

УДК 550.382.3+550.384

## РЕЗУЛЬТАТЫ ПАЛЕОМАГНИТНОГО ОПРОБОВАНИЯ ПОКРОВНЫХ СУПЕСЕЙ ЦЕНТРАЛЬНОЙ КАМЧАТСКОЙ ДЕПРЕССИИ

А.Г. Зубов, В.В. Кочегура

### Аннотация

Палеомагнитному изучению были подвергнуты лёссовидные отложения Центральной Камчатской депрессии, так называемые «покровные супеси». Из разреза обнажения яра Половинка ( $54^{\circ}54'40''$  с.ш. и  $158^{\circ}55'40''$  в.д.), вскрытого рекой Камчаткой, было отобрано 457 ориентированных образцов. Рассчитанный по радиоуглеродным датировкам возраст изученных покровных отложений составляет 33–55 тыс. лет. Обнаружилась хорошая корреляция угловых параметров D и I с теми же параметрами известного синхронного разреза Каргаполово (Сибирь), расположенного на  $77^{\circ}$  западнее почти на той же широте. Такой тип корреляции палеоомагнических вариаций хорошо объясняется с позиции гипотезы дрейфующих источников геомагнитного поля, но не может быть описан вариациями центрального геомагнитного диполя. Однако в полученной записи палеоомагнических вариаций соответствующего временного диапазона разреза Половинка не обнаружено ожидаемого геомагнитного экскурса, подобного глобальному экскурсу Лашамп-Каргаполово. Наиболее вероятная причина в нераспознанных стратиграфических нарушениях нижней половины разреза.

**Ключевые слова:** магнитное поле Земли, палеоомагнические вариации, геомагнитный экскурс, Лашамп, Каргаполово, Камчатка.

### Введение

Изучение палеоомагнических вариаций (ПВВ) всегда актуально, поскольку при этом решаются важные как теоретические, так и практические задачи. Прямая задача геофизики – изучение полей, окружающих Землю. В решении этой задачи нуждается теория геомагнетизма, так как для выбора теоретических моделей необходимо знать свойства изучаемых явлений. ПВВ – это следствие эволюции внутренней структуры генератора магнитного поля Земли (МПЗ), результат движения «деталей» этого генератора. Анализируя особенности ПВВ, можно строить догадки об устройстве генератора МПЗ. Другая задача геофизики – использование полученных знаний о полях для практических задач, полезных в хозяйственных и прикладных целях. Ценное для практической науки применение данных по ПВВ в данном регионе – это магнитостратиграфия, когда геологические события привязываются к магнитостратиграфической шкале, в которой в качестве «делений» используются особенности колебаний МПЗ во времени, то есть ПВВ [1].

Наиболее яркими и интересными особенностями ПВВ являются экскурсы геомагнитного поля. Вот одно из их последних определений: «геомагнитный

экскурс – это “кратковременное” значительное изменение направления геомагнитного поля, вплоть до обратной полярности, продолжительность которого меньше, чем два-три собственных периода колебания геомагнитного динамо» [2, с. 148]. Теория пока не даёт чётких объяснений этому явлению, но в результате детального практического изучения записей известных экскурсов был сделан вывод о том, «что геомагнитные экскурсии являются неотъемлемой частью геомагнитного динамо и их возникновение заложено в основном процессе генерации динамо Земли» [3, с. 64]. В настоящее время преобладает мнение, что геомагнитные экскурсии являются следствием падения амплитуды центрального геомагнитного диполя.

Источниками информации о ПВВ могут быть разные объекты. Наиболее точными по временным привязкам являются археомагнитные исследования [4], а также палеомагнитные исследования ленточных глин [5]. Наиболее надёжные по сохранности палеомагнитной информации, пожалуй, это разрезы лавовых потоков [6–8]. Застывшая лава может длительное время сохранять довольно устойчивую сильную термоостаточную намагниченность, отражающую мгновенное состояние МПЗ времени своего образования. Правда, при изучении очень древних пород ПВВ чаще всего являются помехой, устранение которой требует статистического подхода. Для получения качественных записей ПВВ необходимо найти достаточно детальные и равномерные лавовые накопления и подобраться к ним. Существуют также большие трудности с датированием. Поэтому в настоящее время для изучения ПВВ чаще используются осадочные отложения, как наземные, так и подводные. Чем выше скорость накопления материала в отложениях, тем более детальные записи ПВВ можно по ним получить. При формировании осадков чаще соблюдается свойство равномерности накопления материала, что позволяет проводить возрастные интер- и экстраполяции. В диапазоне применения радиоуглеродного метода датирования (50 тыс. лет) именно в осадочных отложениях чаще встречается материал для такого датирования. Но из-за повышенной проницаемости осадков в них нередко минералогические изменения, что может приводить к искажению или потере записанной информации о древнем МПЗ. Поэтому при изучении осадочных отложений проводится более тщательный компонентный анализ естественной остаточной намагниченности и анализ носителей этих компонент.

Свойствами доступности, равномерности и большой скорости накопления часто обладают лёссово-почвенные отложения, чем они привлекают повышенное внимание палеомагнитологов, изучающих ПВВ [9]. На Камчатке аналогом лёссово-почвенных отложений являются так называемые «покровные супеси», входящие в состав осадочных отложений Центральной Камчатской депрессии (ЦКД). Так же как в лёссах, в покровных супесях чередуются слои с наличием и отсутствием гумуса, свидетельствующие о разных климатических условиях накопления материала, ускорении или торможении почвообразовательных процессов во время формирования этих слоёв. Спецификой покровных супесей являются часто встречающиеся пепловые прослои, появившиеся здесь в результате пеплопадов от окружающих вулканов или вулканических кальдер.

Изучение ПВВ на Камчатке началось давно. Хорошие записи ПВВ были получены Аверьяновым с коллегами [6, 7] по внутрикратерным лавовым обнажениям

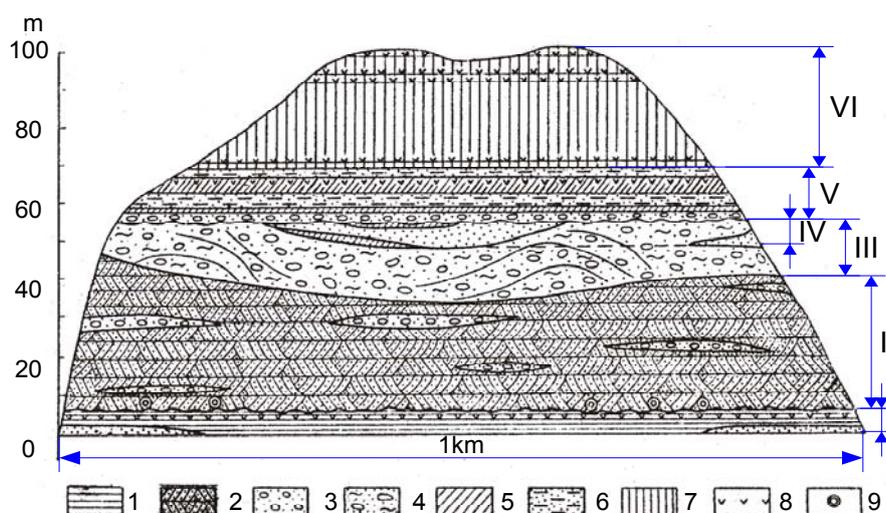


Рис. 1. Схема строения яра Половинка [11]: 1 – тонкопереслаивающиеся супеси, суглинки, пески; 2 – пески «косослоистые»; 3 – галечники; 4 – супесь с галькой и валунами – морена; 5 – суглинки; 6 – пески пылеватые; 7 – покровные супеси; 8 – прослой вулканических пеплов; 9 – погребённая древесина; I – толща озёрных «синих глин» ( $Q_1^2$ ); II – толща аллювиальных «косослоистых песков» ( $Q_1^2 - Q_2^1$ ); III – «мореноподобная» толща – ледниковые и водноледниковые отложения среднеплейстоценового оледенения ( $Q_2^2$ ); IV – ледниково-озёрные отложения среднеплейстоценового оледенения ( $Q_2^2$ ); V – межледниковые аллювиальные отложения погребённой террасы р. Камчатки ( $Q_3^1$ ); VI – покровные супеси ( $Q_3^2 - Q_3^3$ )

вулканов Мутновский (возраст 10–26 тыс. лет) и Авачинский (35–70 тыс. лет). Оценки возраста довольно грубые, они преимущественно основаны на геологии. Позднее нами [10] в результате изучения почвенно-пирокластического чехла (ППЧ) Камчатки получена детальная шкала ПВВ в диапазоне 0–4 тыс. лет назад с использованием радиоуглеродных датировок.

В дальнейшем наше внимание привлекли камчатские покровные супеси. По генезису и структуре эти образования близки отложениям почвенно-пирокластического чехла ППЧ, опыт работы с которыми у нас уже имелся. Покровные супеси уже были детально изучены геоморфологами [11], имелись описания разрезов и привязанные радиоуглеродные датировки. Интерес ещё был вызван тем, что в соответствие с полученными абсолютными датировками покровные супеси могли содержать записи геомагнитного экскурса Лашамп. Отметим, что к настоящему времени на Камчатке не было получено записей глобальных геомагнитных экскурсов.

### Описание объекта и методика отбора

Для палеомагнитного изучения нами было выбрано обнажение яра Половинка на р. Камчатке. Причина в хорошей геологической и стратиграфической изученности разреза, в наличии радиоуглеродных датировок, в значительной мощности накапливавшихся с большой скоростью отложений, в прекрасной обнажённости и относительной доступности разреза. Обнажение яра Половинка открывает нам наиболее полный разрез четвертичных отложений ЦКД, запечатлевший в себе все основные события её геологической истории (рис. 1). Наиболее

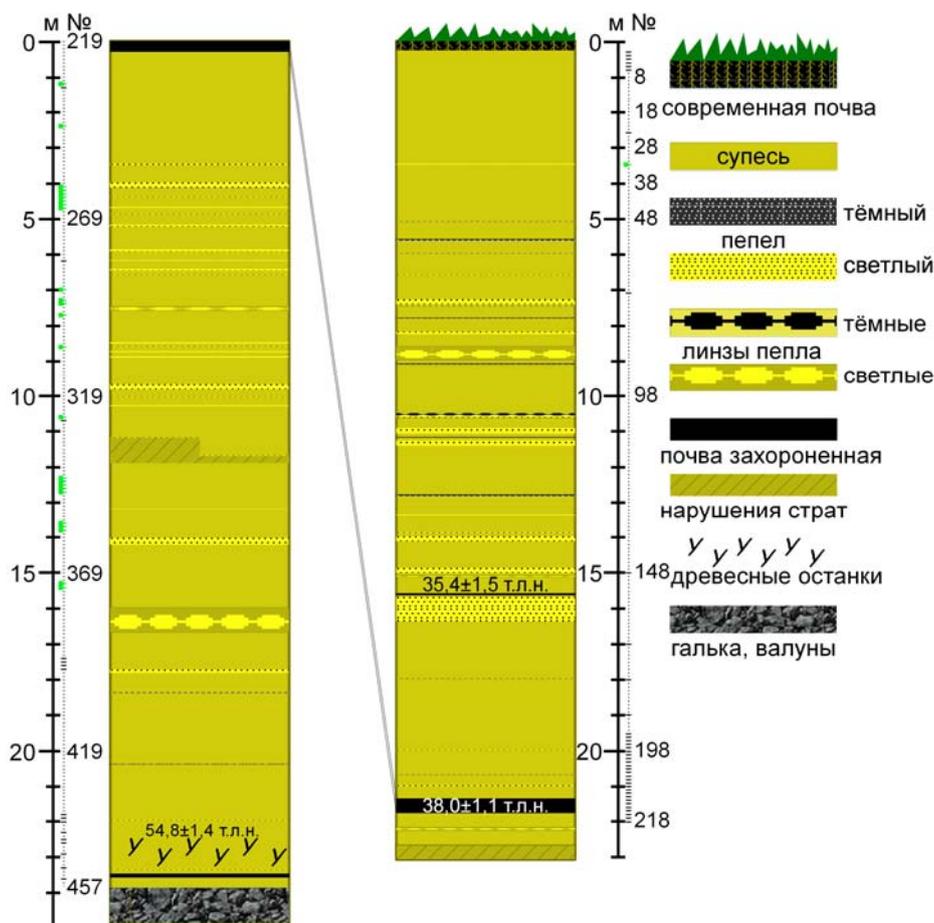


Рис. 2. Описание разреза покровных супесей. Слева нижняя часть разреза. Справа от каждой шкалы глубины выставлена маркированная разметка уровней отбора (точками – пройден один режим чистки, зелёными квадратами – первая группа после чистки, тире – вторая группа) с соответствующими номерами уровня

равномерно накапливавшиеся мелкозернистые покровные супеси преимущественно эолового происхождения имеют здесь мощность 46 м. Среди основного материала отложений исходно пирокластического происхождения встречаются чисто пепловые и почвенные горизонты мощностью до 60 см (рис. 2).

Отбор образцов производился по одному из каждого уровня с интервалом 10 см между уровнями. В середине разреза из-за выявившихся структурных нарушений отбор был перенесён по маркирующему слою погребённой почвы на несколько десятков метров левее и продолжен в новой расчистке. Образцы отбирались в контейнеры из разных материалов, разных форм и размеров: цилиндрической формы – дюралевые, пластмассовые, стеклянные, а также бумажные кубики по технологии применения пробоотборника СВКНИИ (г. Магадан) [12]. Контейнеры горизонтально с контролем по уровню внедрялись для заполнения материала в вертикальную стенку разреза, затем ориентировались. После извлечения заполненного контейнера открытая сторона выравнивалась и проклеивалась силикатным клеем.

Имеющиеся датировки (рис. 2) позволяют произвести оценки скоростей осадконакопления. На верхнем участке  $t_1 - t_2$  средняя скорость  $V_v$  составляет  $2.5 \pm 2.5$  мм/год. Высокая погрешность обусловлена близостью датировок. На участке  $t_2 - t_3$  средняя скорость  $V_n$  равна  $1.3 \pm 0.2$  мм/год, среднее время между уровнями отбора –  $80 \pm 10$  лет.

### Магнитная чистка

Опыт изучения обнажений голоценового ППЧ показал [13], что единственной значимой вторичной намагниченностью в молодых рыхлых вулканических породах является VRM, составляющая 20–50% от NRM. Эта вязкая составляющая снимается в образцах ППЧ температурно-временной чисткой в режиме 100–200 °С с выдержкой 8 ч в нулевом поле. Учитывая сходство покровных супесей ЦКД с отложениями ППЧ, мы посчитали возможным в этих предварительных исследованиях обойтись без специальных лабораторных исследований компонентного состава естественной остаточной намагниченности пород разреза. Свежесть пород покровных отложений яра позволяет рассчитывать на малость вклада химической намагниченности, возможность присутствия которой всё же совсем отбрасывать не следует. Температурно-временную чистку при 100 °С прошли все отобранные образцы. Контрольным температурно-временным испытаниям при 200 °С были подвергнуты 80 образцов, контейнеры которых (алюминиевые, стеклянные) могли перенести такой нагрев.

По результатам контрольных испытаний образцы разделились на 2 группы. В первую (рис. 2, уровни отмечены зелёными квадратами), куда вошло 29 образцов (36% испытуемых), попали образцы, изменение направлений которых между испытаниями составило не более 3°, то есть в пределах ошибки измерения направления оставались стабильными. Это говорит о том, что для этих образцов температурно-временная чистка при 100 °С оказалась достаточной для удаления вторичной компоненты, то есть получившиеся после первого этапа направления оставшейся намагниченности можно считать характеристическими. Выяснилось, что и по величине остаточной намагниченности результаты обоих испытаний в этой группе отличаются не более 3%. Это означает, что носители намагниченности в этих образцах в диапазоне 100–200 °С не имеют блокирующих температур, а температура Кюри находится гораздо выше этого диапазона.

Если не быть столь придирчивым и расширить диапазон разброса направлений между чистками до 7°, то в эту расширенную первую группу попадут 53 образца (66% испытуемых). Направления остальных образцов показали неустойчивость между этапами чистки (рис. 2, уровни отмечены тире). Это говорит о том, что, скорее всего, глубина температурно-временной чистки при 100 °С для этой второй группы образцов недостаточна для удаления вторичной компоненты. Не исключено, что во вторую группу попали некоторые образцы из-за промахов при испытаниях и измерениях, в том числе из-за неконтролируемых разрушений образцов внутри контейнеров, что возможно под воздействием нагревов и перегрузок в ротационном магнитометре. К сожалению, проверить практически это уже не представляется возможным.

Контрольные испытания показали, что для большинства образцов температурно-временная чистка при 100 °С достаточна для выделения направления

первичной намагниченности. Но мы не можем гарантировать это для всех образцов. Поэтому полученные после магнитной чистки данные были подвергнуты фильтрации с целью исключить данные, с большой долей вероятности относящиеся к промахам. В качестве критерия отбора использовался межпластовый разброс. Если построить гистограмму величин отклонений углового направления для данного горизонта от среднего направления между выше- и нижележащими горизонтами, то можно подобрать уровень отбраковки образцов, сильно нарушающих общие тенденции на кривых ПВВ. Таким образом были исключены из рассмотрения образцы, имеющие отклонение выше уровня  $11^\circ$ . По этому критерию результаты по 8 образцам были заменены на линейно интерполированные. Это относится и к образцу 452 из второй группы, направление намагниченности которого как до, так и после чистки упорно соответствует положению полностью обращённого МПЗ, что настораживает. К сожалению, такой результат ничем не подкрепляется, и он резко выбивается из общей тенденции кривых ПВВ. Похоже, что этот участок разреза сформировался при перемещении грязевых потоков, о чём свидетельствует присутствие захороненных древесных ветвей на участке. Отдельные части масс в потоке могли попасть на место захоронения в перевёрнутом состоянии, сохранив исходную ориентационную намагниченность.

Поскольку магнитную чистку с двумя этапами прошло относительно небольшое число образцов, предпочтение в выборе оставлено за результатом первого этапа. Для части образцов эти результаты совпадают. А если в каких-то образцах сохранилась недочищенная вторичная компонента, можно надеяться, что в записи она не будет сильно мешать при анализе колебаний ПВВ, будучи постоянной на участках записи.

Палео- и петромагнитные данные по разрезу после чистки и анализа представлены на рис. 3. Обращает на себя внимание значительно пониженные значения индуктивной намагниченности и NRM на участках уровней 278–296 и 357–390. На соответствующих участках кривой фактора  $Q$  аномалий не выявляется. Это говорит о том, что эти аномалии связаны только с резким понижением концентрации ферромагнетиков на этих участках. Такие особенности разреза позволяют сделать вывод о целесообразности полевого измерения магнитной восприимчивости в разрезе, которая может пригодиться для сопоставления с другими аналогичными разрезами. Другая замечаемая особенность петромагнитных кривых – очень резкие короткие пики. Видно, что они проявляются на кривых  $Q$  и NRM, но отсутствуют на кривой индуктивной намагниченности. Можно заметить, что эти пики соответствуют пепловым горизонтам. Причина появления не характерных для ориентационной намагниченности высоких величин  $Q$  пока непонятна, но может быть полезна на практике для стратиграфических построений.

Величина разрушенного при  $100^\circ\text{C}$  вектора остаточной намагниченности  $\Delta J_{n100} = |J_n - J_{n100}|$  в среднем составляет 30% от NRM. Примечательно, что в отличие от  $J_i$  и  $Q$ , доля разрушившейся части NRM ( $\Delta J_{n100}/J_n$ ) не имеет аномалий на пепловых горизонтах. При терморазмагничивании низкотемпературная часть NRM осадочных пород содержит преимущественно вязкую составляющую, величина которой определяется в основном напряженностью современного поля, зато высокотемпературная часть имеет ориентационную природу и зависит

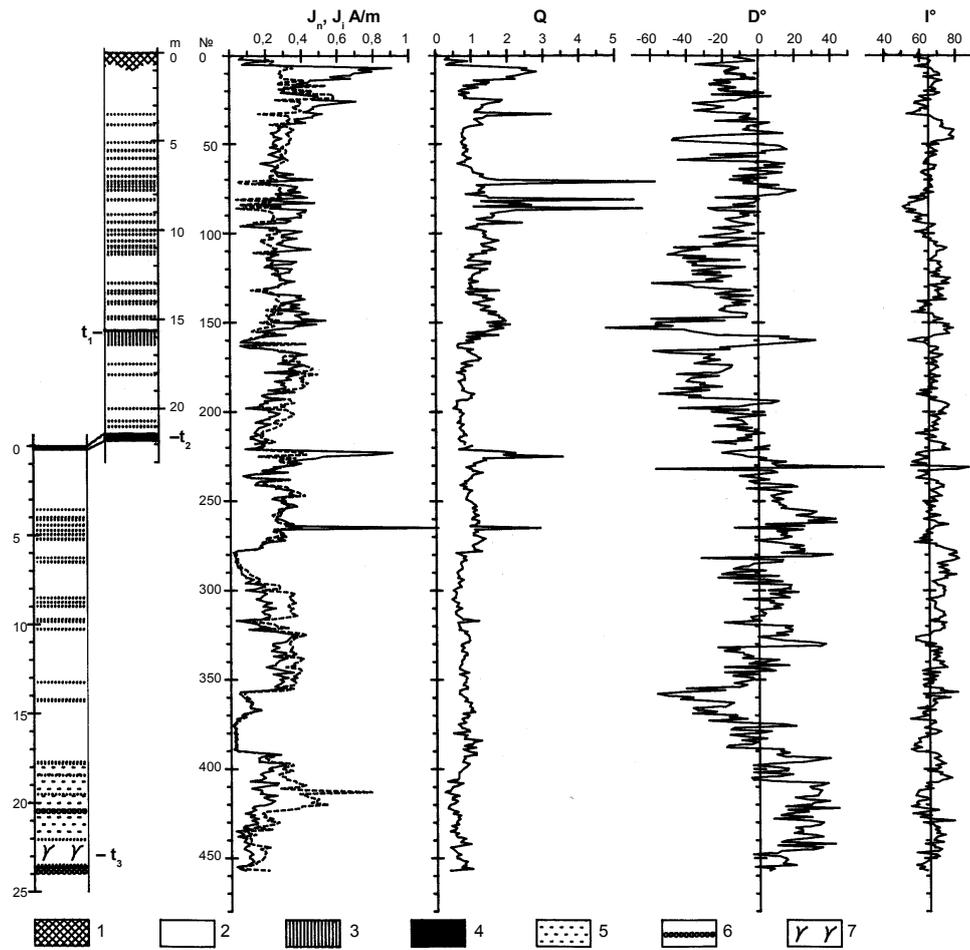


Рис. 3. Магнитные характеристики покровных супесей яра Половинка: 1 – голоценовый ППЧ и современная почва; 2 – супеси, суглинки; 3 – пепловые прослои; 4 – древние почвы; 5 – песчанистые толщи супесей; 6 – галечные прослои; 7 – древесные останки. Радиоуглеродные датировки:  $t_1 = 35.4 \pm 1.5$  (ГИН 3405),  $t_2 = 38.0 \pm 1.1$  (ГИН 3404),  $t_3 = 54.8 \pm 1.4$  (ГИН 5298) в тысячах лет назад.  $J_n, J_i$  – величины естественной остаточной (сплошная линия) и индуктивной (штриховая линия) намагниченности,  $Q$  – отношение Кёнигсбергера,  $D$  и  $I$  – склонение и наклонение остаточной намагниченности пород после температурно-временной чистки и отбраковки. По вертикальной оси – номера горизонтов

от напряжённости древнего поля. Тогда в качестве фактора относительной палеонапряжённости логично выдвинуть величину  $F = J_{n100} / \Delta J_{n100}$ . Можно ожидать, что знаменатель в этом выражении будет иметь повышенную ошибку, поскольку вязкая компонента во время перевозки и хранения получает дополнительные приращения случайного характера.

Бросается в глаза зашумлённость полученных кривых ПВВ. Очевидно, что шум является следствием не только ошибок отбора, чистки и измерений, но и реальных высокочастотных колебаний МПЗ, которые при медленном накоплении материала обычно сглаживаются из-за суммирования многолетнего содержания в образце. В данном случае мы вправе ожидать проявления колебаний,

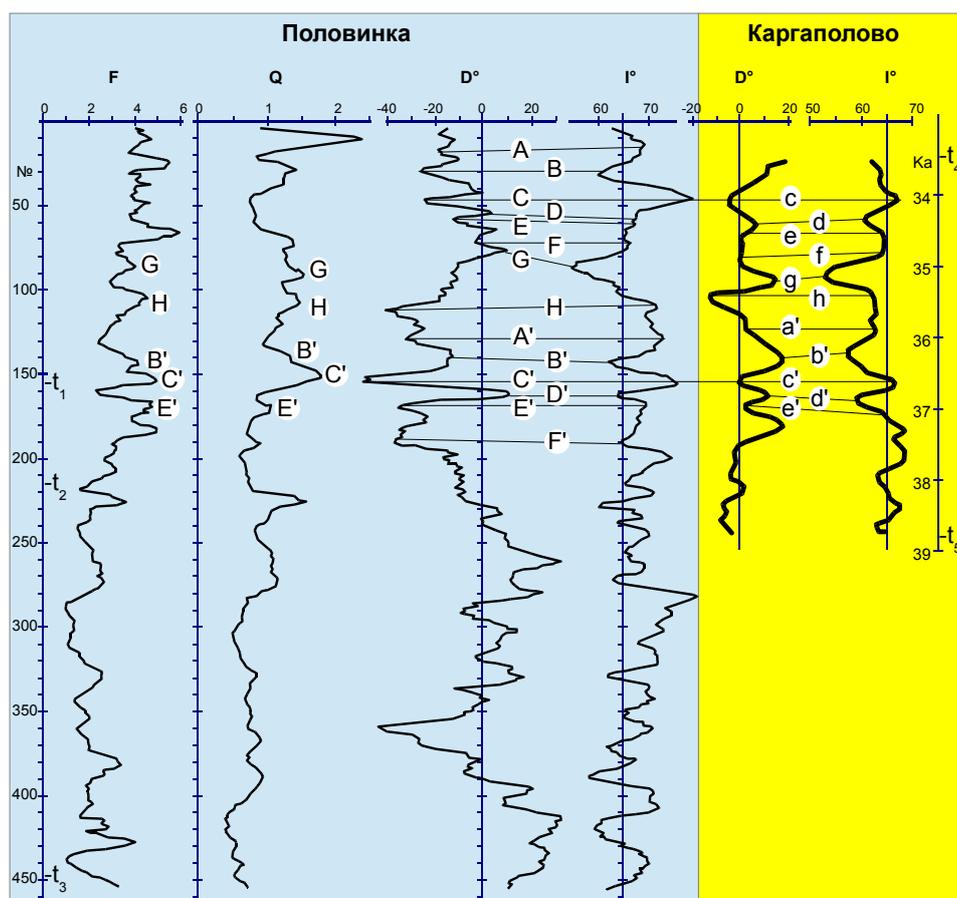


Рис. 4. Отфильтрованные кривые магнитных характеристик пород разреза Половинка. Парная корреляция вариаций угловых параметров остаточной намагниченности пород разрезов Половинка и Каргаполово.  $F$  и  $Q$  – как варианты относительной палеонапряжённости. Справа – сглаженные вариации склонений и наклонений остаточной намагниченности пород разреза Каргаполово (фрагмент рис. из [16]) с радиоуглеродной шкалой. Радиоуглеродные датировки:  $t_1 - t_3$  см. в пояснениях к рис. 3,  $t_4 = 33.45 \pm 0.55$  (СОАН-744) и  $t_5 = 38.8 \pm 0.55$  (СОАН-25) в тысячах лет назад

длительностью в десятки лет, которые генерируются вне ядра Земли. Они не представляют для нас интереса, являются помехой, вероятно, довольно существенной. Для устранения этих объективных помех, а также случайных ошибок проведём фильтрацию мешающих высокочастотных колебаний методом скользящего среднего. Экспериментально выявлено, что полученные записи ПВВ приобретают чёткость, не теряя характерных черт палеовариаций, при 7-точечном сглаживании. Это означает, что мы подавили колебания короче первых сотен лет, что допустимо для ПВВ.

На рис. 4 представлены сглаженные палеомагнитные параметры. На кривых  $Q$  и  $F$  можно обратить внимание на корреляцию с особенностями угловых вариаций ПВВ, помеченную одинаковыми буквами. Возможно, это реальное проявление относительной палеонапряжённости.

### Попытка межрегиональной корреляции

Наиболее эффективный способ подтвердить достоверность полученных записей ПВВ – найти сходство с другими аналогичными данными. Располагая радиоуглеродными данными о возрасте разреза Половинка, удалось подыскать подходящие для сравнения палеомагнитные данные из другого региона в диапазоне 33–39 тыс. лет назад [13]. Географические координаты разреза Половинка –  $54.911^\circ$  с.ш. и  $158.982^\circ$  в.д., а у известного разреза Каргаполово –  $53.75^\circ$  с.ш. и  $82.15^\circ$  в.д., то есть при близости по широте удалённость от нашего разреза по долготе составляет  $77^\circ$ . Расположение разрезов на близких широтах оказывается весьма благоприятным для толкования результатов с позиции модели дрейфующих источников недипольного поля.

Для удобства анализа парные особенности кривых  $D$  и  $I$  из разреза Половинка на рисунке были помечены прописными буквами. Сопоставляя две кривые, мы учитываем возможную неравномерность записей и возможные изменения амплитуд осцилляций, которые должны отражаться в записях как локальные изменения масштабов по той или другой оси. С учётом того, что сопоставляются две пары кривых, достоверность корреляции существенно повышается. Сходные особенности аналогичных кривых по разрезу Каргаполово помечены соответствующими строчными буквами.

Вертикальный масштаб кривых разреза Половинка подобран таким, чтобы наиболее чёткие максимумы  $S$ – $s$  и  $S'$ – $s'$  всех кривых могли соединиться горизонтальными линиями. В результате остальные коррелируемые особенности кривых оказались почти на одинаковых уровнях, что свидетельствует об относительной устойчивости скоростей осадконакопления на сравниваемых участках. Однако при внимательном рассмотрении обнаруживается, что сдвиг по фазе некоторых парных особенностей вариаций  $D$  и  $I$  одного разреза иногда отличается от сдвига по фазе в соответствующей паре другого разреза. Самый яркий пример этого – пары  $G$  и  $g$ , где фаза пика  $D$  отстаёт от фазы  $I$  на кривых разреза Половинка ( $G$ ), а на кривых разреза Каргаполово ( $g$ ) опережает. На стереограммах это выразится в разных направлениях обхода петель.

Мы знаем время, прошедшее между датированными точками вариаций Каргаполово. Если корреляция кривых сделана верно, то можно использовать это время для уточнения средней скорости осадконакопления соответствующего участка разреза Половинка. Таким образом, получаем  $V_v = (4.1 \pm 0.8)$  мм/год, что значительно уточняет сделанную выше оценку по камчатским датировкам. А временной промежуток между горизонтами отбора верхней части разреза составит в среднем  $(25 \pm 5)$  лет.

Более наглядно соотношения фаз должны выявиться на стереограммах ПВВ. К сожалению, для выбранной части разреза Каргаполово опубликована только графическая траектория виртуального геомагнитного полюса (ВГП). Палеомагнитологи по опыту знают, что картины траекторий ПВВ на стереограммах в местной системе координат подобны картинам траекторий ВГП, но с поворотом, зависящим от долготы места. Значит, мы можем сравнивать на стереограммах траектории ВГП вместо траекторий в местной системе координат. Только надо

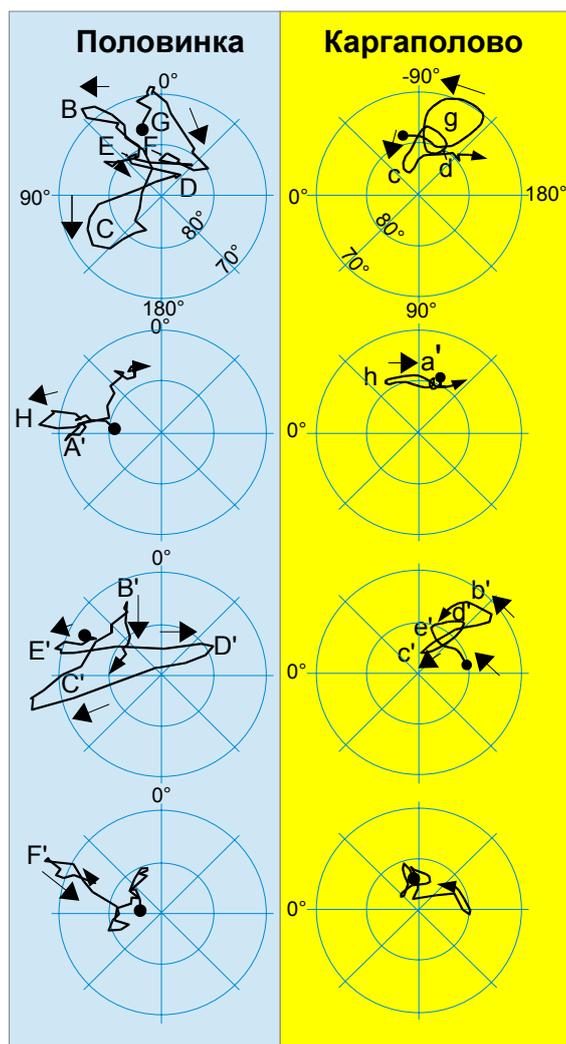


Рис. 5. Сопоставление петель ВГП по данным разрезов Половинка и Каргополово. Стереогаммы развёрнуты на  $90^\circ$  относительно друг друга. Буквенные пометки те же, что и на рис. 4. Стрелки указывают направление движения во времени

учесть поворот. В таком случае для сравнения одну из стереограмм ВГП целесообразно повернуть на угол разности долгот мест изучения МПЗ. Для простоты у нас начала координат на стереограммах ВГП отличаются на  $90^\circ$ , а не на  $77^\circ$ .

Результат сопоставления представлен на рис. 5. На участках, где корреляция в паре *D* и *I* по разрезам выглядит уверенно, наблюдается и хорошая корреляция петель траекторий. Примечательно, что направления главных осей лепестков скоррелированных петель для обоих разрезов примерно одинаковы. Как и ожидалось, амплитуды вытянутости скоррелированных пар петель, как и амплитуды скоррелированных по разрезам экстремумов *D* и *I*, различны. Это может говорить об изменении амплитуд источников во время дрейфа или всего лишь о разном качестве полученных записей. Направления обхода петель почти во всех отчетливо вырисовывающихся парах петель согласуются. Явное исключение

составляет пара G–g. Замеченное выше различие соотношений фаз колебаний *D* и *I* выразилось здесь в противоположности направления обхода при некотором сходстве направлений осей лепестков. Что-то подобное можно сказать и о петлях H–h, B'–b', E'–e', но малый размер петель не позволяет дать уверенное заключение.

Ниже радиоуглеродной датировки 38.8 тыс. лет назад в разрезе Каргаполово выявлены записи известного одноимённого экскурса [13, 15, 16]. К сожалению, кроме отбракованного образца 452, никаких признаков экскурса в ожидаемых участках разреза Половинка пока не обнаружено.

### Попытка периодизации вариаций

Проведённые выше выводы и расчёты основывались на представлениях о дрейфующих вдоль одной широты источниках магнитного поля. Сходство кривых вариаций в двух разнесённых по широте точках наблюдений можно объяснить только дрейфом квазистатичной картины магнитного поля нецентральных источников. Объяснить такую картину поведения МПЗ стационарными или дрейфующими в разные стороны источниками невозможно. Если параметры источников в процессе однонаправленного дрейфа меняются медленно, можно надеяться на выявление квазипериодичности вариаций из-за повторных прохождений тех же источников ПВВ вблизи точки наблюдения.

Не случайно графические элементы вариаций на наших рисунках именованы простыми и штрихованными буквенными обозначениями. Таким образом мы демонстрируем нашу попытку найти пары сходных элементов двух соседних периодов. Сходство членов каждой пары определялась визуально по тем же признакам, как и при корреляции между двумя разрезами. Сходство наиболее выделяющихся на кривых *D* и *I* пиков C–C', уже использованных в качестве маркирующих при сопоставлении кривых обоих разрезов, и послужило первоначальной зацепкой для выявления подобия колебаний одновременно по *D* и по *I* из предполагаемых соседних периодов. Впрочем, некоторое попарное сходство петель B–B', D–D' и F–F' может показаться малоубедительным. Но всё же, используя привязку пиков C–C' к временной шкале, попробуем вычислить период полученных колебаний ПВВ:  $T = 2.7 \pm 0.5$  тыс. лет и скорость дрейфа  $0.13 \pm 0.03^\circ/\text{год}$ . Это не далеко от современных данных о западном дрейфе. Недостаточная точность временных определений не позволяет определить направление дрейфа.

Сходство пар петель вариаций по периодам, так же как и сходство пар петель по разрезам, проявляется в близости направлений их главных осей, в то время как существенно могут различаться амплитуды и даже направления обхода в каждой паре. Согласно правилу Ранкорна [17, 18] на стереограммах ПВВ обход петли по часовой стрелке соответствует западному дрейфу источника, и наоборот. Различие направлений обхода в парах петель, наиболее чётко выявляемое в периодической паре C–C' Половинки и точно так же в паре c–c' Каргаполово, как и замеченное ранее в паре G–g из разных разрезов, в трактовке Ранкорна противоречит нашему выводу об однонаправленном дрейфе источников. В настоящее время в результате исследований разными методами регулярно выявляется разное направление дрейфа параметров МПЗ, и это объясняется наличием разнонаправленных бегущих волн в жидком ядре или наличием там турбулентных

потоков и завихрений. Обнаружившееся противоречие с традиционными представлениями о природе ПВВ требует осмысления, перепроверки и уточнения данных по обоим разрезам, а также пересмотра модели, из которой вытекает правило Ранкорна.

### **О возможных причинах отсутствия экскурса**

Геомагнитный экскурс Лашамп – один из самых изученных [2]. Давно считается глобальным, поскольку выявлен в самых разных точках Земного шара. Длительность его до 6 тыс. лет. В записях ГМП экскурс прослеживается часто до полной инверсии. Кажется невероятным, что он мог обойти Камчатку. В разрезе Половинка запись экскурса логично было ожидать во второй части сразу под широким почвенным слоем с радиоуглеродной датировкой 38 тыс. лет назад.

Первая версия – время инверсии совпало со временем формирования этого почвенного слоя. Климат потеплел, источники сноса заросли растительностью, скорость накопления резко упала. Первичная запись экскурса ГМП не сохранилась в химически активных почвенных отложениях. Но всё же трудно представить, как за 6 тыс. лет могло накопиться лишь 40 см почвы.

Согласно второму предположению искомые слои покровных супесей, содержащие записи экскурса, были размывы, а мы при отборе не выявили границы размыва. Если основываться на скорости накопления (исходной или пересчитанной) верхней части разреза, в результате должно быть утрачено 8–24 м отложений. Это похоже на катастрофу, и это должно было более заметно отразиться в рельефе.

Третье предположение основывается на недоверии к полученным в нижней части разреза палеомагнитным записям. Что если произошло химическое перемагничивание, не выявленное магнитной чисткой? На самом деле в нижней части разреза местами встречаются образования типа конкреций, свидетельствующие о прошедших локальных минералогических изменениях. С другой стороны, именно в нижней части на глубине 1–16 м отображена подавляющая часть образцов первой группы, которые оказались самыми надёжными по результатам магнитной чистки и не имели носителей намагниченности с блокирующими температурами в диапазоне 100–200 °С. Заметим, что при химических изменениях образовывались бы магнитные минералы самых разных размеров и, соответственно, с широким спектром блокирующих температур.

Наиболее вероятной причиной отсутствия экскурса является неправильная расчистка рабочего разреза. Причиной прекращения отбора коллекции в конце первого рабочего разреза (верхняя часть) явилось обнаружение в раскопе захороненных инородных частей разреза с иной стратификацией. Геоморфологи объяснили, что это молодые части яра, когда-то давно сползшие по склону сверху и захороненные. Эти части уникальны тем, что их аналоги в естественном залегании уничтожены эрозией. Сейчас кажется правдоподобным, что, перенеся нашу расчистку в сторону, мы снова натолкнулись на захоронение молодой части яра, но не распознали этого. Чужеродность этой части разреза косвенно подтверждается особыми магнитными свойствами вышеупомянутой нижней части 1–16 м, отличающимися от большинства других горизонтов покровных супесей. Другое подтверждение – сходство полученных в этой части записей ПВВ МПЗ с записями

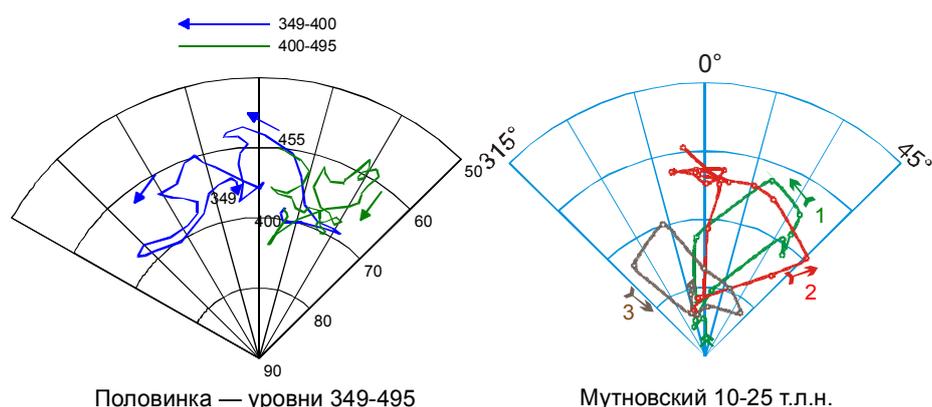


Рис. 6. Сопоставление петель ПВВ из нижней части разреза Половинка от уровня 400 к уровню 349 и из кратерного разреза вулкана Мутновский [6] от петли 2 к петле 3 по ходу времени

ПВВ, полученными Аверьяновым [6] на Мутновском вулкане по лаво-туфовым отложениям в возрасте 10–26 тыс. лет назад. На рис. 6 можно видеть с той и другой стороны две петли в форме бабочки с одинаковой последовательностью и направлением обхода. Если такая сложная комбинация сходных элементов доказывает их синхронность, то этот участок супесей явно чужой и нарушает стратиграфию разреза.

### Выводы

Таким образом, на основании проведенных исследований можно сделать следующие выводы.

Отложения покровных супесей ЦКД благодаря высокой и относительно устойчивой скорости осадконакопления представляют собой уникальный объект для изучения ПВВ МПЗ на Камчатке.

Восстановленные из покровных супесей яра Половинка записи ПВВ МПЗ могут использоваться на Камчатке для хронологических и стратиграфических построений, а также датирования вулканогенных и других геологических образований в диапазоне 33–55 тыс. лет.

Для вулканогенных осадочных образований параметр  $F = J_{nT} / \Delta J_{nT}$ , как отношение величины остаточной намагниченности после магнитной чистки к величине разрушенной в результате чистки составляющей, может оказаться подходящим в роли относительной палеонапряженности. Кривая  $F$  сходна с кривой  $Q$ , но не имеет аномалий на пепловых горизонтах. Однако при получении параметра  $F$  предъявляются повышенные требования к аккуратности при работе с VRM.

Обнаружены хорошие корреляционные связи с записями вековых вариаций МПЗ синхронного разреза Каргаполово (Сибирь). Такой тип корреляции ПВВ хорошо объясняется с позиции гипотезы дрейфующих источников недипольного поля, но не может быть описан вариациями центрального геомагнитного диполя.

Перенесение масштаба более удачной временной шкалы разреза Каргаполово на верхнюю половину разреза Половинка позволило уточнить скорость осадконакопления на этом участке разреза.

Необнаружение в разрезе Половинка записей ожидаемого геомагнитного экскурса Лашамп-Каргаполово возможно по разным причинам, наиболее вероятной из которых кажется перекрытие места отбора обрушившимся блоком более молодой части разреза. Из этого вытекает насущная необходимость повторного детального палеомагнитного отбора покровных супесей ЦКД.

#### Литература

1. Нургалиев Д.К., Ясонов П.Г., Хеди Оберхенсли, Фридрих Хеллер, Борисов А.С., Чернова И.Ю., Акдасов Э.И., Буров Б.В. Палеомагнитная корреляция осадочных толщ: использование особенностей вековых геомагнитных вариаций для расчленения и корреляции голоценовых отложений Аральского моря // *Физика Земли*. – 2007. – № 10. – С. 41–48.
2. Поспелова Г.А. Связь процессов, происходящих в жидком ядре Земли и в верхней мантии, на примере геомагнитного экскурса Каргаполово-Лашамп // *Физика Земли*. – 2013. – № 6. – С. 148–150.
3. Поспелова Г.А., Пилипенко О.В. Вековые вариации геомагнитного поля во время и вблизи экскурса, записанного в разрезе Янгиюль // *Физика Земли*. – 2000. – № 10. – С. 57–65.
4. Бураков К.С., Начасова И.Е. Изменение угловых элементов геомагнитного поля в Европе в последние двадцать четыре столетия // *Физика Земли*. – 2011. – № 5. – С. 51–57.
5. Бахмутов В.Г., Евзеров В.Я., Колька В.В. Палеомагнетизм ленточных глин: седиментогенез и запись вековых вариаций // *Физика Земли*. – 2009. – № 7. – С. 25–41.
6. Аверьянов В.С., Мельников Б.Н. Поведение магнитного поля Земли на Камчатке по палеомагнитным данным // *Изв. АН СССР. Физика Земли*. – 1975. – № 6. – С. 86–91.
7. Аверьянов В.С., Штейнберг Г.С. Использование вариаций магнитного поля Земли для оценки возраста Авачинского вулкана // *Проблемы изучения палеогеомагнитных вариаций магнитного поля Земли*. – Владивосток: ДВНЦ АН СССР, 1979. – С. 61–67.
8. Павлов В.Э., Флутто Ф., Веселовский Р.В., Фетисова А.М., Латышев А.В. Вековые вариации геомагнитного поля и вулканические пульсы в пермо-триасовых траппах Норильской и Маймеча-Котуйской провинций // *Физика Земли*. – 2011. – № 5. – С. 35–50.
9. Пилипенко О.В., Трубихин В.М. Палеомагнитная запись в позднеплейстоценовых лессово-почвенных отложениях разреза Пекла во временном интервале 425–50 тыс. лет // *Физика Земли*. – 2011. – № 8. – С. 37–48.
10. Кочегура В.В., Zubov A.G., Брайцева О.А. Магнитостратиграфия голоценовых почвенно-пирокластических образований Камчатки // *Вулканология и сейсмология*. – 1986. – № 6. – С. 3–17.
11. Брайцева О.А., Мелекесцев И.В., Евтеева И.С., Лукикина Е.Г. Стратиграфия четвертичных отложений и оледенения Камчатки. – М.: Наука, 1968. – 228 с.
12. А.с. 900163 СССР. Пробоотборник для слабопрочного грунта / П.С. Минюк. – № 292381422-26; заявл. 08.05.80; опубл. 23. 01. 82, Бюл. № 3. – 3 с.
13. Алексеева В.А., Zubov A.G., Кочегура В.В. Естественная остаточная намагниченность тефры и изучение по ней палеогеомагнитных вариаций // *Проблемы изучения палеогеомагнитных вариаций магнитного поля Земли*. – Владивосток, 1979. – С. 36–51.
14. Куликова Л.С., Поспелова Г.А. Кратковременная инверсия геомагнитного поля 40 тысяч лет тому назад // *Изв. АН СССР. Физика Земли*. – 1979. – № 6. – С. 52–64.

15. Куликова Л.С. Изучение вековых вариаций и экскурсов геомагнитного поля по палеомагнитным исследованиям позднплейстоценовых континентальных отложений: Автореф. дис. ... канд. геол.-мин. наук. – Новосибирск, 1980. – 24 с.
16. Куликова Л.С. Палеовековые вариации и экскурсы магнитного поля Земли последних 50 тысяч лет. – Новосибирск: Ин-т геологии и геофизики СО АН СССР, 1984. – 183 с. (ВИНИТИ № 6520-84 Деп.)
17. Runcorn S.K. On the theory of the geomagnetic secular variations // *Ann. Geophys.* – 1959. – Т. 15, F. 1. – P. 87–92.
18. Skiles D.D. A method of inferring the direction of drift of the geomagnetic field from paleomagnetic data // *J. Geomagn. Geoelectr.* – 1970. – V. 22, No 4. – P. 441–462.

Поступила в редакцию  
22.01.14

---

**Зубов Александр Георгиевич** – младший научный сотрудник, Институт вулканологии и сейсмологии ДВО РАН, г. Петропавловск-Камчатский, Россия.

E-mail: [zubov@kscnet.ru](mailto:zubov@kscnet.ru)

**Кочегура Владимир Владимирович** – кандидат геолого-минералогических наук, ВСЕГЕИ, г. Санкт-Петербург, умер в 1999 г.

\* \* \*

## RESULTS OF A PALEOMAGNETIC RUN-UP OF SANDY LOAMS FROM THE CENTRAL KAMCHATKA DEPRESSION

*A.G. Zubov, V.V. Kochegura<sup>†</sup>*

### Abstract

The so-called “blanket” sandy loams (loess-like volcanogenic deposits) from the Central Kamchatka depression were paleomagnetically studied. From the Kamchatka-river erosion of the Polovinka dene (54°54'40" N, 158°55'40" E), 457 oriented samples were collected. The age of the studied blanket sandy loams, estimated by radiocarbon dating, was 33–55 Ka. A good correlation of D and I parameters was found with the data from the well-known synchronous Kargapolovo section (Siberia) located close to the same latitude and 77° to the west. Such type of correlation of paleosecular variations is well interpreted by the hypothesis of drifting sources of the geomagnetic field, but cannot be described with the central geomagnetic dipole variation. However, the received records of paleosecular variations for the Polovinka section have no geomagnetic excursion similar to the famous synchronous Lashamp-Kargapolovo one, which we expected to find out. A more probable cause is an undetected stratigraphic dislocation in the section.

**Keywords:** geomagnetic field, paleosecular variations, geomagnetic excursion, Lashamp, Kargapolovo, Kamchatka.

### References

1. Nourgaliev D.K., Yasonov P.G., Borisov A.S., Chernova I.Yu., Akdasov E.I., Burov B.V., Oberhaensli H., Heller F. Paleomagnetic correlation of sedimentary sequences: The use of secular geomagnetic variations for the differentiation and correlation of Holocene Aral Sea deposits. *Izvestiya. Physics of the Solid Earth*, 2007, vol. 43, no. 10, pp. 836–843.
2. Pospelova G.A. Correlation between processes taking place in the Earth's liquid core and the upper mantle based on the example of the Kargapolovo-Lashamp geomagnetic excursion. *Fizika Zemli*, 2013, no. 6, pp. 148–150 (In Russian)
3. Pospelova G.A., Pilipenko O.V. Secular variations of the geomagnetic field before, during, and after the excursion recorded in the Yangiyul section. *Izvestiya. Physics of the Solid Earth*, 2000, vol. 36, no. 10, pp. 858–865.

4. Burakov K.S., Nachasova I.E. Variations of angular elements of the geomagnetic field in Europe during the last 24 centuries. *Izvestiya. Physics of the Solid Earth*, 2011, vol. 47. No. 5, pp. 418–424.
5. Bakhmutov V.G., Yevzerov V.Ya., Kolka V.V. Varved clay paleomagnetism: Sedimentogenesis and secular variation record. *Izvestiya. Physics of the Solid Earth*, 2009, vol. 45, no. 7, pp. 567–582.
6. Averyanov V.S., Melnikov B.N. Behaviour of the Earth's magnetic field on the Kamchatka Peninsula according to paleomagnetic data. *Izv. Akad. Nauk SSSR. Fizika Zemli*, 1975, no. 6, pp. 86–91. (In Russian)
7. Averyanov V.S., Shteinberg G.S. Use of the Earth's magnetic field variations for estimating the age of the Avacha Volcano. *Problemy izucheniya paleovekovykh variatsii magnitnogo polya Zemli* [Problems in the Study of Paleosecular Variations of the Earth's Magnetic Field]. Vladivostok, DVNTs AN SSSR, 1979, pp. 61–67. (In Russian)
8. Pavlov V.E., Veselovskiy R.V., Latyshev A.V., Fluteau F., Fetisova A.M. Secular geomagnetic variations and volcanic pulses in the permian-triassic traps of the Norilsk and Maimecha-Kotui provinces. *Izvestiya. Physics of the Solid Earth*, 2011, vol. 47, no. 5, pp. 402–417.
9. Pilipenko O.V., Trubikhin V.M. Paleomagnetic record in the Late Pleistocene loess-soil deposits of the Pekla section in the time interval 425–50 Ka. *Izvestiya. Physics of the Solid Earth*, 2011, vol. 47, no. 8, pp. 686–697.
10. Kochegura V.V., Zubov A.G., Braitseva O.A. Magnetostratigraphy of Kamchatkan Holocene formations of soil and pyroclastics. *J. Volcanol. Seismol.*, vol. 8, no. 6, pp. 825–849.
11. Braitseva O.A., Melekestsev I.V., Evteeva I.S., Lupikina E.G. Stratigraphy of Quaternary Deposits and Glaciations in Kamchatka. Moscow, Nauka, 1968. 228 p. (In Russian)
12. Minyuk P.S. Sampling Device for Weak Soil. Inventor's Certificate no. 900163, 1982. (In Russian)
13. Alekseeva V.A., Zubov A.G., Kochegura V.V. The natural remanent magnetization of tephra and the study of paleosecular variations on its basis. *Problemy izucheniya paleovekovykh variatsii magnitnogo polya Zemli* [Problems in the Study of Paleosecular Variations of the Earth's Magnetic Field]. Vladivostok, DVNTs AN SSSR, 1979, pp. 36–51. (In Russian)
14. Kulikova L.S., Pospelova G.A. Short-term geomagnetic reversal at 40 ka. *Izv. AN SSSR. Fizika Zemli*, 1979, no. 6, pp. 52–64. (In Russian)
15. Kulikova L.S. Study of secular variations and geomagnetic excursions based on a paleomagnetic analysis of the late Pleistocene continental deposits. Extended Abstract of Cand. Sci. (Geol.-Mineral.) Diss. Novosibirsk, 1980. 24 p. (In Russian)
16. Kulikova L.S. Paleomagnetic Variations and Excursions of the Earth's Magnetic Field during the Last 50 ka. Novosibirsk, Inst. Geologii i Geofiziki SO AN SSSR, 1984. 183 p. (In Russian)
17. Runcorn S.K. On the theory of the geomagnetic secular variations. *Ann. Geophys.*, 1959, t. 15, fasc. 1, pp. 87–92.
18. Skiles D.D. A method of inferring the direction of drift of the geomagnetic field from paleomagnetic data. *J. Geomagn. Geoelectr.*, 1970, vol. 22, no. 4, pp. 441–462.

Received  
January 22, 2014

---

**Zubov Aleksandr Georgievich** – Junior Research Fellow, Institute of Volcanology and Seismology, Far East Branch of the Russian Academy of sciences, Petropavlovsk-Kamchatsky, Russia.  
E-mail: [zubov@kscnet.ru](mailto:zubov@kscnet.ru)

**Kochegura Vladimir Vladimirovich** – PhD. in Geology and Mineralogy, A.P. Karpinsky Russian Geological Research Institute, Saint Petersburg, Russia, died in 1999.