

Вулканические породы Охотско-Чукотского вулканического пояса и проблема происхождения геомагнитных суперхронов

Павлов В.Э.

Volcanic rocks of the Okhotsk-Chukotka volcanic belt and the problem of the origin of the Cretaceous Normal Polarity superchron

Pavlov V.E.

Институт физики Земли РАН, г. Москва;

e-mail: pavlov.ifz@gmail.com

По вулканическим породам Охотско-Чукотского вулканического пояса получены оценки амплитуды вековых геомагнитных вариаций во время Мелового геомагнитного суперхрона, которые поддерживают гипотезу о том, что суперхроны являются особым состоянием геодинамо, вызванным внешней причиной, связанной с мантийными геодинамическими процессами.

Введение

При изучении эволюции геомагнитного поля одной из наиболее актуальных задач является выяснение природы геомагнитных суперхронов. «Суперхронами» в современной научной литературе называют интервалы времени (и соответствующие им состояния геомагнитного поля), в течение которых обычный для любого другого отрезка геологической истории процесс смены полярности геомагнитного поля останавливается, и поле как бы «замораживается» на многие миллионы и десятки миллионов лет в одном из двух возможных стационарных состояний. Суперхроны являются наиболее яркими и, вероятно, наиболее загадочными событиями в истории геомагнитного поля. Вопрос о том, как и почему возникают и прекращаются суперхроны, до сих пор остается нерешенным и представляет собой одну из важных проблем современного естествознания. Преобладавшая до последнего времени точка зрения состояла в том, что переходы между суперхронным и инверсионным режимами происходят в результате постепенных изменений теплового потока на границе ядро-мантия, являющихся отражением мантийной динамики. С другой стороны, имеются свидетельства того, что такие переходы могут иметь резкий, спонтанный характер и быть связанными с нелинейным характером процессов, генерирующих земное магнитное поле. Для того чтобы лучше понять характер перехода между суперхронным и инверсионным режимом поля и, тем самым, приблизиться к решению загадки суперхронов, в течение ряда лет нами проводится работа по изучению поведения геомагнитного поля самого молодого из известных геомагнитных суперхронов – Мелового суперхрона прямой полярности. Этот суперхрон начался в раннем мелу 121 млн лет назад и завершился в позднем мелу 84 млн лет назад.

Основной целью этих исследований является получение надежных данных о характеристиках геомагнитного поля во время суперхрона и сравнение их с соответствующими характеристиками геологических эпох, характеризовавшихся частой сменой магнитной полярности. В том случае, если эти характеристики будут значительно отличаться, можно будет говорить о том, что геомагнитные суперхроны, действительно, отвечают особым режимам работы геодинамо, контролируемым, вероятно, мантийной динамикой. Если такое отличие не будет найдено, это будет рассматриваться как свидетельство спонтанного возникновения суперхронов, никак не связанного с процессами, происходящими в мантии и в других оболочках нашей планеты.

Одной из немногих характеристик геомагнитного поля геологического прошлого, которые мы умеем определять, является амплитуда его вековых вариаций. Оценки амплитуды древних вековых вариаций (paleosecular variations – PSV) могут быть получены по результатам детального палеомагнитного изучения вулканических последовательностей, сформировавшихся в течение рассматриваемых геологических

эпох. Перспективным объектом для решения поставленной задачи являются породы Охотско-Чукотского вулканического пояса (ОЧВП), время формирования которых (~110-70 млн лет назад) значительно перекрывается с Меловым суперхроном.

Таким образом, конкретная задача настоящего исследования состояла в выполнении детальных исследований вулканических пород ОЧВП, в получении на их основе оценки амплитуды вековых вариаций и сравнении этой оценки с таковыми, существующими для эпох частой смены полярности геомагнитного поля.

Объект исследований

Район наших исследований находится в западной части Чукотки на границе Анадырского и Центрально-Чукотского сегментов ОЧВП в верховьях реки Малый Анюй (рис. 1). Здесь нами было опробовано более 80 вулканических потоков кайемраваамской и коваленковских свит [3], 78 из которых, как показали дальнейшие лабораторные измерения, содержат достаточно четкий палеомагнитный сигнал хорошего качества.

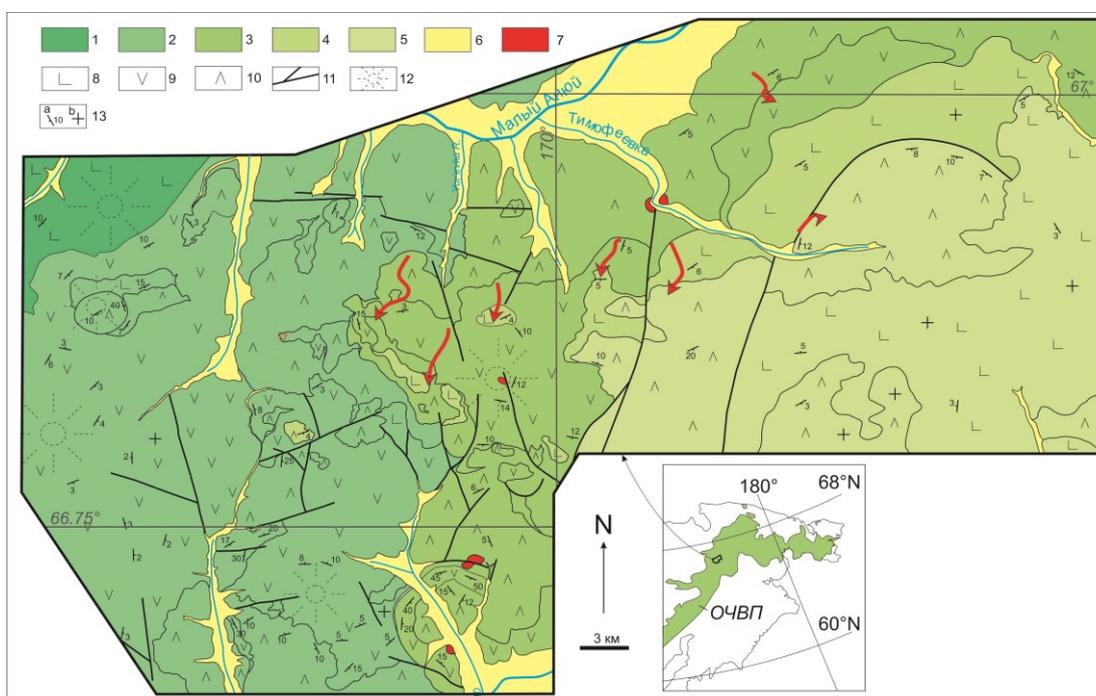


Рис. 1. Схема геологического строения района. (1) – вилковская свита; (2) – мечкеревская свита; (3) – кайемраваамская свита; (4) – коваленковская свита; (5) – вышележащие вулканические толщи; (6) – четвертичные отложения; (7) – расположение опробованных разрезов; (8) – базальты; (9) – андезиты; (10) – риолиты; (11) – главные разломы. (12) – реликты вулканических построек; (13) – элементы залегания.

Из каждого потока отбиралось 12-15 ориентированных палеомагнитных образцов, общее число которых составило около 1000 штук. Ориентация образцов производилась либо с помощью солнечного компаса, либо специальным методом с использованием теодолита, описанным в работе [2].

Кайемраваамская свита включает в себя лавы и туфы андезитов, базальтов, дацитов, риолитов, присутствуют также горизонты вулканомиктовых песчаников. Коваленковская свита сложена лавами оливиновых базальтов. Породы не испытывали сколько-нибудь значительных деформаций, залегают обычно со слабым наклоном в сторону структур компенсационного погружения – кальдер и вулканотектонических депрессий [3]. Данные изотопных исследований показывают, что эти породы сформировались перед окончанием Мелового суперхрона в интервале времени 89-84 млн лет назад.

Метод

Лабораторные палеомагнитные исследования, выделение и расчет характеристических компонент намагниченности выполнялись по стандартной методике [4, 11] в палеомагнитной лаборатории ИФЗ РАН (Москва). Сравнение результатов температурной магнитной чистки и чистки переменным магнитным полем образцов пилотной коллекции показало, что статистически значимо они не различаются. Поэтому чистка основной коллекции в дальнейшем производилась переменным магнитным полем. Для исключения влияния на результат межпотоковой корреляции, средние палеомагнитные направления, рассчитанные для последовательных потоков, сравнивались по методике, предложенной в работе [5]. По результатам этого сравнения определялись дирекционные группы и индивидуальные направления, для которых рассчитывались виртуальные геомагнитные полюсы (VGP). Амплитуда палеомагнитных вариаций S_b рассчитывалась традиционным способом [6] как среднеквадратичное отклонение индивидуальных VGP от их среднего. Для исключения переходных направлений мы использовали угол отсечения, который либо принимался равным 45° , либо рассчитывался итеративным методом Вандамма [12].

Результаты и их обсуждение

При анализе данных магнитной чистки в большинстве образцов ясно определяется характеристическая компонента намагниченности. В пределах сайтов рассчитанные для образцов направления хорошо группируются, кучность соответствующих распределений нередко достигает 100 или больших значений. В пользу первичности выделенной характеристической компоненты говорят положительный тест складок, результаты магнитоминералогических исследований [1], а также близость рассчитанного по характеристической компоненте среднего VGP к близкому по возрасту палеомагнитному полюсу, ранее определенному для региона [9].

По результатам сравнения средних палеомагнитных направлений последовательных вулканических потоков нами выделены 57 дирекционных групп и индивидуальных направлений и рассчитаны координаты соответствующего среднего виртуального геомагнитного полюса. Эти координаты составляют 170.0° E, 76.8° N с радиусом круга доверия $A95=5.2^\circ$ и означают, что исследуемые породы формировались гораздо севернее их современного положения в области очень высоких приполярных широт $\sim 80^\circ$ N.

Наши данные позволяют выполнить оценку амплитуды высокоширотных палеомагнитных вариаций в конце Мелового суперхрона. Эта оценка составляет 21.5° при 95 % доверительном интервале $19.3-24.0^\circ$.

Этот результат скорректирован за внутрисайтовый разброс и за межпотоковую корреляцию и, практически, не зависит от использованных критериев отбора данных. Полученный результат блестяще согласуется с другим единственным высокоширотным определением PSV для Мелового суперхрона [10] и с широтной зависимостью PSV для Мелового суперхрона, построенной на основании низко- и среднеширотных данных [7, 8].

Сравнение оценок, полученных нами и в работе [10], с высокоширотными данными по позднему Кайнозой (рис. 2) показывает, что амплитуда вековых геомагнитных вариаций на высоких широтах во время Мелового суперхрона была на $\sim 15\%$ меньше, чем в течение последних 10 млн лет (время относительно высокой частоты геомагнитных инверсий). Этот результат подтверждает возможную связь между вековыми вариациями и частотой геомагнитных инверсий и поддерживает гипотезу о том, что суперхрон является особым состоянием геодинамо, вызванным, вероятно, внешней причиной, связанной с мантийными геодинамическими процессами.

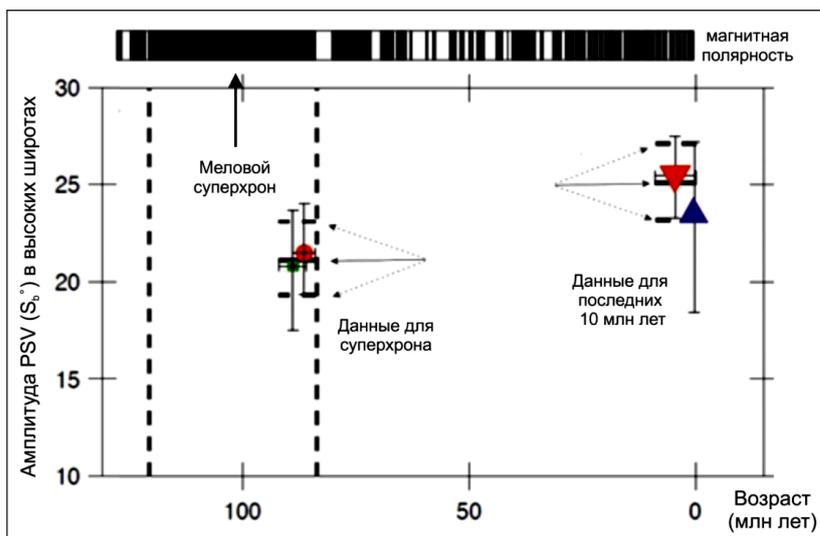


Рис. 2. Сравнение амплитуды высокоширотных геомагнитных палеовариаций (PSV) во время суперхрона (кружки) и во время высокой частоты геомагнитных инверсий в последние 10 млн лет (треугольники). Верхний кружок – наши данные, нижний – [10]; верхний и нижний треугольники – соответственно [7, 8].

Работа выполнена при поддержке РФФ, грант № 23-17-00112 (<https://rscf.ru/project/23-17-00112/>).

Список литературы

1. Лебедев И.Е., Бобровникова Е.М., Тихомиров П.Л. и др. Амплитуда вековых геомагнитных вариаций в позднем мелу по результатам палеомагнитных исследований вулканитов Охотско-Чукотского пояса верхнего течения реки Малый Аной (Западная Чукотка) // Физика Земли. 2022. № 2. С. 41-59.
2. Лебедев И.Е., Павлов В.Э., Минаев П.А. Ошибки ориентирования палеомагнитных образцов при использовании магнитного компаса и возможные пути их преодоления // Ученые записки Казанского университета. Серия Естественные науки. 2023. Т. 165. № 4. С. 633-645.
3. Тихомиров П.Л. Меловой окраинно-континентальный магматизм Северо-Востока Азии и вопросы генезиса крупнейших фанерозойских провинций кремнекислого вулканизма. М.: ГЕОС, 2020. 376 с.
4. Храмов А.Н., Гончаров Г.И., Комиссарова Р.А. и др. Палеомагнитология. Л.: Недра. 1982. 312 с.
5. Chenet A.-L., Fluteau F., Courtillot V. et al. Determination of rapid Deccan eruptions across the Cretaceous-Tertiary boundary using paleomagnetic secular variation: Results from a 1200-m-thick section in the Mahabaleshwar escarpment // Journal of Geophysical Research. 2008. V. 113. № B4. Art. B04101.
6. Cox A. Latitude dependence of the angular dispersion of the geomagnetic field // Geophysical Journal International. 1970. V. 20. P. 253-269.
7. Dembo N., Kraus E., Seliverstov I. et al. Geomagnetic field behaviour during the early Cretaceous normal superchron from palaeomagnetic analysis of the Ramon volcanics, Israel // Geophysical Journal International. 2022. V. 231. № 3. P. 1982-1995.
8. Doubrovine P.V., Veikkolainen T., Pesonen L.J. et al. Latitude dependence of geomagnetic paleosecular variation and its relation to the frequency of magnetic reversals: Observations from the Cretaceous and Jurassic // Geochemistry, Geophysics, Geosystems. 2019. V. 20. № 3. P. 1240-1279.
9. Stone D.B., Layer P.W., Raikevich M.I. Age and paleomagnetism of the Okhotsk-Chukotka Volcanic Belt (OCVB) near Lake El'gygytgyn, Chukotka, Russia // Stephan Mueller Special Publication Series. 2009. V. 4. P. 243-260.
10. Tarduno J.A., Cottrell R.D., Smirnov A.V. The Cretaceous superchron geodynamo: Observations near the tangent cylinder // Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America. 2002. V. 99. № 22. P. 14020-14025.
11. Tauxe L. Essentials of Paleomagnetism. University of California Press, 2010. 489 p.
12. Vandamme D. A new method to determine paleosecular variation // Physics of the Earth and Planetary Interiors. 1994. V. 85. Is. 1-2. P. 131-142.