

УДК 550.384.33 : 551.794 : 551.217.2

КОЧЕГУРА В. В., ЗУБОВ А. Г., БРАЙЦЕВА О. А.

**МАГНИОСТРАТИГРАФИЯ ГОЛОЦЕНОВЫХ
ПОЧВЕННО-ПИРОКЛАСТИЧЕСКИХ ОБРАЗОВАНИЙ КАМЧАТКИ****Введение**

Изучение истории геомагнитного поля представляет интерес как для познания внутреннего строения Земли, так и для решения вопросов стратиграфии и геохронологии. В обоих случаях одной из основных задач является построение хроностратиграфически обоснованной шкалы изменений геомагнитного поля. Это предъявляет определенные требования к геологическим объектам, используемым для построения такой опорной шкалы. Во-первых, исследуемые породы должны обладать достаточной палеомагнитной стабильностью, позволяющей сохранять в виде первичной остаточной намагниченности направление магнитного поля Земли в период образования пород. Во-вторых, исследуемые разрезы должны иметь палеонтологические, палеоклиматические или геохронологические возрастные привязки. И, в-третьих, в разрезах должна быть представлена достаточно полная и по-возможности непрерывная запись истории геомагнитного поля за исследуемый интервал времени.

Применительно к голоцену, в котором отсутствовали инверсии и экскурсы геомагнитного поля, задача ограничивается изучением палео-вековых вариаций, параметры которых являются единственной для этого времени основой палеомагнитных реконструкций.

Объектом исследований явились широко распространенные на Камчатке отложения голоценового почвенно-пирокластического чехла, перспективность которого для палеомагнитных исследований уже рассматривалась ранее [5]. Почвенно-пирокластический чехол представляет собой своеобразный «слоеный пирог», состоящий из чередования прослоев тефры и погребенных почв, представленных в разной степени гумусированными супесями. Мощность почвенно-пирокластических чехлов у подножия активных вулканов составляет в среднем 3—5 м, максимальная до 15—17 м. Периоды усиления вулканической активности запечатлеваются в чехлах накоплением тефры — лапилли и бомб пемзы или шлака, грубых (вулканический песок и гравий) и тонких (вулканическая пыль) пеплов. Каждый слой тефры отвечает крупному извержению, продолжавшемуся от нескольких часов до нескольких месяцев, а серия таких слоев или пачки слабостратифицированной тефры фиксируют циклы вулканической активности длительностью десятки и сотни лет. В периоды ослабления вулканической деятельности формируются супесчаные горизонты с примесью или неясными прослоями пеплов, а в тех случаях, когда вулканические проявления временно прекращаются, начинают образовываться настоящие почвенные горизонты. Длительность формирования межпепловых прослоев составляет от десятков и сотен лет до 1000—1500 лет для почв мощностью до 15—20 см.

Прекрасные разрезы почвенно-пирокластических чехлов сохраняются у подножия вулканов на водораздельных пространствах, где последовательность отложений не нарушается никакими, даже локальными

ми перемычками. В таких случаях их можно рассматривать как своеобразную геологическую летопись, где последовательно запечатлена вся история района в голоцене.

Присутствие в разрезах почвенно-пирокластических чехлов горизонтов погребенных почв и захороненной древесины позволяет получать достаточно дробные радиоуглеродные датировки. В разрезах, где количество горизонтов погребенных почв велико, удается получить до десятка ^{14}C дат, достаточно равномерно распределенных по разрезу. Это создает хорошую основу для проведения палеомагнитных исследований в отложениях с надежной возрастной привязкой.

Выполненный ранее [1] анализ пригодности пород чехла для палеомагнитных исследований показал их достаточную палеомагнитную стабильность, позволяющую выделять в них первичную остаточную намагниченность. При этом был сделан вывод, что эта намагниченность создается в слоях супесей и пеллов в процессе уплотнения в течение первых месяцев со времени их образования.

В формировании остаточной намагниченности тефры лабораторно была выявлена большая роль просачивающейся через нее атмосферной воды.

Все изложенное послужило основанием для широкого и планомерного магнитостратиграфического изучения почвенно-пирокластического чехла Камчатки.

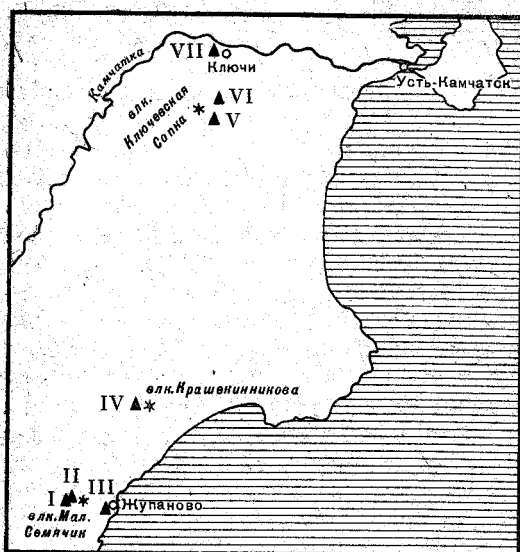


Рис. 1. Схема расположения изученных разрезов. I — Семячик-8, II — Семячик-5, III — Жупаново, IV — Крашенинникова, V — Апачонич, VI — Киргурич, VII — Ключи

районе вулкана Малый Семячик (Семячик-5 и Семячик-8), уже опубликованы [11]. Аналогичная изложенной в приведенной работе методика сбора и первичной обработки данных была применена и на других объектах. Слои опробования с мощностью 4—5 см располагали по возможности вплотную друг к другу. Из каждого слоя отбиралось от четырех до восьми образцов. Не опробовались лишь отложения шлаков (за редкими исключениями), крупнозернистые (>1 мм) вулканические пески и обильно пронизанные современной корневой системой почвенных горизонтов.

Все образцы подвергались магнитной чистке либо в переменных полях 150 и 300 Э, либо при температурах 100 и 200° С с выдержкой при этих температурах в немагнитном пространстве пермалловых экранов в течение 8—12 ч. Как показали предварительные исследования, такая чистка практически полностью удаляет вторичную вязкую намагниченность, составляющую в исследуемых породах в среднем 50%. Для каждого слоя опробования вычислялось среднее направление стабильной остаточной намагниченности и параметры, характеризующие его достоверность по Фишеру (α_{95} и K). При этом в осреднении включалось по одному направлению из двух, полученных в результате магнитной чистки каждого образца с таким расчетом, чтобы параметры разброса

Получение обобщенной кривой

Всего было изучено [7] разрезов (рис. 1). Результаты, полученные по двум из них в

были минимальными. Такая методика была выбрана в связи с тем, что на каждом этапе чистки происходит не только разрушение нестабильной остаточной намагниченности, но и возрастает влияние на результат возмущающих факторов: а) уменьшается общая величина остаточной намагниченности на фоне постоянной индуктивной, что приводит к увеличению погрешности измерения на астатическом магнитометре; б) начинает сказываться вязкая намагниченность, возникающая в процессе измерения; в) в образце могут присутствовать крупные магнитоустойчивые включения с хаотически ориентированной намагниченностью. Отсюда следует, что для каждого образца существует оптимальная по глубине чистка, в качестве критерия эффективности которой может служить внутрислоевая кучность.

На следующем этапе статистической обработки для каждого разреза проводилось осреднение полученных направлений остаточной намагниченности по двум или более соседним слоям опробования в тех случаях, если эти направления были близки, т. е. их круги доверия (при $P = 0,05$) в значительной степени перекрывались. В результате для каждого разреза была получена серия последовательных направлений стабильной остаточной намагниченности, каждое из которых отстоит от соседних более чем на радиус круга доверия. После такой обработки данные всех разрезов были использованы для построения суммарной кривой вариаций геомагнитного поля. При этом мы ограничились интервалом, охватывающим последние 4000 лет¹, для которого собран достаточный материал.

Весь этот интервал и соответствующие ему участки разрезов были предварительно расчленены на несколько частей, для чего были использованы маркирующие горизонты пепла вулкана Шивелуч: Ш₂ (1000 лет), Ш₃ (1400—1500 лет), Ш₄ (2000 лет) и Ш₅ (2500—2600 лет) [6]. Эти горизонты четко выделяются в трех из семи изученных разрезов, в четырех же южных разрезах (Семячик-5, Семячик-8, Жупаново, Крашеникова) синхронные им отложения могут быть с достаточной точностью установлены благодаря большому количеству определений возраста радиоуглеродным методом и детальной взаимной тефростратиграфической корреляции [2—4, 7].

Для каждого возрастного интервала было проведено сопоставление траекторий вектора геомагнитного поля, полученных по изученным разрезам. Такое сопоставление показало, что наряду с элементами сходства траектории имеют существенные различия, в отдельных случаях делающие затруднительной корреляцию разрезов. Однако более детальное рассмотрение полученных результатов позволило все же решить эту задачу и реконструировать действительную траекторию вектора геомагнитного поля в прошлом. При этом мы руководствовались четырьмя основными правилами.

1. Все полученные по разрезам последовательные направления стабильной остаточной намагниченности рассматривались как отражение действительных направлений магнитного поля Земли. Уже упоминавшийся предварительный анализ магнитной стабильности исследуемых пород давал для этого достаточное основание. Единственное исключение из этого правила будет рассмотрено ниже.

2. Наблюдавшаяся в каждом разрезе стратиграфическая последовательность выделенных направлений остаточной намагниченности отождествлялась нами с их хронологической последовательностью. Допуская в принципе возможность «инверсии» палеомагнитной записи в разрезах, мы не принимали ее без веских доказательств в каждом конкретном случае.

¹ Здесь и далее имеется в виду радиоуглеродный возраст без поправок на изменение концентрации радиоуглерода в атмосфере.

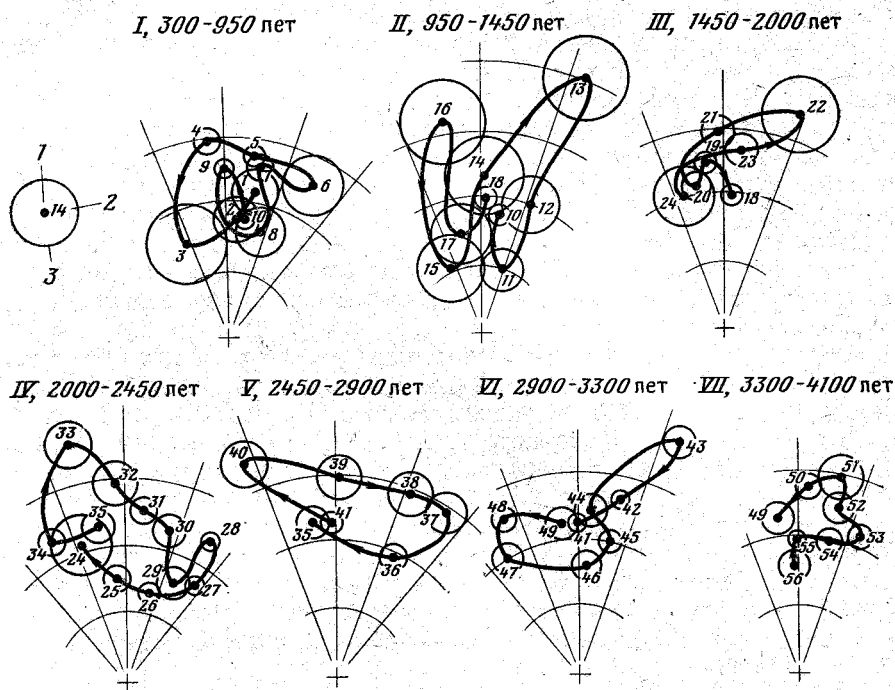


Рис. 2. Траектория вектора геомагнитного поля за последние 4000 лет. 1 — направление вектора; 2 — номера соответствующих ПМГ; 3 — круги доверия (при $P=0,05$); I—VII — циклы палеовариаций; стрелки — направление хода времени

3. Независимо от кажущейся литологической полноты разрезов мы допускали существование неконтролируемых пропусков в палеомагнитной записи. Наличие таких пропусков оказалось причиной отмечавшихся выше различий формы траекторий вектора в некоторых одновозрастных участках разрезов.

4. При реконструировании суммарной обобщенной траектории вектора предъявлялось требование ее минимального периметра.

Для каждого из предварительно намеченных временных интервалов в качестве исходных брались данные разреза, в котором этот интервал представлен наибольшим числом горизонтов. Так, интервал $Ш_2$ — $Ш_3$ наиболее полно представлен в разрезе Киргурич (шесть горизонтов), интервал $Ш_3$ — $Ш_4$ — в разрезе Апахончич (пять горизонтов), интервал $Ш_4$ — $Ш_5$ в разрезе Крашенникова (шесть горизонтов) и т. д. Затем эти исходные для каждого интервала траектории вектора последовательно дополнялись данными по другим разрезам, опять же начиная с более полно характеризующих этот интервал. В результате уже первые два—три разреза позволяли получить основные элементы искомой траектории, которая дополнялась и уточнялась данными остальных разрезов.

Нам удалось для каждого интервала получить суммарную траекторию вектора, которая объединила полученные по всем разрезам палеомагнитные данные, сохранив стратиграфическую последовательность выделенных направлений намагниченности (рис. 2). Для удобства рассмотрения она в некоторой степени условно разбита на семь циклов палеовариаций. Как видно из рис. 2, в изученном интервале времени выделено 56 последовательных направлений геомагнитного поля, привязанных к определенным участкам разрезов, названным нами палеомагнитными горизонтами — ПМГ.

Под ПМГ мы понимаем одновозрастные слои, направление стабильной остаточной намагниченности которых более чем на радиус круга доверия отличается от направления стабильной остаточной намагниченности

сти выше- и нижележащих слоев. Из приведенного определения следует, что породы ПМГ рассматриваются нами как сформировавшиеся синхронно с точностью, определяемой детальностью опробования и погрешностью определений. В таблице приведены данные обобщенной кривой палеовариаций с указанием объединенных слоев опробования средних направлений стабильной остаточной намагниченности с параметрами их разброса и сведений о возрасте пород.

Учет данных по шлаковым конусам

Как видно из таблицы, при построении этой траектории кроме упоминавшихся семи разрезов почвенно-пирокластического чехла были использованы данные изучения остаточной намагниченности пород шлаковых конусов, широко распространенных на склонах Ключевского вулкана. По результатам тефрохронологических исследований было известно стратиграфическое положение большей части этих образований относительно маркирующих горизонтов пеплов вулкана Шивелуч. Более детально их стратиграфическое положение было установлено по палеомагнитным данным.

Всего было опробовано 17 шлаковых конусов на восточных склонах Ключевского вулкана. Из каждого было отобрано в среднем около 15 ориентированных образцов шлака или агглютината. Образцы отбирались из верхней кромки кратеров, где их положение не нарушилось со времени извержения. Правильность этого предположения подтвердилась тем, что подавляющая часть образцов дала вполне удовлетворительную кучность ($K_{cp} = 115$; $\alpha_{95, cp} = 4,5^\circ$).

Относительно шлаковых конусов из тефростратиграфических данных было известно, что к стратиграфическому интервалу Ш₂—Ш₃ относится конус Перрея, к интервалу Ш₃—Ш₄ — конусы Шмалева, Очки, Пещерный и Стеллера, к интервалу Ш₄—Ш₅ — конусы *D*, Беринга, *F*, Незаметный, Левашова и Карпинского, а к интервалу Ш₅—Ш₆ — конусы *J*, Булочка и Лепешка. У большинства конусов к направлению остаточной намагниченности пород нашлось близкое направление среднего вектора одного из ПМГ в соответствующем стратиграфическом интервале. Данные по таким конусам включены в эти ПМГ (см. таблицу). Лишь у двух конусов — Перрея и *D* — направления остаточной намагниченности более чем на радиус круга доверия отличались от направлений, уже имеющихся на суммарной кривой палеовековых вариаций, в результате чего они были выделены в отдельные ПМГ-13 и ПМГ-30, дополнившие траекторию этой кривой. Все это позволило уточнить возрастную последовательность изученных конусов в пределах известных стратиграфических интервалов.

Для трех шлаковых конусов — Маленький, *K* и *M* — тефростратиграфические данные о возрасте отсутствовали, и для их привязки к стратиграфической шкале были использованы палеомагнитные данные. Конус Маленький по направлению остаточной намагниченности был сопоставлен с ПМГ-33, конус *K* — с ПМГ-37, конус *M* — с ПМГ-43. Шлаки последнего имеют такое же резко отклоняющееся от общей группы направление остаточной намагниченности, как и у принадлежащего вулкану Малый Семячик лавового потока, подстилающего слой с датировкой 3000 лет.

Наиболее древним из изученных является конус Лепешка, относящийся по тефростратиграфическим данным к интервалу Ш₅—Ш₆. Палеомагнитные данные согласуются с этим выводом и позволяют отнести этот конус по направлению намагниченности к ПМГ-55, предшествующему слоям отложений вулкана Малый Семячик с возрастом около 4000 лет.

Отметим, что очень стабильная остаточная намагниченность шлаков, имеющая термоостаточную природу, формируется во время изверже-

**Направления стабильной остаточной намагниченности пород
почвенно-пирокластического чехла и шлаковых конусов Камчатки**

Номер ПМГ	Разрезы или шлаковые конусы	N	D°	J°	α ₉₅	K	Возраст по ¹⁴ C, лет
1	III (1—9), VI (189—190)	46	12,6	67,9	3,6	35	320 (III)
2	VI (191—194)	23	7,1	72,3	3,6	70	—
3	II (1), III (10), V (1)	16	338,4	75,2	6,1	37	—
4	I (1)	30	355	61	2	175	380—410 (I)
5	I (2), II (2, 3), V (2—7)	? 151	10,1	62,3	1,7	46,6	—
6	II (4), III (12, 13), V (8—10)	33	30,2	63,8	4,5	32	—
7	VI (195—197), VII (1—3)	39	11,8	64,3	2,1	113	—
8	I (3), IV (4, 5)	18	18,1	73,5	3,8	83	580—640 (I) 650 (IV)
9	I (4), IV (6, 7)	20	1,2	64,8	1,3	662	—
10	II (5, 6), V (11—15), VI (198—202), VII (4)	68	9,9	72,3	1,6	116	900—1000 ш2
11	III (14—17), VI (203—205)	33	19,1	80,1	3,0	72	—
12	III (18), V (16—18)	15	23,3	69,8	4,3	80	—
13	I	14	24,4	48,9	6,1	43	—
14	VI (206, 207)	12	3,9	66,6	5,9	55	—
15	II (7), III (19), VI (208)	12	336,3	79,2	5,2	48	—
16	I (5), II (8), III (20), VI (209)	15	352,5	58,3	6,2	39	—
17	VI (209—1)	6	349,9	75,4	4,6	217	—
18	III (21—24), IV (8—10), V (19—22), VII (5), 2	75	3,1	70,0	1,8	82	1300—1450, 1550 (III), 1400—1500 ш3 1400—1500
19	I (6), VI (210—212), VII (6), 3, 4, 5	80	354,0	65,0	1,5	111	—
20	V (23—25), VI (213—217)	40	350,0	68,6	2,2	102	—
21	II (9), V (26—28)	15	359,1	60,8	2,4	251	—
22	I (7), III (25, 26)	15	19,3	56,2	5,6	48	—
23	III (27—30), V (29—30)	25	5,3	63	2,4	146	—
24	V (31), VII (7, 8)	13	343,5	69,5	4,5	88	2000 (ш) КСУДАЧ
25	V (32, 33), VI (218—222)	38	357,6	75,5	1,9	147	2000 (ш) 1700—1800 °C
26	II (10), IV (11, 12), V (34, 35), VI (223—225)	42	17,9	77,0	1,6	197	—
27	III (31), IV (13—15)	20	37,2	72,8	1,4	513	2240 (III)
28	III (32), IV (16—18)	22	34,2	66,4	1,5	428	—
29	IV (19—22)	22	29,7	74,5	2,7	134	—
30	6	10	16,8	67,9	2,2	503	—
31	II (11, 12), III (33—38), 7	53	7,8	65,6	2,1	85	—
32	I (8), 8	20	358,1	61,9	3,4	93	—
33	IV (23), 9, 10, 11	52	347,1	54,6	3,7	29	2440 (IV)
34	I (9)	13	332	68	2	123	—
35	I (10), II (13—18), III (40, 41), IV (24)	44	352,0	67,3	2,4	78	2630 (I)
36	V (36—37), VI (226—227), VII (9—10)	31	26,3	70,7	2,0	177	2500—2600 ш5 ?
37	V (38, 39), 12	14	35,3	60,7	3,0	171	2500—2600
38	IV (25), 13	27	23,6	64,3	3,3	74	—
39	IV (26)	8	1,9	61,0	3,5	246	2990 (IV)
40	II (19, 20), 14	26	337,5	56,4	3,3	75	—
41	I (11), II (21—26), III (42, 43), 15	78	358,1	67,9	1,5	109	—
42	I (12), III (27, 28), III (44)	19	14,8	63,6	1,5	533	3000 (I)
43	I (13), 16	52	24,6	52,8	2,1	90	—
44	II (29—34)	22	5,7	65,3	2,4	162	—
45	VI (38, 39), VII (11—13)	33	15,0	69,7	1,8	181	—
46	IV (27), VI (40, 41)	24	5,6	74,0	1,9	234	3070 (IV)
47	VI (42, 43)	15	329,4	70,4	2,2	299	—
48	VI (44, 45)	15	335,1	64,7	2,0	376	—
49	II (35—41), IV (28, 29)	41	354,8	67,1	2,4	86	3290 (IV)
50	II (42, 43)	9	4,8	62,6	2,1	548	—
51	II (44, 45)	7	13,7	60,5	3,2	347	—
52	I (14), II (46, 47)	11	15,2	65,5	2,1	490	—
53	I (15)	28	25	68	1,8	110	4000 (I)
54	I (16), IV (29, 30)	23	14,0	70,2	1,8	296	4000 (I)
55	III (45), VI (46—57), 17	105	1,8	70,2	0,9	243	—
56	VI (58, 59)	12	358,1	74,2	2,3	347	—

ния и в дальнейшем практически не изменяется [10]. В отличие от других пород почвенно-пирокластического чехла, обладающих ориентационной намагниченностью, осредняющей направление геомагнитного поля за какой-то интервал времени, шлаки доносят до нас как бы «мгновенные» значения элементов геомагнитного поля времени их образования. При этом возрастает вероятность получения по объектам этого типа направлений остаточной намагниченности, далеко отстоящих от среднего для голоцена направления геомагнитного поля. Это подтверждается и полученными нами данными. Так, разброс направлений остаточной намагниченности всех 17 шлаковых конусов (рассматриваемых как единичные векторы) дал $K=49,9$ и $\alpha_{95}=5,3^\circ$. Эти цифры можно сопоставить с параметрами разброса, вычисленными для восьми случайных выборок по 17 из всех 106 ПМГ, полученных во всех семи разрезах тефры. Средние значения этих параметров составили $K=74,5$; $\alpha_{95}=4,4^\circ$. При этом во всех выборках полученная кучность была больше, а радиус круга доверия меньше, чем у шлаков.

Причины неполноты палеомагнитных данных

Из 56 приведенных в таблице последовательных направлений остаточной намагниченности примерно $\frac{2}{3}$ получено в результате осреднения данных по двум и более разрезам. Треть же направлений зафиксирована лишь в одном из разрезов или в отложениях шлаковых конусов. Из этой же таблицы следует, что в каждом из изученных разрезов зафиксировано в среднем менее одной трети всех направлений суммарной кривой вариаций геомагнитного поля. Для уяснения причины этого в первую очередь необходимо коснуться специфики почвенно-пирокластических чехлов как объекта палеомагнитных исследований.

Существенной особенностью является то, что скорость формирования этих чехлов может отличаться на несколько порядков, что связано с режимом вулканической активности ближайших вулканов — основных поставщиков материала в разрезе. Отсутствие прослоев тефры или резкое уменьшение их мощности может быть связано с невыпадением именно в этом секторе подножия вулкана того или иного слоя пепла, отнесенного ветром в другом направлении, или обусловлено вообще временным прекращением активности вулкана. В последнем случае следовало бы ожидать образования слоя супеси или почвы, но иногда и она оказывается очень маломощной или совсем не накапливается вследствие развития эоловых процессов (особенно на грубых шлаках или пемзах предшествующих извержений).

Таким образом, выявляются две причины появления палеомагнитной неполноты данных в разрезе, связанных с режимом вулканической деятельности. Первая — это реальное отсутствие отложений, являющихся носителями любой, в том числе и палеомагнитной, информации в данном временном интервале, вторая — крайне низкая скорость осадконакопления в отдельные периоды времени. В последнем случае неполнота данных связана с ограниченной разрешающей способностью использовавшейся методики отбора. Применявшийся нами непрерывный отбор по разрезу охватывал и осреднял данные о намагниченности на участке разреза мощностью около 5 см. И на участках, где наблюдается чере-

Примечание. N — количество образцов в ПМГ, D и J — средние значения склонения и накло-
нения стабильной остаточной намагниченности ПМГ, α_{95} — радиус круга доверия при $P=0,05$,
 K — величина кучности ПМГ. *Разрезы:* I — Семячик-8, II — Семячик-5, III — Жуланово, IV — Кра-
шенникова, V — Алахонич, VI — Киргурич, VII — Ключи, в скобках после номера разреза указа-
ны номера опробованных горизонтов (расположение см. на рис. 5), объединенные в этом ПМГ.
Шлаковые конусы: 1 — Перрея, 2 — Шмалева, 3 — Очки, 4 — Пещерный, 5 — Стеллера, 6 — D
7 — Беринга, 8 — F, 9 — Незаметный, 10 — Левашова, 11 — Маленький, 12 — K, 13 — Карпинского
14 — Булочка, 15 — J, 16 — M, 17 — Лепешка. Римские цифры в последней колонке указывают на
разрезы, в которых получены датировки. Положения датированных слоев для разрезов I, III — см.
в [2, 3, 4], для разреза IV — см. в [7]. Даты, помеченные (Ш₂) — (Ш₅), отвечают округленным
значениям возраста маркирующих леплов вулкана Шивелуч [6].

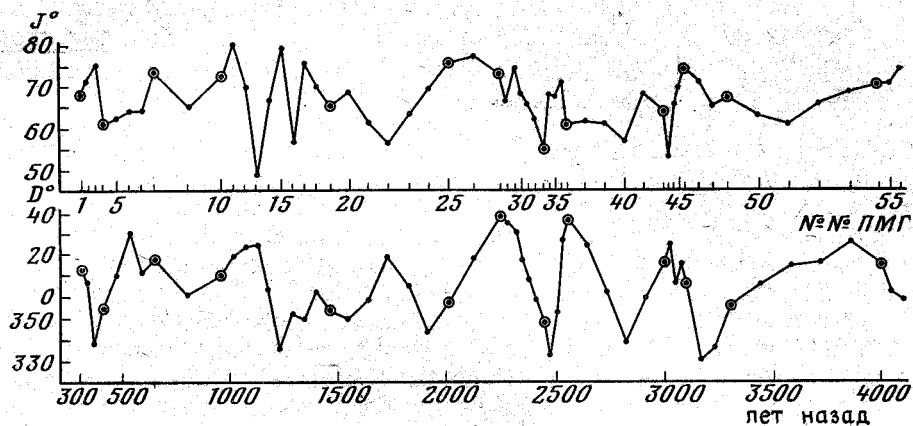


Рис. 3. Обобщенная схема изменения D и J в зависимости от возраста. Кружками обозначены значения D и J тех ПМГ, возраст пород которых достоверно определен и соотношен с возрастом остаточной намагниченности

дование тонких прослоев пепла и супеси (часто мощностью 1—2 мм), полученное направление стабильной остаточной намагниченности дает среднее за какой-то интервал времени направление геомагнитного поля. Естественно, что в случае достаточно большого интервала осреднения (порядка сотен лет) часть информации об истории геомагнитного поля будет потеряна. Следовательно, в периоды пониженной эксплозивной активности вулкана можно ожидать пропуска палеомагнитной записи в разрезе.

Наряду с этими двумя особенностями исследуемого объекта следует указать еще один источник палеомагнитной неполноты разрезов. Им является, как будет показано ниже, недостаточная палеомагнитная стабильность пород отдельных участков в разрезах и возникающая в них стабильная метахронная намагниченность. Совокупное действие этих факторов служит, вероятно, причиной того, что в каждом из изученных разрезов (даже в самом мощном и детально изученном разрезе Киргурич) представлено значительно меньше половины направлений суммарной траектории палеовариаций.

Рассмотрим вопрос полноты суммарной шкалы палеовариаций подробнее. Для этого удобно обратиться к рис. 3, где показаны изменения во времени склонения D и наклонения J геомагнитного поля. На этом графике отмечены значения D и J тех ПМГ, возраст которых нам хорошо известен, они занимают соответствующее положение на оси абсцисс. Промежуточные значения элементов геомагнитного поля равномерно распределены между ними, хотя неравномерность формирования почвенно-пирокластического чехла не исключает возможности того, что действительное распределение было несколько иным.

Из рис. 3 видно, что при среднем интервале между точками наблюдений в 70 лет в разных участках шкалы он колеблется от 25 до 150 лет. При этом наименее изученным оказался интервал 640—950 лет назад, в котором имеется лишь одно промежуточное направление вектора. Очевидно, что в этом интервале, который соответствует точкам 8—10 траектории на рис. 2, можно ожидать ее уточнения. Уточнение возможно и в интервале 3300—4000 лет назад, для которого средний промежуток времени наблюдений между ПМГ-49 и ПМГ-54 составляет 140 лет. Для остальной же части шкалы, где средний интервал наблюдений менее 60 лет, дальнейшая ее детализация, по-видимому, не требуется, во всяком случае для целей стратиграфии, так как циклы вариаций с длительностью менее 100 лет являются слишком дробными магнитостратиграфическими подразделениями даже для голоцена и не могут быть обеспечены хронологической основой с достаточной точностью.

Особенности палеовариаций

Обратимся снова к траектории вектора на рис. 2. Первый (считая от молодых к древним) цикл вариаций охватывает интервал времени от 950 до 300 лет назад, т. е. его длительность составляет около 650 лет. Этот цикл вариаций характеризуется преобладающим вращением вектора против часовой стрелки, а начало его совпадает со временем формирования маркирующего горизонта шивелучского пепла Ш₂. Второй цикл вариаций ограничен в разрезе слоями шивелучского пепла Ш₃ и Ш₂ и имеет длительность около 500 лет. Этот цикл — двойной и характеризуется одним колебанием вектора по склонению и двумя — по наклонению. В течение первого полуцикла вектор вращался против часовой стрелки, во втором полуцикле — по часовой стрелке. Длительность этих полуциклов, по-видимому, близка и составляет 200—300 лет. Третий цикл вариаций ограничен в разрезе шивелучскими пеплами Ш₄ и Ш₃ и имеет длительность около 550 лет. Во время этого цикла вектор описал сложную траекторию с изменением направления вращения с правого на левое. Четвертый цикл вариаций ограничен в разрезе слоем шивелучского пепла Ш₄ и ПМГ-35, возраст пород которого в разрезе Семячик-8 составляет 2630 лет. Следовательно, длительность этого цикла около 450 лет. Как видно из рис. 2, этот цикл характеризуется вращением вектора по часовой стрелке. Такое же вращение и у пятого цикла вариаций, имеющего длительность около 450 лет. У двух последних циклов вариаций (шестого и седьмого) вращение вектора опять происходит против часовой стрелки, а длительность циклов составляет около 400 и 800 лет.

Таким образом, в изученном интервале времени несколько преобладает левое вращение, в общей сложности занимающее около 2200 лет при примерно 1600 лет правого вращения. Распределение циклов по длительности дает практический непрерывный спектр величин от 400 до 800 лет при среднем значении около 550 лет. Поскольку каждый из циклов охарактеризован в среднем по девяти точкам, нами было проведено девятиточечное скользящее осреднение данных таблицы. В результате (рис. 4) достаточно четко выявляются колебания с длительностью в среднем порядка 1000 лет. Этот результат подобен полученному Г. Ф. Загнием [9], изучавшему палеовариации Украины и Молдавии за последние 5500 лет. В качестве основного им при спектральном анализе вариаций выделен 1200-летний период, на который накладываются вариации продолжительностью 500—600 лет.

Медленные изменения элементов геомагнитного поля (тренд, см. рис. 4) представляют собой плавное увеличение наклонения со скоростью 0,8° за тысячу лет и увеличение восточного склонения со скоростью 2,3° за тысячу лет. По всей вероятности, эти изменения относятся к длиннопериодным вариациям геомагнитного поля с периодом не менее 10 тыс. лет.

Для опознания в разрезах выявленных циклов вариаций важно знать их индивидуальные характеристики, позволяющие отличать один цикл от другого. Посмотрим, какие из параметров могут быть использованы для решения этой задачи. Наиболее четкой качественной характеристикой циклов вариаций является направление вращения вектора. Опираясь на этот признак, можно в полученной истории геомагнитного поля за последние 4000 лет выделить четыре реперных момента, характеризующихся сменой направления вращения. При этом два момента времени — 1000 и 1800 лет назад — характеризуются сменой вращения с правого на левое, и два — 1200 и 3000 лет назад — с противоположным изменением вращения. Очевидно, что для района, где сохраняется полученная нами картина палеовариаций, эти моменты смены вращения вектора намагнитченности могут быть использованы в качестве хронологических реперов.

Другим параметром, сильно изменяющимся от цикла к циклу, является их длительность. Как было показано, она может меняться от 400 до 800 лет. К сожалению, для тех геологических объектов, у которых, как и в случае тефры, скорость формирования крайне неравномерна, использование этого параметра очень ограничено, однако для геологических образований типа глубоководных осадков, обладающих постоянной скоростью осадконакопления, можно рассчитывать на эффективное применение этого параметра для идентификации циклов палеовариаций.

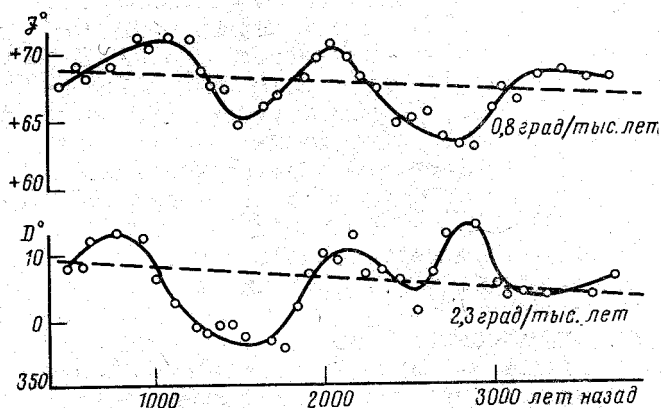


Рис. 4. Схема изменения D и J по результатам девятиточечного скользящего осреднения (пунктир — тренд геомагнитного поля)

Следующим индивидуальным признаком циклов вариаций служит форма и амплитуда описываемых вектором петель. Обратимся к рис. 2. Очевидно, что наиболее отличной от других является двойная петля II цикла вариаций (ПМГ 10-17), который характеризуется сменой направления вращения вектора, а также наибольшим отношением амплитуд вариаций по наклонению и склонению. Для III—VI циклов характерно несколько меньшее отношение этих амплитуд, причем отличительной особенностью III и VI циклов является смена направления вращения вектора. Для VII цикла характерна малая амплитуда вариаций по склонению и наклонению. Кроме того, опознанию циклов вариаций в разрезах может служить их тонкая структура, например, типа сложной траектории с небольшой амплитудой, описываемой вектором в начале I цикла вариаций (см. точки 7—10 на рис. 2).

Магнитостратиграфия разрезов и шлаковых конусов

На основе данных о палеовариациях в разрезе, не имеющем хроностратиграфических привязок, имеется возможность провести его сопоставление с опорной шкалой палеовариаций и перенести на этот разрез возрастные реперы опорной шкалы. При этом с увеличением количества выявленных в разрезе циклов вариаций будет возрастать точность и надежность его магнитохронологического датирования.

Полученная по палеомагнитным данным корреляция разрезов приведена на рис. 5. На нем показаны линии корреляции, соответствующие синхронным уровням, разделяющим показанные на рис. 2 циклы вариаций. Очевидно, что с точностью до показанных на разрезах справа ПМГ имеется возможность провести гораздо более детальную корреляцию, сводящуюся к прослеживанию от разреза к разрезу каждого из приведенных в таблице ПМГ. Такая корреляция позволит определить во всех

разрезах стратиграфическое положение слоев, которые датированы в одном из них.

В качестве примера можно привести оценку возраста культурных слоев в разрезе мыса Памятник (Жупаново). Так, по данным рис. 3, 5 и таблицы возраст кровли II культурного слоя можно определить в 1000—1100 лет, а подошвы III культурного слоя — примерно в 2400 лет. Таким образом, несмотря на то что этот разрез детально изучен тефро-стратиграфическим методом с привлечением большого количества радиоуглеродных определений возраста [4], палеомагнитные данные, используемые совместно с упомянутыми выше, позволяют внести дополнительные уточнения в хронологию этих образований.

Попытка использовать этот метод для определения возраста культурных слоев разреза в районе пос. Авача была предпринята Ю. Г. Добрецовою [8]. При этом ею было обнаружено систематическое занижение наклона остаточной намагниченности в породах культурных слоев. Лишь после введения величины наклона поправок по эмпирически подобранной формуле полученные в разрезе Авача палеовариации оказались сопоставимыми с данными опорного разреза вулкана Малый Семячик. Нами в разрезе Жупаново подобное аномально низкое наклонение было обнаружено только в самой подошве III культурного слоя (горизонт опробования 39). Ввиду единичности такого результата из дальнейшего рассмотрения он был исключен — это тот единственный случай отбраковки данных, о котором мы упоминали выше.

Рисунок 3 позволяет легко определять интерполированные значения возраста каждого из выделенных ПМГ. В частности, с его помощью и исходя из данных таблицы можно оценить время формирования уже рассмотренных шлаковых конусов. Так, наиболее древний из изученных конусов — Лепешка (ПМГ-55) сформировался примерно 4100 лет назад, конус М (ПМГ-43) — около 3000 лет назад, конусы Незаметный, F, Беринга и D (ПМГ 30—33) — последовательно в интервале 2350—2200 лет назад и т. д.

Метахронность остаточной намагниченности тефры

Обратимся теперь к вопросу о синхронности выделенной нами намагниченности. Этот вопрос приобретает особое значение при изучении палеомагнитных вариаций, т. е. расхождение во времени на несколько сот лет между формированием пород и «возрастом» зафиксированного ими направления геомагнитного поля, особенно при разной степени такого запаздывания в разных участках разреза, может существенно исказить характер получаемых палеовариаций. С такой остротой вопрос синхронности намагниченности еще не стоял в практике палеомагнитных исследований, так как в большинстве случаев метахронность, определяемая тысячами или даже десятками тысяч лет, с достаточным основанием могла приниматься во внимание.

Рассмотрим, какие из наших данных могут внести ясность в этот вопрос. В этом может помочь присутствие в трех изученных разрезах строго синхронно сформировавшихся горизонтов пепла вулкана Шивелуч. В случае синхронности остаточной намагниченности в этих отложениях она должна иметь одинаковое направление и принадлежать к одному ПМГ. Обратившись к рис. 5 и таблице, нетрудно определить, что присутствующие в двух разрезах отложения $Ш_2$ действительно относятся к одному и тому же ПМГ-10. Отложения $Ш_3$ в двух разрезах относятся к ПМГ-18, а в разрезе Киргурич — к ПМГ-19. Отложения $Ш_4$ в двух разрезах относятся к ПМГ-25, а в третьем разрезе (Ключи) — к ПМГ-24. И наконец, отложения $Ш_5$ в двух разрезах относятся к ПМГ-36, а в третьем (Апахончич) — к ПМГ-37.

Таким образом, наряду с совпадением направлений стабильной остаточной намагниченности в синхронно сформировавшихся горизонтах,

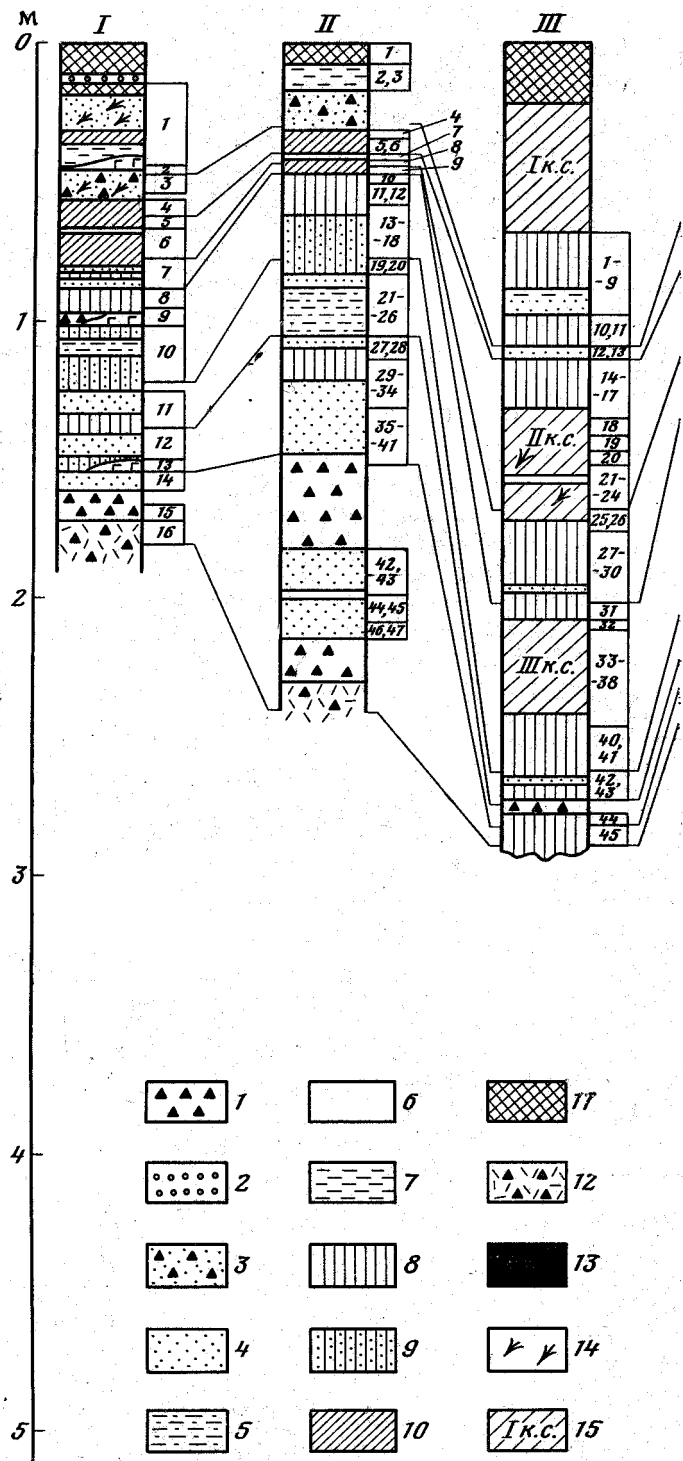


Рис. 5

RB 02,03,05,14

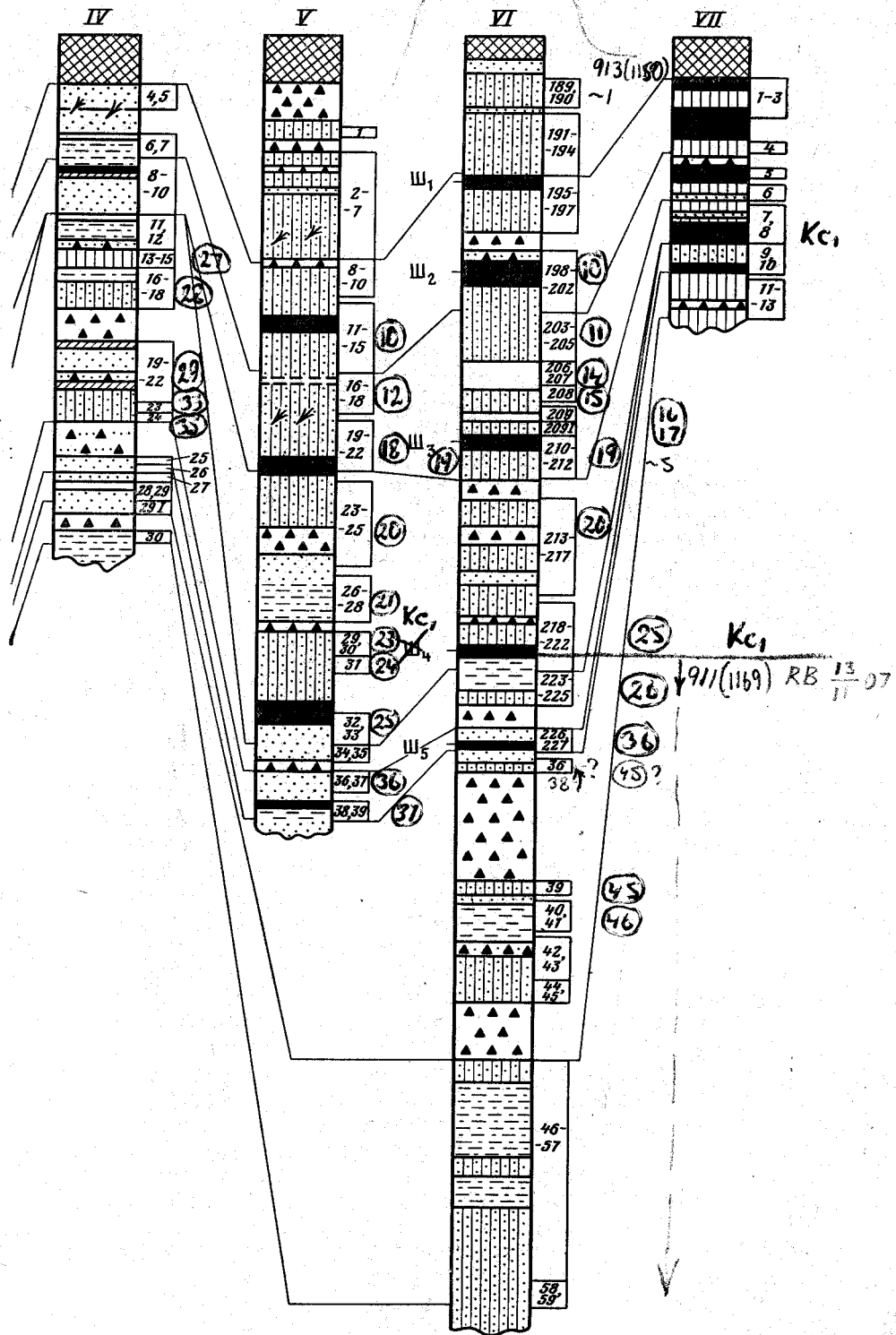


Рис. 5. Схема палеомагнитной корреляции изученных разрезов. 1 — вулканический гравий и лапилли шлака, 2 — вулканический гравий пемзы, 3 — вулканический гравий и лапилли шлака с примесью вулканического песка, 4 — вулканический песок, 5 — вулканические пески стратифицированные, 6 — прослой тонких пеплов, 7 — тонкие пеплы стратифицированные, 8 — супеси, 9 — супеси с примесью вулканического песка, 10 — погребенные почвы, 11 — дернина, 12 — туфы пирокластического потока, 13 — маркирующие прослой пеплов вулкана Шивелуч, 14 — органические остатки, 15 — культурные слои. Номера разрезов I—VII см. в пояснениях к рис. 1. Справа от колонок — номера опробованных горизонтов. Ш₁ — Ш₅ — пеплы вулкана Шивелуч; линии корреляции проведены по границам циклов

имеются случаи расхождения, свидетельствующие о метахронности. Эти расхождения составляют в среднем 9° дуги большого круга, что (судя по данным рис. 3) свидетельствует о запаздывании формирования остаточной намагниченности в среднем на 60 лет.

Другим признаком метахронности остаточной намагниченности в породах может служить то, что в целом ряде случаев в разрезах наблюдаются относящиеся к одному ПМГ достаточно большие по мощности участки, представленные чередующейся последовательностью различающихся литологически слоев. Последнее свидетельствует в пользу того, что формирование пород этих участков заняло достаточно большой интервал времени, измеряемый, возможно, первыми сотнями лет. В то же время полученное после чисток направление остаточной намагниченности пород этих участков остается постоянным, что и послужило основанием для отнесения их к одному ПМГ. Наиболее яркий пример этого мы видим в низах разреза Киргурич (см. рис. 5), где ПМГ-55 объединяет 12 слоев опробования, охватывающих участок разреза мощностью до 90 см. По всей вероятности, ориентационная намагниченность пород подобных участков отражает направление геомагнитного поля на заключительном этапе их формирования или еще более позднее. И выделенную остаточную намагниченность пород большей (нижней) части этих участков следует рассматривать как метахронную. С другой стороны, если в синхронно сформированных слоях типа горизонтов шивелучского пепла наблюдается различное направление стабильной остаточной намагниченности, разница между возрастом пород и возрастом этой намагниченности будет меньше в слоях, направление стабильной остаточной намагниченности которых относится к более древним участкам траектории палеовариаций.

Таким образом, при анализе полученных данных следует иметь в виду, что возраст пород и возраст их стабильной остаточной намагниченности могут различаться и это различие может достигать 100 лет, а в отдельных случаях и более. Строго говоря, на рис. 5 приведена корреляция не разновозрастных горизонтов пород, а одновременно сформированных стабильных остаточных намагниченностей. По всей вероятности, вследствие присутствия в разрезах пород, зафиксировавших остаточную намагниченность с различной степенью метахронности, проведенная на рис. 5 палеомагнитная корреляция в ряде случаев не согласуется с имеющимися тефростратиграфическими и геохронологическими данными. Из этого следует, что метахронной намагниченностью определяется предел повышения точности и детальности как магнитохронологических реконструкций, так и возрастной корреляции геологических разрезов. Однако применительно к объекту наших исследований вносимая метахронностью погрешность близка к погрешности радиоуглеродных датировок. Что же касается приведенной на рис. 3 шкалы палеовариаций, то так как в целом ряде случаев удается учесть метахронность, мы с достаточным основанием можем утверждать, что по оси абсцисс отложен именно возраст стабильной остаточной намагниченности пород, т. е. интересующая нас история геомагнитного поля. Эта возможность частичного учета метахронности стабильной остаточной намагниченности обеспечена детальной тефростратиграфической и хронометрической изученностью объектов исследования.

Выводы

1. Разработана шкала палеогеомагнитных вариаций геомагнитного поля для последних 4000 лет на базе изучения серии разрезов почвенно-пирокластических отложений Камчатки в процессе комплексных палеомагнитных и тефростратиграфических исследований с применением радиоуглеродного датирования.

2. Шкала состоит из 56 последовательных направлений вектора геомагнитного поля, описывающих сложную траекторию, разбитую на семь циклов палеовариаций. Каждый из этих циклов имеет индивидуальные характеристики: направление вращения вектора, форма и амплитуда описываемых вектором петель, длительность цикла. Корреляция разрезов почвенно-пирокластических чехлов на основе выделенных циклов вариаций показала в целом хорошую сходимость с корреляцией по тефрохронологическим данным.

3. Разработанная шкала может быть применена для решения обратной задачи — датирования и корреляции отложений, возраст которых неизвестен. Палеомагнитные данные использованы для уточнения возраста культурных слоев опорной стоянки в пос. Жупаново и возраста побочных прорывов Ключевского вулкана.

4. Проанализированы основные трудности, встречающиеся при проведении подобных исследований. Связанная с целым рядом причин неполнота палеомагнитной записи в разрезах вызывает необходимость изучения нескольких параллельных разрезов для восстановления достаточно полной истории геомагнитного поля. Присутствующая в отдельных горизонтах тефры метахронная намагниченность ставит предел повышению детальности и точности магнитохронологических реконструкций и стратиграфической корреляции. В изученных отложениях эта метахронность не превышает, как правило, 50—100 лет, разделяющих время образования пород и время формирования в них стабильной остаточной намагниченности.

Авторы выражают благодарность И. И. Гущенко, Ю. Г. Добрецовоу, И. А. Несмачному и С. А. Писаревскому, содействовавшим проведению данных исследований и принимавшим в них участие.

ЛИТЕРАТУРА

1. Алексеева В. А., Зубов А. Г., Кочегура В. В. Естественная остаточная намагниченность тефры и изучение по ней палеомагнитных вариаций. — В сб.: Проблемы изучения палеомагнитных вариаций магнитного поля Земли. Владивосток, 1979, с. 36—51.
2. Брайцева О. А., Егорова И. А., Сулержицкий Л. Д., Несмачный И. А. Вулкан Малый Семячик. — В кн.: Вулканический центр: строение, динамика, вещество. М.: Наука, 1980, с. 243—254.
3. Брайцева О. А., Литасова С. Н. О возрасте вулканов Карымский и Малый Семячик. — Вулканология и сейсмология, 1982, № 3, с. 92—96.
4. Брайцева О. А., Литасова С. Н., Пономаренко А. К. Применение тефрохронологических методов для датирования разреза опорной первобытной стоянки на Восточной Камчатке. — Вулканология и сейсмология, 1983, № 5, с. 18—24.
5. Брайцева О. А., Мелекесцев И. В. Почвенно-пирокластический чехол — новый перспективный объект для палеомагнитных исследований на Камчатке. — В сб.: Проблемы изучения палеомагнитных вариаций магнитного поля Земли. Владивосток, 1979, с. 27—35.
6. Брайцева О. А., Мелекесцев И. В., Пономарева В. В., Литасова С. Н., Сулержицкий Л. Д. Тефрохронологические и геохронологические исследования Толбачинской региональной зоны шлаковых конусов. — Вулканология и сейсмология, 1980, № 3, с. 14—28.
7. Брайцева О. А., Флоренский И. В., Пономарева В. В., Литасова С. Н. Вулкан Кихпинич — самый молодой вулкан Восточной вулканической зоны Камчатки. — Вулканология и сейсмология, 1985, № 6, с. 3—19.
8. Добрецова Ю. Г. Опыт палеомагнитного датирования неолитической стоянки. — В сб.: Новое в археологии севера Дальнего Востока. Магадан, 1985, с. 59—65.
9. Загний Г. Ф. Структура археологических вариаций геомагнитного поля Украины и Молдавии за последние 5500 лет. — Геофиз. журн., 1981, т. III, № 5, с. 60—66.
10. Зубов А. Г., Кочегура В. В., Ткачева Н. А. Изучение палеонапряженности геомагнитного поля на Камчатке. — В сб.: Проблемы изучения палеомагнитных вариаций магнитного поля Земли. Владивосток, 1979, с. 52—60.
11. Нечаева Т. Б., Кочегура В. В., Зубов А. Г. Изучение палеомагнитных вариаций геомагнитного поля на Камчатке по отложениям голоценовой тефры. — Вулканология и сейсмология, 1983, № 2, с. 88—92.