

## Парамагнитная намагниченность и магнитные минералы в осадках на границе мезозоя и кайнозоя

### Введение

Граница мезозоя и кайнозоя (К/Т) по многим данным фиксируется повышенной магнитной восприимчивостью океанских и морских отложений. Анализ непрерывных разрезов осадков океана, захватывающих границу К/Т, показал [Pechersky, Garbuzenko, 2005], что граница К/Т нередко отмечается пиком магнитной восприимчивости  $\chi$ . Среди известных разрезов непрерывных отложений океанских осадков в трети колонок фиксируется рост магнитной восприимчивости у границы К/Т, от очень узкого пика восприимчивости до длительного времени относительного накопления железа в осадках, охватывающего многие сотни тысяч лет [Pechersky, Garbuzenko, 2005]. Исследователи обычно связывают рост восприимчивости с притоком в осадки терригенного материала, т.е. следовало бы ожидать более высоких значений магнитной восприимчивости океанских осадков близ континентов. Однако в колонках осадков, наиболее близких к континентам,  $\chi$ -пик часто вообще отсутствует.

За последнее время выполнены детальные петромагнитные исследования эпиконтинентальных отложений у границы К/Т разрезов Кошак (Мангышлак) [Печерский и др., 2006], Гамс (Австрия) [Grachev et al., 2005; Pechersky et al., 2006], Тепловка (Поволжье) [Molostovsky et al., 2006], Тетрицкаро (Грузия) [Adamia et al., 1993; Pechersky et al., in press]. Обобщению результатов этих исследований посвящено настоящее сообщение.

Методика петромагнитных исследований перечисленных разрезов подробно описана в вышеупомянутых статьях. Остановлюсь только на определении содержаний магнитных минералов и парамагнитной намагниченности.

Для оценки концентрации магнитных минералов по кривой  $M_i(T)$  определялся вклад в величину  $M_i$  данного магнитного минерала, и эта величина делилась на удельную намагниченность насыщения этого минерала. Принимались следующие величины  $M_s$  [Багин и др., 1988; Нагата, 1965]: для магнетита и титаномагнетита 90 Ам<sup>2</sup>/кг, для железа 200 Ам<sup>2</sup>/кг, для гемоильменита с  $T_c$  выше 300°C - 4 Ам<sup>2</sup>/кг и с  $T_c \approx 250-260^\circ\text{C}$  - 10 Ам<sup>2</sup>/кг, для гётита - 0,25 Ам<sup>2</sup>/кг. Полученные оценки концентрации магнитных минералов, конечно, достаточно условны, но их относительные изменения отражают истинную картину.

«Полная» парамагнитная+диамагнитная намагниченность определена по кривой изотермического намагничивания выше поля насыщения присутствующих в образце магнитных минералов при комнатной температуре. Если известна парамагнитная намагниченность при комнатной температуре, то по закону Кюри-Вейса можно рассчитать парамагнитную намагниченность при 800°C. Диамагнитная намагниченность практически не зависит от температуры [Вонсовский, 1971]. Если учесть, что все измерения сделаны в одном внешнем магнитном поле или приведены к одному полю, то можно рассчитать парамагнитную намагниченность при комнатной температуре:

$$M_p + M_d = M_{20}, \quad M_p/3,644 + M_d = M_{800}, \quad \text{откуда } M_p = 1,378(M_{20} - M_{800})$$

где  $M_p$  - парамагнитная намагниченность при комнатной температуре,  $M_d$  - диамагнитная намагниченность при комнатной температуре,  $M_{20}$  - парамагнитная+диамагнитная намагниченность, определенная по кривой изотермического намагничивания образца при комнатной температуре выше поля насыщения магнитных минералов, присутствующих в образце,  $M_{800}$  - измеренная в том же поле, что и  $M_{20}$  величина намагниченности образца при температуре 800°C. Делитель  $M_p$  (3,644) - это отношение температур 1075К/295К;

Парамагнитная намагниченность фактически определяется общим содержанием железа в породах.

## Результаты петромагнитных исследований

Аномальное поведение магнитной восприимчивости в пограничном слое на границе **К/Т** в эпиконтинентальных осадках встречается в двух вариантах: 1) карбонатные отложения маастрихта сменяются песчано-глинистыми отложениями дания, в этом случае отмечается резкий всплеск восприимчивости в пограничном слое, и выше, в песчано-глинистых отложениях дания ее величина остается повышенной по сравнению с отложениями маастрихта; например, разрезы Гамса (Австрия) [*Pechersky et al., 2006*], Тепловки (Поволжье) [*Molostovsky et al., 2006*], Кубалач (Крым) [*Ямпольская и др., 2004*]; 2) карбонатные отложения близ границы **К/Т** с тонкими прослоями глин, в частности, на границе **К/Т**, в таких разрезах отмечается только резкий пик восприимчивости, приуроченный к слою пограничной глины, например, разрезы Кошак (Мангышлак) [*Печерский и др., 2006*], Тетрицкаро (Грузия) [*Adamia et al., 1993; Pechersky et al., in press*], Абат (Оман) [*Ellwood et al., 2003*]. В анализируемых в данном сообщении разрезах фиксируется скачок восприимчивости на границе **К/Т** (рис.1), однако, вклад в восприимчивость магнитных минералов различен, а чаще преобладает вклад парамагнитного материала, что видно по корреляции величин магнитной восприимчивости и парамагнитной намагниченности (рис.2). Распределение магнитных минералов наглядно демонстрирует поведение по разрезам остаточной намагниченности насыщения (рис.3): четко выделяется по  $M_{rs}$  пограничный слой только в разрезе Тетрицкаро, где в восприимчивости преобладает вклад магнитных минералов (рис.1). Явно общим для пограничного слоя (граница **К/Т**) для всех приведенных разрезов является только резко повышенная парамагнитная намагниченность (рис.4).

Рассмотрим поведение разных групп магнитных минералов в перечисленных разрезах.

**Гётит** (рис.5). Поведение гётита повторяет поведение  $M_r$  и содержание железа (рис.4). Содержание гётита, величина  $M_r$  и содержание железа определены независимо, первое по вкладу магнитной фазы с  $T_c=100-150^\circ\text{C}$  (гётита) в  $M_i(T)$ , второе по сочетанию  $M_{20}$  и  $M_{800}$  (см. введение), третье по данным химического анализа, поэтому такая корреляция свидетельствует об их тесной связи. Отсюда можно заключить, что парамагнитный материал состоит в первую очередь из гидроокислов железа. Следовательно, обогащение гидроокислами железа, как в парамагнитной, так и слабой ферромагнитной форме, закономерно происходит на границе **К/Т**.

**Гемольменит** (рис.6). Гемольменит присутствует в изученных осадках в виде тонких ламелл в ильмените [*Pechersky et al., 2006*]. Его содержание в разных разрезах различно, отражая разную степень окисления ильменита, т.е. разные местные условия появления гемольменита. Только в разрезе Тетрицкаро содержание гемольменита резко растет в пограничном слое, тогда как в остальной части разреза Тетрицкаро и других разрезах оно менее 0,05%.

**Магнетит** (рис.7). Содержание магнетита отчасти согласуется с литологическими особенностями разрезов: более высокие его концентрации в песчано-глинистых отложениях. Несколько выделяются относительно повышенным содержанием магнетита пограничные слои в разрезах Тетрицкаро и Кошак. В общем, как и в случае гемольменита, содержание магнетита не является закономерным признаком границы **К/Т**.

**Титаномагнетит** (рис.8). Еще меньше ощущается литологический контроль в накоплении зерен титаномагнетита. Его содержание широко варьирует от разреза к разрезу. Так, в разрезе Тепловка титаномагнетит не обнаружен, в разрезах Тетрицкаро и Кошак его содержание менее 0,001% в отложениях маастрихта, а в отложениях дания он не обнаружен, в разрезе Гамс оно колеблется от менее 0,001 до 0,01% независимо от литологии. Титаномагнетит, очевидно, вулканического происхождения, его состав типичен для базальтов [*Grahev et al., 2005*]

**Металлическое железо** (рис.9). Содержание металлического железа широко варьирует от разреза к разрезу, от менее 0,0001 до ~0,004%, последнее обнаружено в разрезе Тепловка в отложениях маастрихта, близ границы К/Т, при этом в отложениях дания оно вообще не обнаружено. Таким образом, и про металлическое железо можно сказать об отсутствии какой-либо единой закономерности в его распределении, в частности – о приуроченности к границе К/Т. Шарики металлического железа в изученных осадках, очевидно, космического происхождения.

**Металлический никель и его сплав с железом.** В верхней части пограничного слоя разреза Гамс в единичных кусочках обнаружены металлический никель и его сплав с железом, как и металлическое железо, вероятнее всего, космического происхождения. В других разрезах никель вообще не обнаружен.

### **Заключение**

Из обобщения петромагнитных результатов по четырем разрезам следует:

1) на границе К/Т происходит резкое накопление гидроокислов железа и этот эффект носит, скорее всего, глобальный характер. Он не связан с местными физико-географическими особенностями накопления терригенного материала в осадках. «Глобальный характер» не означает, что везде на границе К/Т скапливаются гидроокислы железа и эта закономерность не имеет обратной силы, т.е. скопление гидроокислов железа в осадках происходит не только на границе К/Т, но на границе мезозоя и кайнозоя это явление закономерное. Накопление гидроокислов железа, видимо, подобно процессу образования металлоносных осадков и железистых микроконкреций в результате вулканической и гидротермальной деятельности [Гурвич,1998]. Этот процесс существенно отличается от терригенного накопления магнитных минералов. В пользу глобальности накопления гидроокислов железа на границе К/Т говорит их синхронное накопление, по крайней мере, в пределах Европы, о чем свидетельствуют магнитостратиграфические данные: в разрезах Губбио (Италия) [Rocchia et al., 1990], Гамс (Австрия) [Mauritsch,1986] и Тетрицкаро (Грузия) [Adamia et al.,1993; Pechersky et al., in press] граница К/Т находится внутри магнитохрона C29r практически на одном и том же уровне.

2) В отличие от гидроокислов железа накопление других магнитных минералов идет по разному, очевидно, отражая происхождение этих минералов (космогенные шарики металлического железа и никеля или вулканогенные зерна титаномагнетита) или местные условия накопления терригенного материала (например, магнетита, ильменита); магнитная слоистая текстура осадков свидетельствует о детритном отложении и гидроокислов железа и других магнитных минералов.

3) Основание пограничного слоя на границе К/Т (разрез Гамс) обогащено обломками титаномагнетита вулканического происхождения; возможно, совпадение времени накопления титаномагнетита и гидроокислов железа говорит об общем источнике их накопления, а именно, титаномагнетит – продукт разноса по воздуху и выпадения в виде осадка продуктов извержения вулканов, тогда как гидроокислы железа – продукт гидротермальной деятельности, связанной с тем же вулканизмом, что-то типа металлоносных осадков; при этом процесс эруптивной деятельности короткий, а накопление гидроокислов железа более растянуто во времени.

4) Скачок накопления гидроокислов железа в пограничном слое не имеет отношения к импактным событиям. Так, в разрезе Гамс признаки импактного события (появление металлического никеля и сплава с железом, аномалия содержания иридия) приходятся на верхи пограничного слоя на границе К/Т, тогда как скачок накопления гидроокислов железа и титаномагнетита приходится на основание этого слоя, в разрезе Тетрицкаро аномалия содержания иридия приходится на низы пограничного слоя. Более того, резкий рост содержания гидроокислов железа отмечен во всех перечисленных разрезах, тогда как металлический никель отмечен только в разрезе Гамс. И ни в одном из изученных разрезов не отмечается обогащения на границе К/Т

шариками космогенного металлического железа. Таким образом, граница К/Т не отмечается прямыми признаками импактного события.

### Литература

*Багин В.И., Гендлер Т.С., Авилова Т.А.* Магнетизм  $\alpha$ -окислов и гидроокислов железа. М.: изд. ИФЗ АН СССР, 1988. 180с.

*Вонсовский С.В.* Магнетизм. М.: Наука, 1971. 1032с.

*Гурвич Е.Г.* Металлоносные осадки Мирового океана. М.: Научный мир. 1998. 337с.

*Нагата Т.* Магнетизм горных пород. М.: Мир, 1965. 348 с.

*Печерский Д.М., Нургалиев Д.К., Шаронова З.В.* Магнитолитологическая и магнитоминералогическая характеристика отложений на границе мезозоя и кайнозоя: разрез Кошак (Мангышлак) // Физика Земли, №10, 2006.

*Ямпольская О.Б., Пименов М.В., Фомин В.А., Гужиков А.Ю., Яковичина Е.В., Бронникова Ю.А.* Предварительные результаты изучения магнитных свойств пограничных отложений мела-палеогена Горного Крыма // В сб. «Палеомагнетизм и магнетизм горных пород: теория, практика, эксперимент», материалы международного семинара. Казань: изд-во Казанского ун-та, 2004. С.276-279.

*Adamia Sh., Salukadze N., Nazarov M., Gongadze G., Gvartadze T., Kilasonia E., Asanidze B.* Geological events at the Cretaceous-Paleogen boundary in Georgia (Caucasus) // *Geologica Carpatica*, 1993, v.23, №3, p.35-43

*Ellwood B.B., MacDonald W.D., Wheeler C., Benoist S.L.* The K-T boundary in Oman: identified using magnetic susceptibility field measurements with geochemical confirmation // *EPSL*, V.206, 2003. – P.529-540.

*Grachev A.F., Korchagin O.A., Kollmann H.A., Pechersky D.M., Tselmovich V.A.* A new look at the nature of the transitional layer at the K/T boundary near Gams, Eastern Alps, Austria, and the problem of the mass extinction of the biota // *Russ. J. Earth Sci.*, 2005, v.7, ES6001, doi:10.2205/2005ES000189.

*Mauritsch H.J.* Der Stand der paläomagnetischen Forschung in den Ostaplen // *Leobner Hefte für Angewandte Geophysik*, 1986, v.1, p.141-160

*Pechersky D.M., Garbuzenko A.V.* The Mesozoic-Cenozoic Boundary: Paleomagnetic Characteristic // *Russian J. Earth Sci.*, 2005, v.7, N2.

*Pechersky D.M., Grachev A.F., Nourgaliev D.C., Tselmovich V.A., Sharonova Z.V.* Magnetolithologic and magnetomineralogical characteristics of deposits at the Mesozoic/Cenozoic boundary: Gams section (Austria) // *Russ. J. Earth Sci.*, 2006, v.8, №3, ES3001, doi: 10.2205/2006ES000204.

*Rocchia R., Boclet D., Bonte Ph., Jehanno C., Chen Y., Courtillot V., Mary C., Wezel F.* The Cretaceous-Tertiary boundary at Gubbio revisited: vertical extent of the Ir anomaly // *Earth Planet. Sci. Lett.*, 1990, v.99, p.206-219.

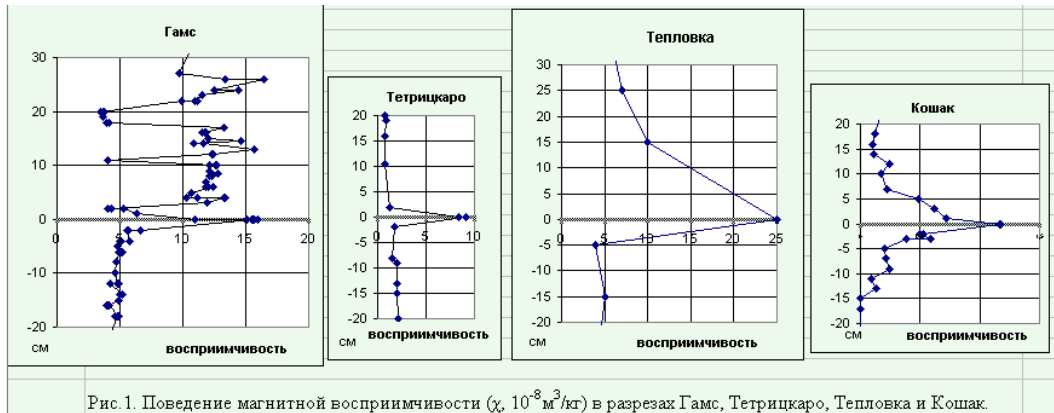


Рис.1. Поведение магнитной восприимчивости ( $\chi$ ,  $10^{-8} \text{ м}^3/\text{кг}$ ) в разрезах Гамс, Тетрицаро, Тепловка и Кошак.

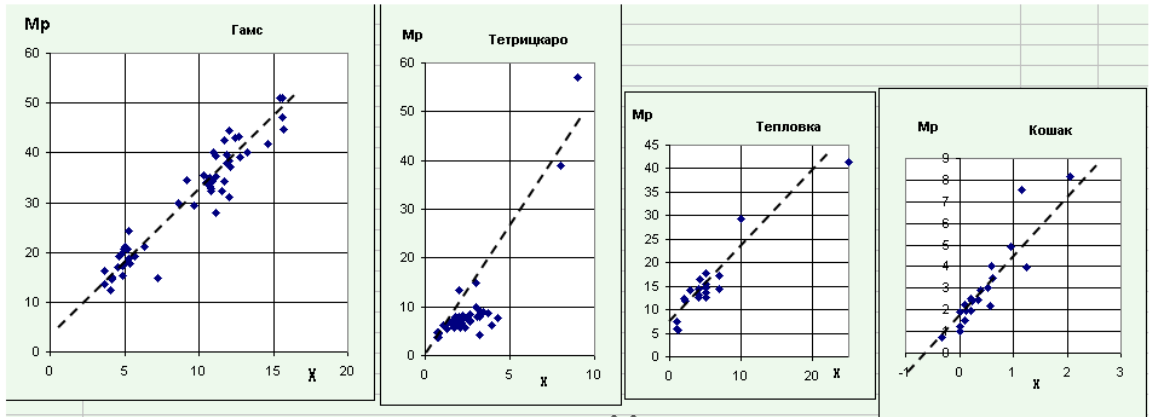


Рис.2. Корреляция между магнитной восприимчивостью ( $\chi$ ,  $10^{-8} \text{ м}^3/\text{кг}$ ) и парамагнитной намагниченностью ( $M_p$ ,  $10^{-3} \text{ Ам}^2/\text{кг}$ ), разрезы Гамс, Тетрицаро, Тепловка и Кошак.

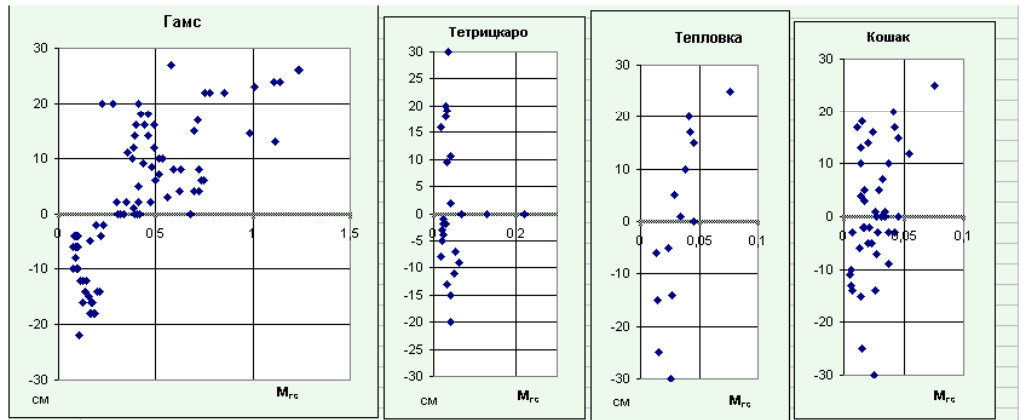


Рис.3. Поведение остаточной намагниченности насыщения ( $M_{rs}$ ,  $10^{-3} \text{ Ам}^2/\text{кг}$ ) в разрезах Гамс, Тетрицаро, Тепловка и Кошак.

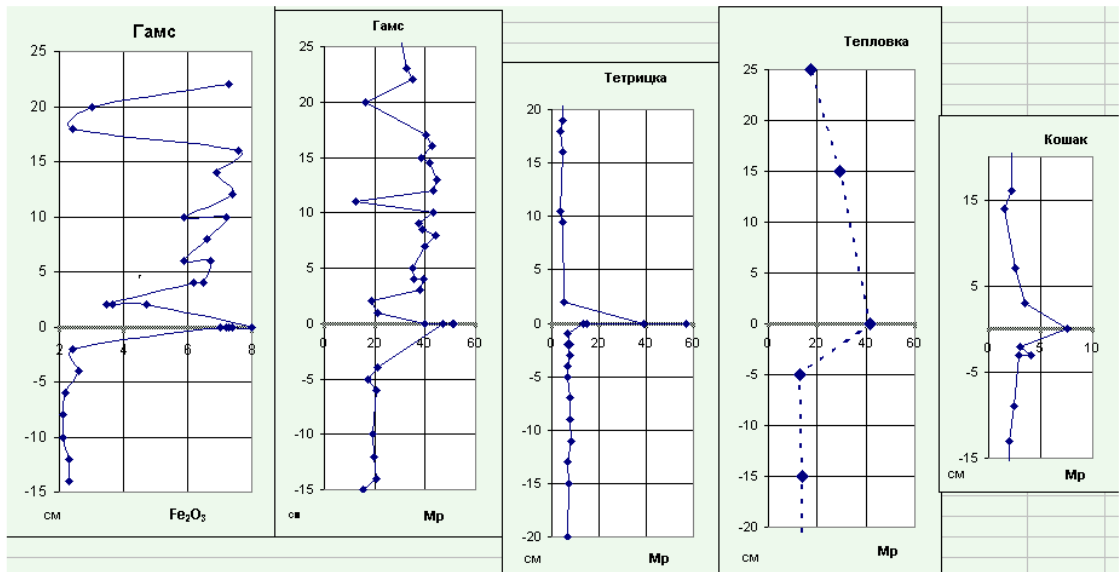


Рис.4. Поведение парамагнитной намагниченности ( $M_p$ ,  $10^{-3} \text{ Ам}^2/\text{кг}$ ) в разрезах Гамс, Тетрицаро, Тепловка и Кошак и валового содержания железа в форме  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  по данным химического анализа (Гамс) [Grachev et al., 2005].

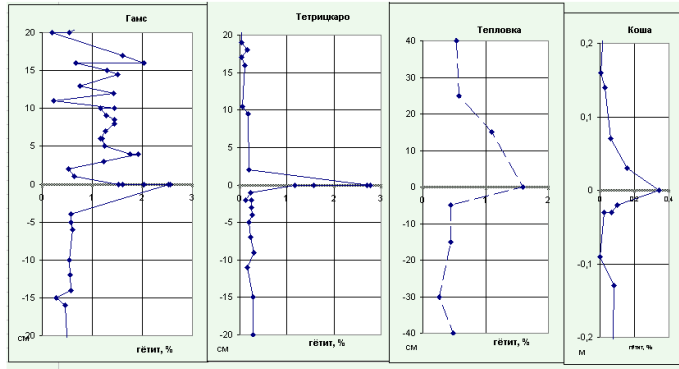


Рис. 5. Поведение гётита в разрезах Гамс, Тетрицаро, Теплока и Кошак.

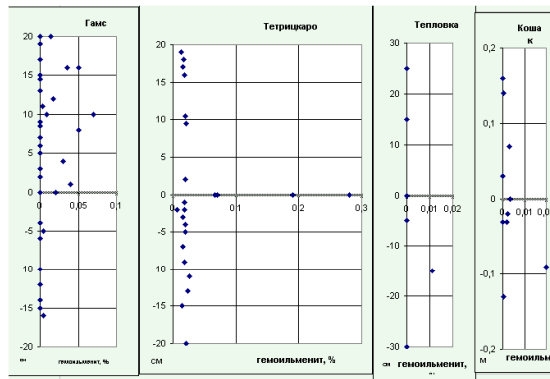


Рис. 6. Поведение гематита в разрезах Гамс, Тетрицаро, Теплока и Кошак.

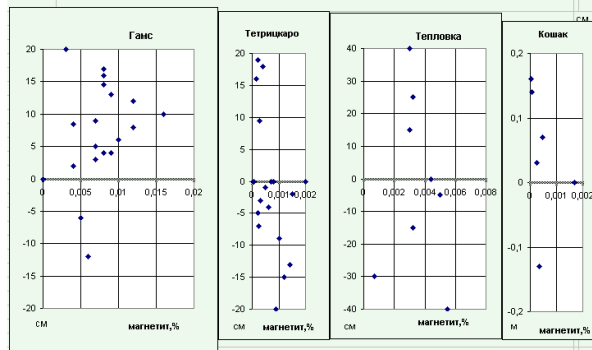


Рис. 7. Поведение магнетита в разрезах Гамс, Тетрицаро, Теплока и Кошак.

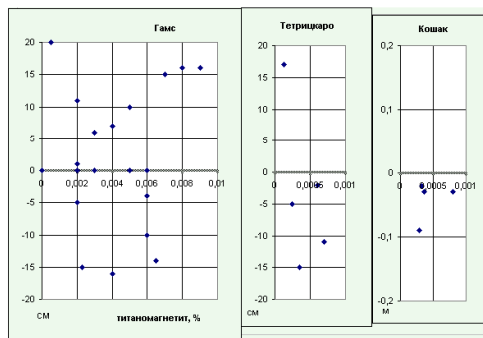


Рис. 8. Поведение титаномагнетита в разрезах Гамс, Тетрицаро, Теплока и Кошак.

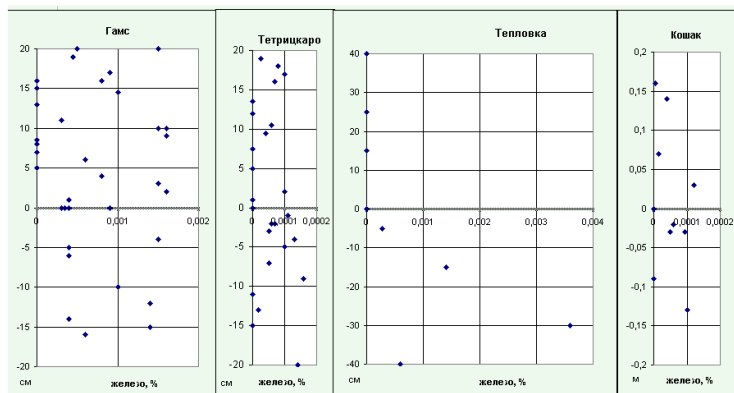


Рис. 9. Поведение металлического железа в разрезах Гамс, Тетрицаро, Теплока и Кошак.