплового слоя, кубики вдавливали таким образом, чтобы их верхняя и ниж-

няя грани были горизонтальны. В случае, если пепловые слои обладали значительной плотностью, для стенок кубика отверстия предварительно прорезывались ножом. Обычно из каждого пеплового слоя в каждой точке отбирали по три образца. Определение остаточной намагниченности производили непосредственно в поле на астатическом магнитометре С. Ш. Долгинова. В случае больших расхождений результатов по трем образцам отбирались дополнительные образцы. Средний вес отобранных образцов пепла составляет 12,8 г. Учитывая, что объем кубика равен $13,8 \text{ см}^3$, мы получаем средний удельный вес пепла (высушенного) $0,92 \text{ г/см}^3$.

Измерения проводились на двух каретках для положения кубика последовательно: «Севером» (С), «Югом» (Ю), «Востоком» (В), «Западом» (З), «Верхом» (+Z) и «Низом» (-Z) к астатической системе.

Для каждого положения делалось четыре отсчета при поворотах кубика вокруг осей С — Ю, В — З, Z на 90° . Знаки отклонений изображения шкалы выбраны таким образом, что отклонение вправо считается положительным при помещении на правую каретку постоянного магнита севером к астатической системе.

Пример записи отсчетов отклонений шкалы приведен ниже (табл. 1).

Таблица 1

Образец №4

(Пепел Шевелуча XV в.)

Расстояние от центра кубика до астатической системы 23 мм.
Правая шина (отсчеты по шкале)

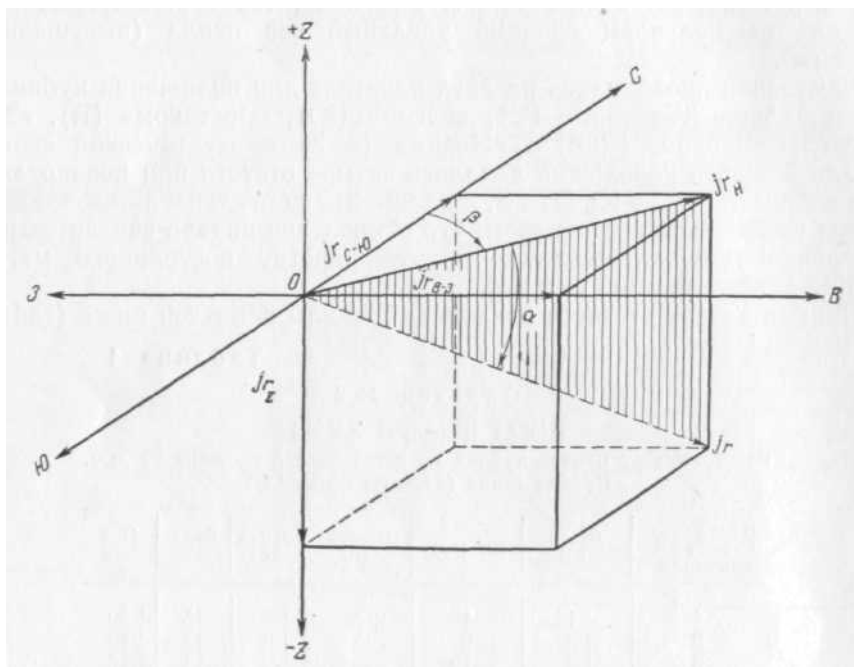
Положение кубика при вращении	Север (С)	Юг (Ю)	Восток (В)	Запад (З)	Верх +Z	Низ -Z
1	+14	-1	+5	+9	-15	+20
2	+9	-6	-2	+2	-14	+19
3	+5	-10	-4	-2	-14	+16
4	+11	-5	+3	+5	-14	+18
Среднее	+9,7	-5,5	+0,5	+3,5	-14,4	+18,2

Использовались средние из отсчетов по правой и по левой шине для каждой составляющей.

По данным отсчетов определялось положение вектора остаточной намагниченности J_r в прямоугольной системе координат (фиг. 3), в которой направления С—Ю, В—З соответствуют современному магнитному полю Земли, а ось Z является вертикальной осью. Положение вектора остаточной намагниченности определяется углами α и β . Вычисление этих углов, а также составляющих вектора индуктивного намагничивания xH , магнитной восприимчивости x и отношения $Q = J_r / xH$ производилось по известной методике (Храмов и др., 1961). Значения x и Q вычислялись для $H = 0,5$ э. Значения x , xH и J_r для каждого образца в отдельности не приводятся. Для большинства изученных образцов пепла x колеблется в пределах от $40 \cdot 10^{-6}$ до $400 \cdot 10^{-6}$ единиц CGSM (среднее $150 \cdot 10^{-6}$). xH для $H = 0,5$ э соответственно в пределах от $20 \cdot 10^{-6}$ до $200 \cdot 10^{-6}$ гс. J_r обычно в пределах $(10^{-4} - 10^{-6})$ гс. Применявшаяся методика не позволяет точно определять $Q = J_r / xH$. Приближенные оценки показывают, что Q лежит в пределах $0,5 - 3,0$.

Измерение отклонения астатической системы для каждого из шести положений кубика («С», «Ю», «В», «З», +Z, -Z — к магниту астатиче-

ской системы — всего с контрольными 60 замеров для каждого образца) имело целью уменьшить ошибки в определении положения вектора из-за неравномерности распределения в кубике магнитных частичек. По-видимому, наиболее неравномерно магнетит распределен был в кубиках в направлении по оси Z благодаря несомненно происходящей в пепловых слоях гравитационной дифференциации материала при их образовании и в процессе их постепенного уплотнения.



Фиг. 3. Вектор остаточной намагниченности J_r , его составляющие и углы α и β , определяющие его положение по отношению к современному магнитному полю. Ось С — Ю направлена по геомагнитному меридиану, ось В—З — по геомагнитной параллели

Анализы трех образцов пепла (фракция $d < 0,25$ мм), отобранных из верхней, средней и нижней части второго основного пеплового горизонта вулкана Шевелуч на территории Вулканостанции показали следующее содержание железа в пересчете на закисную форму.

Место взятия пробы	Верхняя часть слоя	Средняя часть слоя	Нижняя часть слоя
Содержание FeO	3,56%	5,58%	5,77%

Результаты проведенных измерений положения вектора естественной остаточной намагниченности в пепловых слоях сведены в табл. 2. Среднее значение угла β по всем измерениям $+ 3 \pm 10^\circ$.

Приведенные данные свидетельствуют о следующем.

1. Тонкие вулканические пеплы в первичном залегании обладают остаточной намагниченностью.
2. Направление остаточной намагниченности в изученных пепловых слоях так же, как в современных лавах, близко к направлению магнитного поля Земли в районе исследования, где $\alpha \approx 70^\circ$.
3. Направление остаточной намагниченности в образцах из изученных пепловых слоев не зависит существенно от характера залегания слоя (горизонтальное, круто наклонное и т. п.).

Таблица 2*

Пепловый горизонт	Число точек взятия образцов	α		β	
		среднее	наблюдавшиеся пределы	среднее	наблюдавшиеся пределы
1-й Шевелуча	19	$55 \pm 5^\circ$	70—41°	$14 \pm 9^\circ$	+36—3°
2-й Шевелуча	46	$65 \pm 6^\circ$	79—47°	$10 \pm 8^\circ$	-27—+41°
3-й Шевелуча	36	$65 \pm 6^\circ$	79—54°	$-5 \pm 3^\circ$	-40—+46°
4-й Шевелуча	17	$73 \pm 8^\circ$	87—52°	$-10 \pm 7^\circ$	-40—+26°
Ключевской	4	$64 \pm 7^\circ$	77—60°	$13 \pm 3^\circ$	0—+18°
Безымянной 1956 . .	3	$53 \pm 9^\circ$	66—44°	$-19 \pm 12^\circ$	-10—37°

* В табл. 2 и 4 в тексте средние значения α и β приводятся с интервалом доверия по критерию стьюдента для $P = 0,95$.

4. Изменения направления остаточной намагниченности с течением времени (приблизительно с XV в. по 1956 г.), судя по образцам из изученных пепловых слоев, близки по значениям к ошибкам измерения.

Эти выводы, полученные измерениями магнитных свойств образцов пепла, вытекают как следствие из механизма образования остаточной намагниченности в вулканических пеплах.

Механизм образования остаточной намагниченности в вулканических пеплах является некоторым образом, средним между механизмом образования остаточной намагниченности в лавах и механизмом образования остаточной намагниченности в осадочных горных породах. У механизма образования остаточной намагниченности в пеплах общим с механизмом образования остаточной намагниченности в лавах является то, что ювенильные пепловые частицы так же, как и лавы, приобретают свою остаточную намагниченность при переходе их температуры через точку Кюри. Для ювенильного вулканического пепла это практически происходит в момент взрыва. Однако остаточная намагниченность пеплового слоя образуется за счет упорядоченности в расположении магнитных пепловых частиц в пепловом слое, которая является следствием того, что большая или меньшая часть пепловых частиц приобретает большую или меньшую ориентированность в соответствии с магнитным полем Земли при падении их из пепловой тучи на землю, т. е. так же, как и у осадочных пород в процессе их отложения.

Естественно, что ориентироваться при падении могут лишь достаточно легкие частицы. Ориентировка магнитных пепловых частиц при падении их в воздухе подтверждена следующим простым опытом. Некоторое количество (несколько килограммов) вулканического пепла, накопленного из пеплового слоя извержения Шевелуча 1780 г., после тщательного перемешивания просеивалось с высоты около 1 м через мелкое сито над пластмассовой коробкой, ориентированной длинной стороной по магнитному меридиану и закрепленной в этом положении. Из образовавшегося в результате этого на дне коробки пеплового слоя отбирались ориентированные образцы. Измерения показали наличие в них слабой остаточной намагниченности, соответствующей магнитному полю Земли. При просеивании этого же пепла над слоем воды толщиной в 1,5 см полученный пепловый слой обладал остаточной намагниченностью значительно большей. Результаты этих опытов приведены в табл. 3.

Нагата (1956) отмечал, что степень ориентации магнитных частиц в осадке определяется временем их осаждения, если значения величины магнитного поля, в котором происходит осаждение частиц, количества осаждающихся частиц, их магнитных моментов и коэффициентов вязко-

сти среды по отношению к поступательному и вращательному движению частиц остаются неизменными.

Зависимость же между размером частиц и скоростью их осаждения определяется известной формулой Стокса: $v = F/\mu r$ где v — скорость осаждения, F — сила сопротивления, μ — коэффициент вязкости среды по отношению к поступательному движению, r — радиус частицы.

Таблица 3

Положение вектора намагничивания в искусственном пепловом слое

Отложение пепла	Количество образцов	α	β	Q
В воздухе	8	$65 \pm 3^\circ$	0°	$0,5-1,0$
В воде	9	$68 \pm 7^\circ$	$-23 \pm 12^\circ$	$1,5 \pm 0,2$

Следовательно, при равенстве отмеченных выше условий степень ориентации магнитных частиц в пепловом слое тем больше, чем больше размер пепловых частиц.

Некоторые пепловые слои района Ключевской группы вулканов (пеплы Швелуча извержений 1780 г. и 1854 г., пеплы вулкана Безымянного извержения 1956 г.) покрывают громадные площади. Это свидетельствует об их отложении из пепловых туч, перемещавшихся на большие расстояния благодаря воздушным течениям. Какое же влияние могли оказать ветры на ориентацию магнитных частиц в пепловых слоях? Эксперименты, проведенные с отложением тонкого песка (Нагата, 1956), показали, что, когда воде придавалось быстрое вращательное движение, направление магнитной ориентации осадка смещалось по направлению вращения до 40° от направления действовавшего магнитного поля. Повидимому, значительные отклонения векторов естественной намагниченности от направления современного магнитного меридиана (как правило, не более 40°) у некоторых образцов пепла можно приписать влиянию вихревых воздушных течений. С другой стороны, возможно, что известную корректировку по направлению магнитного поля Земли вектор остаточной намагниченности в пепловом слое получает уже после отложения пепла в процессе его постепенного уплотнения и в особенности в моменты сравнительно частых в районе землетрясений. О возможности этого свидетельствует, в частности, следующий простой опыт. Несколько килограммов вулканического пепла, отобранного из пеплового слоя извержения вулкана Швелуч 1780 г., было тщательно перемешано, после чего пепел размещен слоем толщиной в 5 см в двух картонных коробках. Одна из них была прикреплена на длинной доске к работающему двигателю и ориентирована по магнитному меридиану. После 3 часов работы двигателя и соответственно непрерывного сильного дрожания коробки с пеплом из нее были отобраны ориентированные образцы. Все они показали очень слабую ($Q < 1$) направленную по полю Земли намагниченность ($\alpha = 72 \pm 10^\circ$, $\beta = 0^\circ$), в то время как в контрольной коробке (не подвергшейся трясению) $I_r = 0$. Пепловые горизонты в районе местами интенсивно разрушаются временными потоками, их материал часто перемешивается и переотлагается иногда на значительных расстояниях. Пеплы извержения вулкана Безымянного на пространствах, не покрытых растительностью, часто переотлагаются ветром. Изучение образцов переотложенных водой и ветром пеплов, а также тонкого пирокластического

материала агломератового потока вулкана Безымянного, переотложенного по долине речки Сухая Хапица, показало, что переотложенный тонкий пирокластический материал, так же как вулканические пеплы, в первичном залегании обладает остаточной намагниченностью и что выводы о величине и направлении J_r , сделанные выше для вулканических пеплов в первичном залегании, относятся и к переотложенному тонкому пирокластическому материалу (табл. 4).

Таблица 4

Данные измерений положения векторов естественной намагниченности в переотложенном тонком пирокластическом материале (залегание горизонтальное)

№ образцов	Образец	Место взятия образца	α	β	Q
1	Пепел вулкана Безымянного, переотложенный ветром	Долина реки Камчатки, Филькин мыс	72°	+5°	1
2	То же	Там же	77°	-49°	1
3	Пепел и тонкий материал агломератового потока вулкана Безымянного, переотложенный р. Хапица — илестые отложения весны 1960 г. в пойме	Пойма р. Хапица в 1 км от устья, правый берег . .	52°	-17°	3
4	То же	Там же	+45°	-12°	5
5	» »	» »	56°	-30°	3
6	Пепел и тонкий материал агломератового потока вулкана Безымянного, переотложенный р. Хапица — илестые отложения весны 1960 г. на 1-й надпойменной террасе	1-я надпойменная терраса р. Хапица в 1 км от устья, правый берег	49°	-9°	10
7	То же	Там же	49°	+3°	10
8	» »	» »	50°	+2°	6
9	Тонкий пирокластический материал, преимущественно пепел вулкана Безымянного, переотложенный р. Студеной	Пойма р. Студеной в районе дер. Старая Кравча . .	57°	+38°	1
10	Смытый со стенок овражка и переотложенный ручейками светлый пирокластический материал алевропелитовой фракции	Сухая речка между сопками Большая и Малая Удины	59°	+18°	<1
11	Смытый со стенок овражка переотложенный ручейками темный почвенно-пепловый материал	Сухая речка между сопками Большая и Малая Удины	54°	-46°	<1
12	То же	Там же	30°	+6°	<1
13	» »	» »	40°	-23°	<1

Среднее значение $53 \pm 9^\circ$ $-9^\circ \pm 14^\circ$

Подводя итог всему изложенному, можно сделать следующее заключение о возможности использовать изучение естественной намагниченности пепловых (туфовых) слоев для решения некоторых геологических задач.

1. Пепловые (туфовые) слои, наряду с лавами и некоторыми осадочными породами, возможно в принципе использовать для корреляции геологических разрезов по направлению вектора остаточной намагниченности при условии стабильности намагничивания.

2. Определение вектора остаточной намагниченности в наклонных пепловых (туфовых) слоях дает возможность легко отличить складку облегания от тектонической складки, а тем самым истинную фазу складчатости от ложной.

3. По направлению и величине вектора остаточной намагниченности в общем случае невозможно отличить переотложенный пепловый (туфовый) материал от непереотложенного.

ЛИТЕРАТУРА

- Мархинин Е. К., Поспелова Г. А. Некоторые данные палеомагнитных исследований на Курильских островах. «Изв. АН СССР», серия геофиз., 1959, № 10.
- Нагата Т. Магнетизм горных пород. М., 1956.
- Пийп Б. И. Новое эруптивное состояние вулкана Швелуч с конца 1944 г. по май 1946 г. и некоторые замечания о геологической структуре этого вулкана и его прошлых извержениях. «Бюлл. Вулканол. ст. на Камчатке», 1948, № 14.
- Поспелова Г. А. Остаточная намагниченность третичных и четвертичных изверженных горных пород. «Изв. АН СССР», серия геофиз., 1959, № 11.
- Храмов А. Н., Петрова Г. Н., Комаров А. Г., Кочегура В. В. Методика палеомагнитных исследований. М., Гостоптехиздат, 1961.