

Космическое железо в осадках – результаты термомагнитного анализа

Д. М. Печерский¹, Д. К. Нурғалиев², В. А. Фомин³

¹Институт физики Земли РАН,

²Казанский государственный университет,

³Саратовский государственный университет

Получено 31 марта 2010; опубликовано 5 июня 2010.

При изучении осадков мела-даниа и миоцена из разрезов Кавказа, Копетдага и Крыма применен термомагнитный анализ до 800°C. В результате получена детальная картина распределения частиц металлического железа в пространстве и времени. Главное открытие – обнаружение синхронного обогащения частицами железа на следующих возрастных уровнях: 1) 12.6-12.2 Ма, 2) 64,5-66Ма, 3) 84-86Ма (примерно совпадает с верхней границей магнитогиперхрона Джалал), 4) 94-96Ма. Это явление, очевидно, имеет глобальный характер, и его источником является космическая пыль. Примесь никеля в частицах железа варьирует от нуля до 20%, наиболее распространенная величина примеси никеля 5%. В течение магнитохрона Джалал средняя величина примеси никеля практически постоянная, а границы гиперхрона Джалал отмечаются понижением примеси никеля.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: термомагнитный анализ; суперхроны; парамагнитные минералы

Ссылка: Печерский Д. М., Д. К. Нурғалиев, В. А. Фомин (2010), Космическое железо в осадках – результаты термомагнитного анализа, *Вестник ОНЗ РАН*, 2, NZ6025, doi:10.2205/2010NZ000043, 2010

Введение

При петромагнитных исследованиях осадков, чтобы проследить поведение металлического железа мы ввели в практику термомагнитный анализ (ТМА) до 800°C [Grachev et al., 2009; Molostovskii et al., 2006; Pechersky, 2008; Pechersky et al., 2008]. В отличие от «прямых» методов, где извлекаются частицы из заметного объема осадка и получают осредненные данные, мы получаем сведения о железе практически в точке, т.к. величина пробы для ТМА не превышает 0,2г. Повышение температурного интервала ТМА всего на 100° дало возможность наблюдать детальную картину распределения частиц металлического железа в пространстве и времени. В результате выявилось широкое распространение металлического железа в осадках в незначительных концентрациях, обычно ниже 0,001% . При этом была обнаружена положительная корреляция между содержаниями парамагнитных минералов железа (гидроокислы железа, глинистые минералы, сидерит, пирит и др.) и магнитных минералов (магнетит, титаномagnetиты и другие феррошпинели, гемоильмениты) земного происхождения, с одной стороны, и металлического железа внеземного происхождения, с другой стороны. Это объясняется **переотложением** частиц космического железа [Pechersky, 2008]. Наблюдаемая картина разной степени положительной корреляции между перечисленными минералами отражает разную роль процесса переотложения этих минералов, начиная с первичного накопления, когда корреляция полностью отсутствует из-за разных источников и природы непосредственного накопления.

Данная статья посвящена сравнению распределения металлического железа в осадках, накапливавшихся во время двух принципиально различных состояний геомагнитного поля: а) устойчивое состояние без инверсий (гиперхрон Джалал, баррем-сантон, 125-84Ма) и б) неустойчивый режим частых инверсий (суперхроны Туаркыр, Хорезм и Согдиана, кампандий, 84-60Ма и миоцен, 17-9Ма). Это два разреза миоцена Халац (Туркмения) и Квиринаки (Грузия)[Pechersky et al., 2008], группа меловых разрезов Кавказа, перекрывающих и дополняющих друг друга – Аймаки, Басс, Гергебиль, Маджалис и Дженгутай. Для оценки

глобальности распределения металлического железа выполнен ТМА в синхронных осадках в нескольких удаленных параллельных разрезах Копетдага (разрез Кара-Кала) и Крыма (Верхоречье, Сельбухра).

Известно, что в частицах космического железа основная примесь – это никель. Зависимость точки Кюри соединения железа и никеля близка линейной, соответственно, содержание никеля определяется простой формулой:

$$\text{Ni} (\%) = 0.243(770 - T_c), \text{ где } 770 - \text{ точка Кюри железа, } T_c - \text{ точка Кюри образца.}$$

Последовательности отложений всех разрезов, т.е. стратиграфическая шкала, переведена на время, т.е. в хронологическую шкалу, для удобства их сопоставления и т.п. следующим образом: принималось, что в интервале мощности каждого яруса осадконакопление шло равномерно с постоянной скоростью. Соответственно, эта скорость определялась делением продолжительности данного яруса на его мощность, и затем для каждой точки отбора образца определялся его возраст умножением мощности до границы яруса на скорость осадконакопления. Возраст ярусов взят из шкалы геологического времени-2008 [Gradstein *et al.*, 2008].

Содержание зерен железа в осадках

МИОЦЕН. Содержание металлического железа в разрезах Халац и Квиринаки обычно не превышает $10^{-3}\%$ и нередко оно отсутствует, точнее, не обнаруживается ТМА (рис.1). На этом фоне выделяется интервал 12,6-12,2 Ма содержания железа до $4 \times 10^{-3}\%$, и менее яркий интервал примерно 15,2-15Ма, где содержание железа достигает $2 \times 10^{-3}\%$.

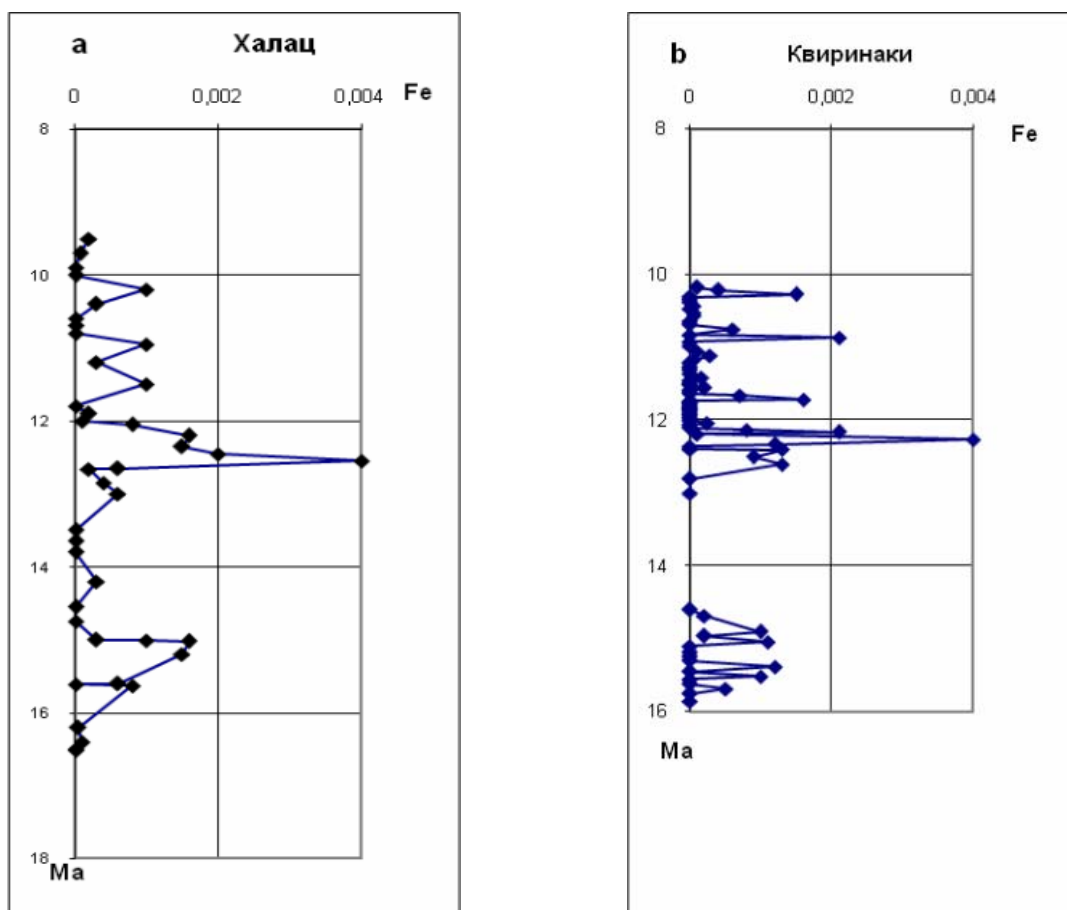


Рис. 1. Содержание железа в миоценовых осадках разрезов Халац и Квиринаки [Pechersky *et al.*, 2008].

Точки Кюри частиц железа варьируют от 730°C до 780°C , в интервале обогащения частицами железа преобладает $T_c = 750^{\circ}\text{C} - 760^{\circ}\text{C}$. Соответственно, в составе частиц железа присутствует примесь никеля от 10% до 0%, и в относительно обогащенных частицами железа

осадках примесь никеля около 4%. Интервал обогащения железом практически синхронен в обоих разрезах, 12,6-12,2Ма (рис.1). Несколько разошлись во времени положения максимумов: в разрезе Халац он в основании интервала (12,55Ма), а в разрезе Квиринаки – ближе к верхней части этого интервала (12,25Ма). Но, во-первых, мы не можем гарантировать такой точности возрастной привязки и, во-вторых, даже если она идеальна, трудно поверить в совершенно одинаковое количество выпавших частиц железа на расстоянии 1500км. Мы это проверили следующим образом, в отобранных рядом кусочках из четырех образцов получены следующие определения содержание железа: 0,004% и 0,003%, 0,002% и 0,0015% (разрез Халац); 0,0013% и 0,0019%, 0,004% и 0,0021% (разрез Квиринаки). Как видно, из приведенных цифр, во всех случаях подтверждается присутствие повышенного содержания металлического железа, и они колеблются от 0,002 до 0,004% даже на одном уровне, так что ничего удивительного в их колебаниях на расстоянии 1500км.

Интересно, что и расположенные в верхней части разреза три узких максимума содержания частиц железа 0,001-0,002% в разрезах Халац и Квиринаки с точностью датировок практически тоже синхронны, их возраст 10,2Ма, 10,95Ма и 11,5Ма (Халац) и 10,26Ма, 10,85Ма и 11,7Ма (Квиринаки) (рис.1). Корреляция интервалов обогащения металлическим железом в осадках заметно удаленных друг от друга разрезов говорит о глобальном эффекте выпадения космогенного железа на Землю в это время. Судя по продолжительности главного события выпадения частиц железа, составляющей примерно 0,4 млн. лет, это не может быть следствием одного даже очень крупного импактного события. Это скорее характеристика космической пыли в это время.

МЕЛ-ДАНИЙ. На первый взгляд в меловых отложениях Кавказа, Крыма, Копетдага заметен литологический фактор – наиболее высокие содержания железа в песчано-глинистых отложениях сеномана Кара-Калы, тогда как в карбонатных отложениях того же возраста других разрезов содержания железа очень низкие, часто оно вообще не обнаруживается ТМА. Однако в песчано-глинистых отложениях нижнего мела Крыма содержания железа очень низкие вплоть до полного отсутствия, лишь относительно высокое содержание железа (около 0,003%) в песчанике самых низов сеномана Сельбухры. В то же время в верхнесеноманских карбонатных отложениях Кавказа содержание железа достигает 0,01%, а в песчано-глинистых отложениях сеномана Кара-Калы – 0,05%. Скорее получается географический, а не литологический контроль: по мере движения с запада на восток растет содержание железа: в меловых отложениях Крыма очень низкие содержания железа, они не превышают $0,2 \times 10^{-3}\%$. Более высокие содержания железа в верхнемеловых карбонатных отложениях Кавказа, где оно нередко превышает $10^{-3}\%$ и достигает 0,01%, а в песчано-глинистых отложениях нижнего мела отмечены локальные аномалии до $3 \times 10^{-3}\%$ (рис.2). Наиболее высокие содержания железа на востоке, в сеноманской части разреза Кара-Кала до 0,05%, а отдельные высокие до $3 \times 10^{-3}\%$ отмечаются в туроне, верхнем коньяке, нижнем сантоне и маастрихте (рис.2).

На основании проведенных исследований можно говорить о четырех типах накопления металлического железа: точечное, локальное, региональное и глобальное.

Точечный тип, наиболее распространенный, когда повышенное содержание железа фиксируется в одном образце, в «точке», и отсутствует в соседних образцах (рис.2), этот тип носит случайный характер. Может быть как результатом первичного попадания железа в осадок, так и результатом его переотложения [Pechersky, 2008].

Локальный тип: повышенное содержание железа фиксируется в серии соседних образцов одного разреза, но не прослеживается от разреза к разрезу. Скорее всего, это сочетание первичного накопления и вторичного переотложения. Наиболее яркий пример длительного неравномерного локального первичного накопления железа (отсутствует корреляция металлического железа с земными минералами железа) – в разрезе Басс, интервал от 82Ма до 72Ма. Пример длительного преимущественно вторичного накопления железа в результате переотложения – разрез Кара-Кала - 95-99Ма, заметна корреляция содержания железа и земных минералов в нижней половине разреза (коэффициент линейной корреляции $r=0,5$). В нижней части гиперхрона Джалал зафиксирован ряд локальных всплесков содержания железа: 107,54Ма, 116,17Ма и 128,08Ма (рис.2а). Возможно, часть из них окажутся региональными после изучения серии нижнемеловых разрезов в будущем.

Региональный тип: повышенное содержание железа фиксируется в синхронных интервалах серии разрезов, например, Кавказа. Маловероятно, что это результат

переотложения, синхронного на большой территории. Если объединим вместе все разрезы Кавказа, должны получить более четкую картину регионального обогащения железом осадков (рис.2а).

Глобальный тип: повышенное содержание железа фиксируется в синхронных интервалах удаленных на большие расстояния разрезов. Этот тип, очевидно, отражает особенности космической пыли, в которой находилась Земля во время глобального накопления железа.

К наиболее выразительным можно отнести следующие интервалы регионального и, возможно, глобального накопления железа:

1) 12-13Ма, средний-поздний миоцен, содержание железа достигает $4 \times 10^{-3}\%$, зафиксирован в двух разрезах, Халац и Квиринаки, удаленных друг от друга более 1500км.

2) 64-66Ма, начало дания-конец маастрихта, содержание железа до $4 \times 10^{-3}\%$, фиксируется в разрезах Кавказа, на Поволжье (Тепловка) [Molostovskii et al., 2006], но не отмечен в разрезах Крыма.

3) 84-86Ма, сантон, повышенное содержание железа зафиксировано в 5 разрезах, удаленных друг от друга более 1000км, максимальное содержание от разреза к разрезу варьирует от $0,2 \times 10^{-3}\%$ (Маджалис) до $2,9 \times 10^{-3}\%$ (Кара-Кала). Этот интервал практически совпадает с верхней границей гиперхрона Джалал (интервал спокойного геомагнитного поля без инверсий, 125-85Ма). Нижняя граница гиперхрона Джалал не отмечена, возможно, из-за редкого отбора образцов (рис.2) в двух разрезах Гергебиль (Кавказ) и Верхоречье (Крым).

4) 94-96Ма, поздний сеноман, повышенное содержание железа зафиксировано в разрезах Аймаки (интервал 94,9-95,6Ма), и Кара-Кала (интервал повышенного содержания железа от 93,8Ма до 97,4Ма), удаленных друг от друга на 1000км. Его с определенной натяжкой можно отнести к глобальному накоплению железа из-за заметной роли вторичного переотложения железа в нижних частях обоих разрезов.

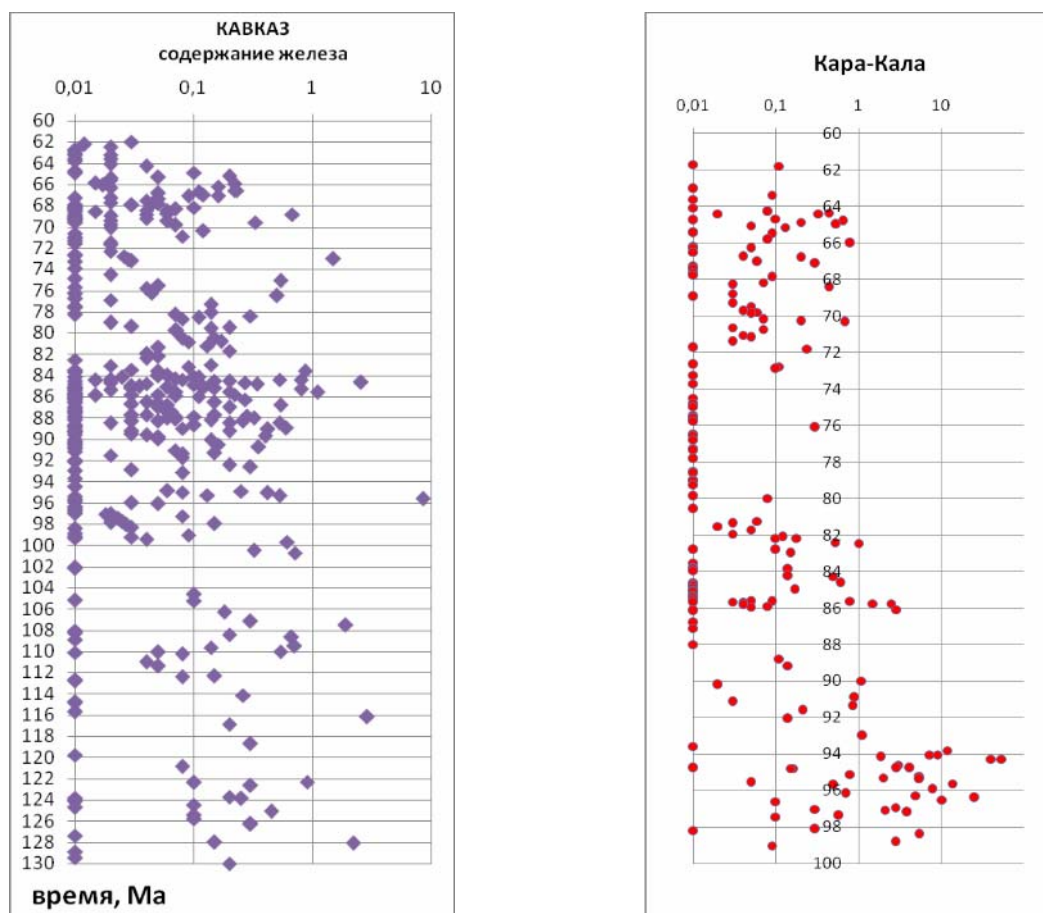


Рис. 2. Распределение железа в осадках Кавказа (левый рисунок) и Кара-Калы (правый рисунок), $10^{-3}\%$.

Состав зерен железа

Вариации состава частиц железа выражаются в их точках Кюри. Они изменяются во всех разрезах, как мела, так дания и миоцена, примерно в одних пределах от 680°C до 780°C, что соответствует примеси никеля от 22% до нуля. Верхний предел содержания никеля (22%) условный и определяется тем, что далее точки Кюри Fe-Ni сплава перекрываются с точками Кюри гематита, магнетита, гемоильменитов и титаномagnetитов, их разделение возможно, но требует специальных экспериментов, а это не входило в нашу задачу. Заметных закономерностей в распределении точек Кюри железа по латерали (между разрезами) не отмечается. Т.е. частицы железа по составу образуют обширное облако, что очевидно естественно для космической пыли. На рисунке 3 видны два интервала, примерно, 130-105Ma и 78-74Ma, в которых примесь никеля меньше, чем в остальном времени. Это лучше видно на данных, осредненных за 9 млн. лет (рис.3, правый), где проявляется закономерный тренд плавных спадов и подъемов спад содержания никеля практически в пределах точности определения содержания никеля, т.е. точек Кюри (в нашем случае эта точность около 10°, что соответствует содержанию никеля 2%). Близкое к постоянному поведению среднего состава частиц железа, очевидно, характеризует частицы железа, выпадавшие из облака космической пыли, через которое в это время проходила наша планета. Подчеркнем, что в отличие от общей концентрации железа в осадках, на которую влияет возможное переотложение, последнее не влияет на состав зерен железа.

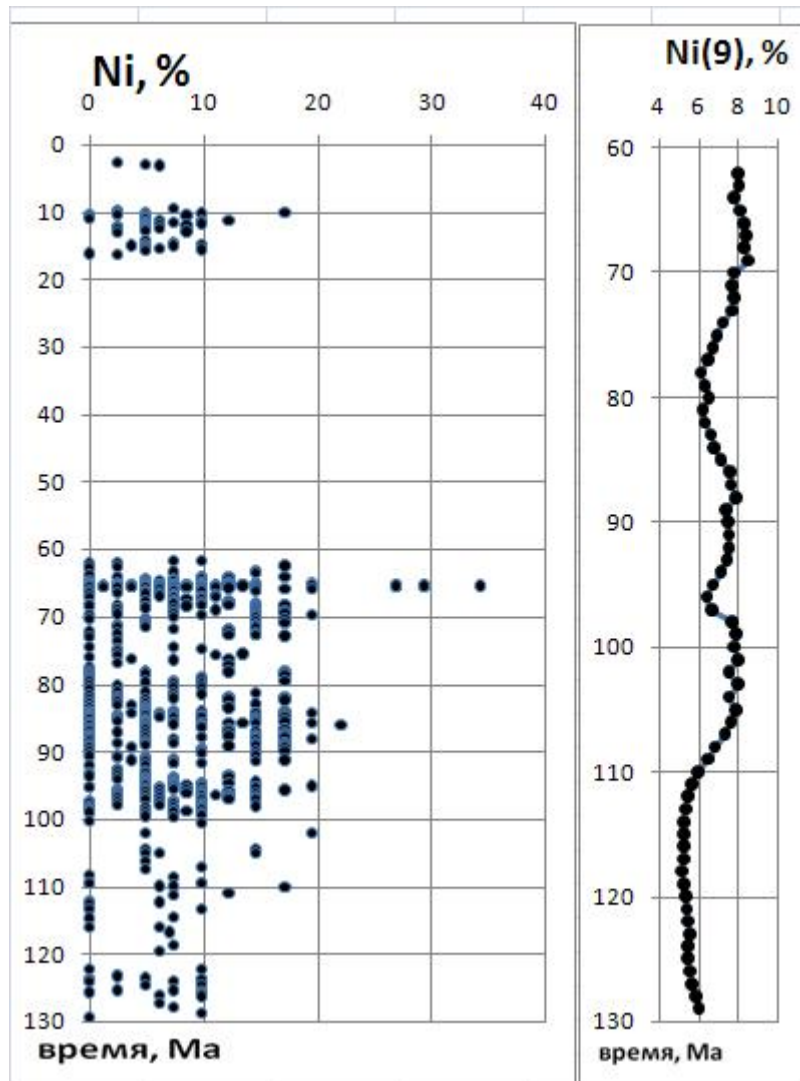
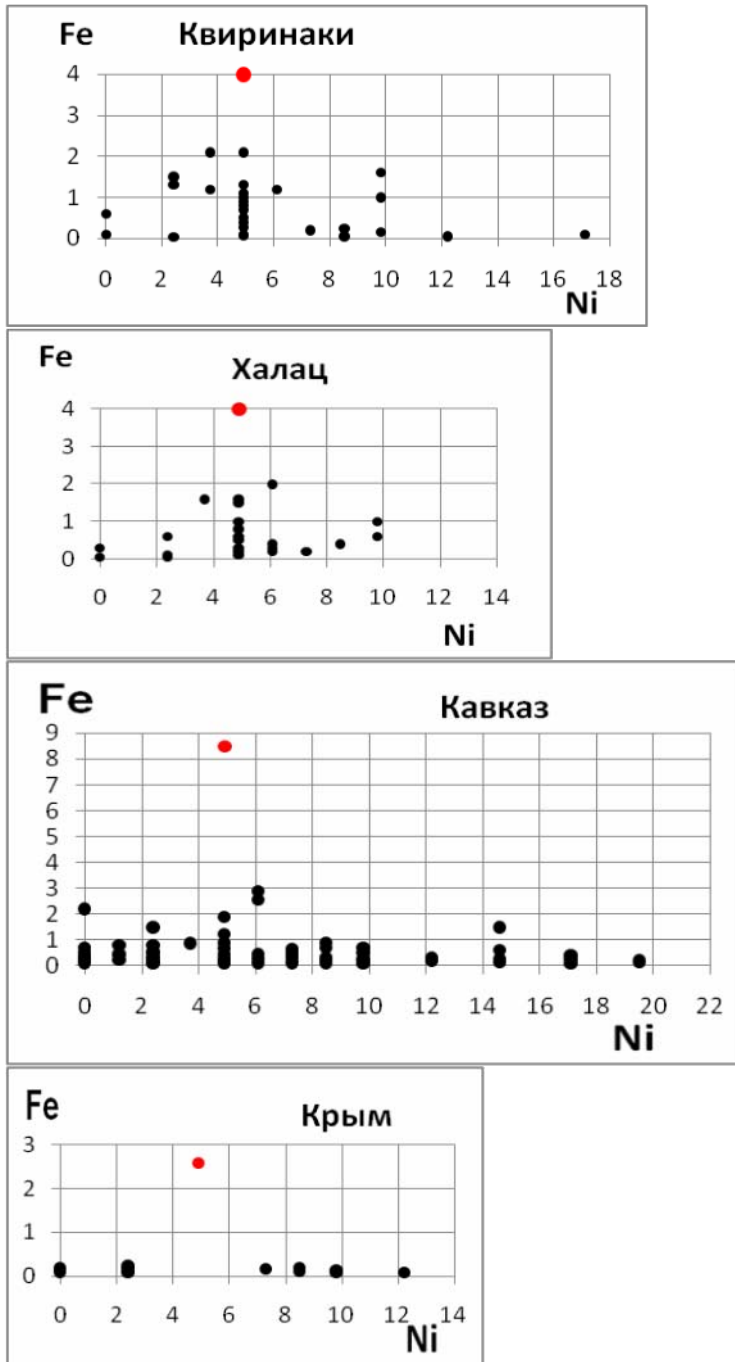


Рис. 3. Распределение примесей никеля в частицах железа в сводном разрезе Кавказа, Кара-Калы и Крыма (левый рисунок). Результаты осреднения данных содержания никеля в частицах железа, интервал осреднения 9 млн. лет, шаг 1 млн. лет (правый рисунок).



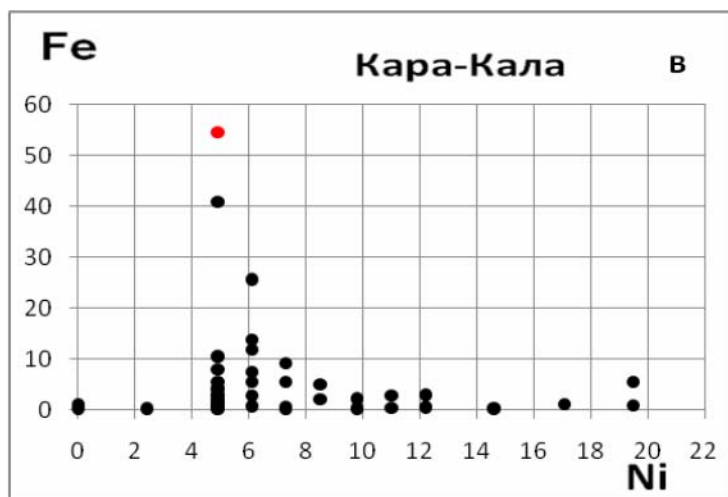


Рис. 4. Зависимость примеси никеля в зернах железа от содержания металлического железа в осадке. Красным значком отмечены максимальные содержания частиц железа.

Сравним содержание частиц железа с примесью в них никеля (рис.4). Из рисунка виден явный пик повышенного содержания железа с примесью никеля 5% независимо от места и возраста осадка, содержащего это железо, даже в осадках Крыма, где содержание железа очень низкое, «выскочило» повышенное содержание железа с примесью никеля именно 5% (рис.4, Крым). Т.е. это некий глобальный эффект. Содержание железа в осадках быстро падает как в сторону роста, так и уменьшения примеси никеля (рис.4). Но есть и региональная особенность в составе зерен железа: в осадках Кара-Калы практически отсутствуют зерна чистого и близкого ему по составу железа, содержание никеля не ниже 5%, тогда как в осадках Кавказа заметна доля зерен, содержащих 5% и меньше никеля вплоть до чистого железа.

Заключение

Благодаря использованию термомагнитного анализа до 800°C мы получили возможность наблюдать детальную картину распределения частиц металлического железа в пространстве и времени, чего методами «прямого наблюдения» достичь трудно.

Главные результаты наших исследований: 1) обнаружено синхронное обогащение частицами железа в осадках миоцена и сантона. Первое - в разрезах Халац и Квиринаки, удаленных друг от друга более 1500км. Второе - в 5 разрезах Кавказа и разрезе Кара-Калы, удаленных друг от друга примерно на 1000км. Несколько варьируют границы интервалов, что, вероятнее всего, связано с неточностью перевода шкалы стратиграфической в хронологическую. Второй интервал очень близок верхней границе гиперхрона Джалал.

Вероятнее всего, эти явления глобальные и связаны с космосом. Они не зависят от местных условий осадконакопления, состава осадков, окислительно-восстановительной обстановки и др. Возраст первого события 12,6-12,2Ма, второго - 84-86Ма. Такая продолжительность накопления железа и глобальный охват не могут быть результатом одноактного импактного события.

2) Вариации состава частиц железа выражаются в их точках Кюри, они изменяются во всех разрезах, как мела, так дания и миоцена, в широких пределах, отражая широкие колебания примеси никеля, и носят скорее случайный характер, очевидно, характеризую широкие колебания состава частиц железа в облаке космической пыли. При сглаживании видно практически постоянное среднее содержания никеля, что, очевидно характеризует состояние облака космической пыли.

4) Во всех изученных разрезах на фоне очень низких содержаний частиц железа с широкими вариациями примеси никеля зафиксирован пик повышенного содержания железа с практически постоянной величиной примеси никеля 5% независимо от места и возраста осадка, содержащего это железо, т.е. это глобальный эффект.

Глобальный характер, продолжительность повышенного содержания железа в осадках, близкая к постоянной средняя примесь никеля в железе, исключают связь с импактными

событиями, более вероятно, что это характеристика облака космической пыли, через которое пролетала в это время Земля.

Литература

- Grachev A.F., O.A. Korchagin, H. A. Kollmann et al. (2009), “*The K/T boundary of Gams (Eastern Alps, Austria) and the nature of terminal Cretaceous mass extinction*”, *Abhandlungen der geologischen Bundesanstalt*, Wien.
- Gradstein F.M., J. Ogg, M. van Kranendonk (2008), On the Geological Time Scale 2008, *Newsletters on stratigraphy*, 43/1, 5-13.
- Molostovskii E. A., V. A. Fomin, D. M. Pechersky (2006), edimentogenesis in Maastrichtian-Danian basins of the Russian plate and adjacent areas in the context of plume geodynamics, *Russ. J. Earth Sci.*, 8, ES6001, doi:10.2205/2006ES000206.
- Pechersky D. M. (2008), Metallic iron in sediments at the Mesozoic-Cenozoic (K/T) boundary *Russ. J. Earth Sci.*, 10, ES6006, doi:10.2205/2005ES000304
- Pechersky D. M., D.K. Nourgaliev, V. M. Trubikhin (2008), Native iron in Miocene sediments, *Russ. J. Earth Sci.*, 10, ES6004, doi:10.2205/2008ES000306

Д. М. ПЕЧЕРСКИЙ, Институт физики Земли РАН, тел.: +7 495 254-9105, факс: +7 499 255-60-40, e-mail: diamar1@front.ru