

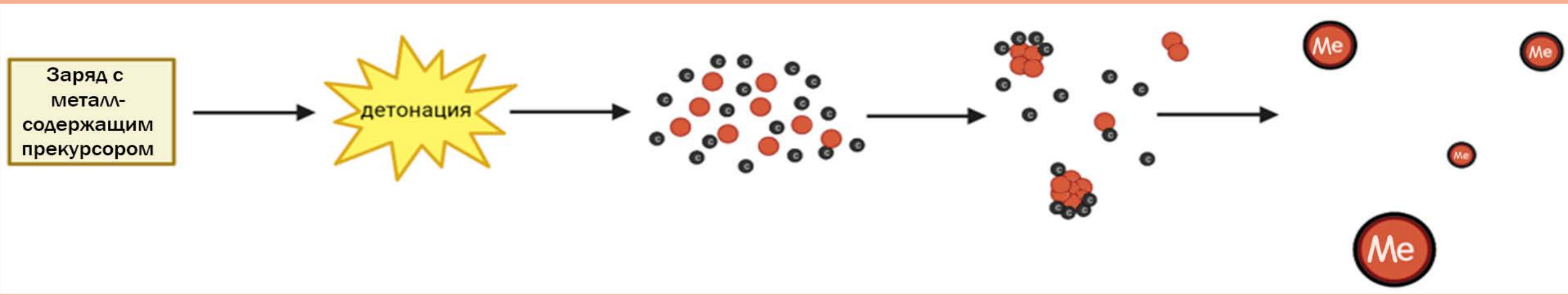
Регистрация детонационного синтеза наночастиц металлов рентгенографическим и микроскопическим методами

Н.А. Хлебановский¹, А.О. Кашкаров², К.А. Тэн², Е.Ю. Герасимов³, Б.Л. Мороз³

¹Новосибирский государственный университет, Новосибирск, Россия, ²Институт гидродинамики им. М.А. Лаврентьева СО РАН, Новосибирск, Россия, ³Институт катализа им. Г.К. Борескова СО РАН, Новосибирск, Россия

Детонационный синтез

В ходе детонации прекурсоры, смешанные с ВВ, разлагаются в ходе термических реакций и начинают образовывать наночастицы металлов. Чем сильнее расширяются продукты детонации, тем менее активно растут наночастицы. Также на поверхности частиц конденсируется углерод, образованный в ходе разложения ВВ и прекурсоров, который также тормозит рост наночастиц. В результате, образование наночастиц и их размеры определяются тремя основными факторами: рост наночастиц, конденсация на их поверхности углерода и расширение продуктов детонации.

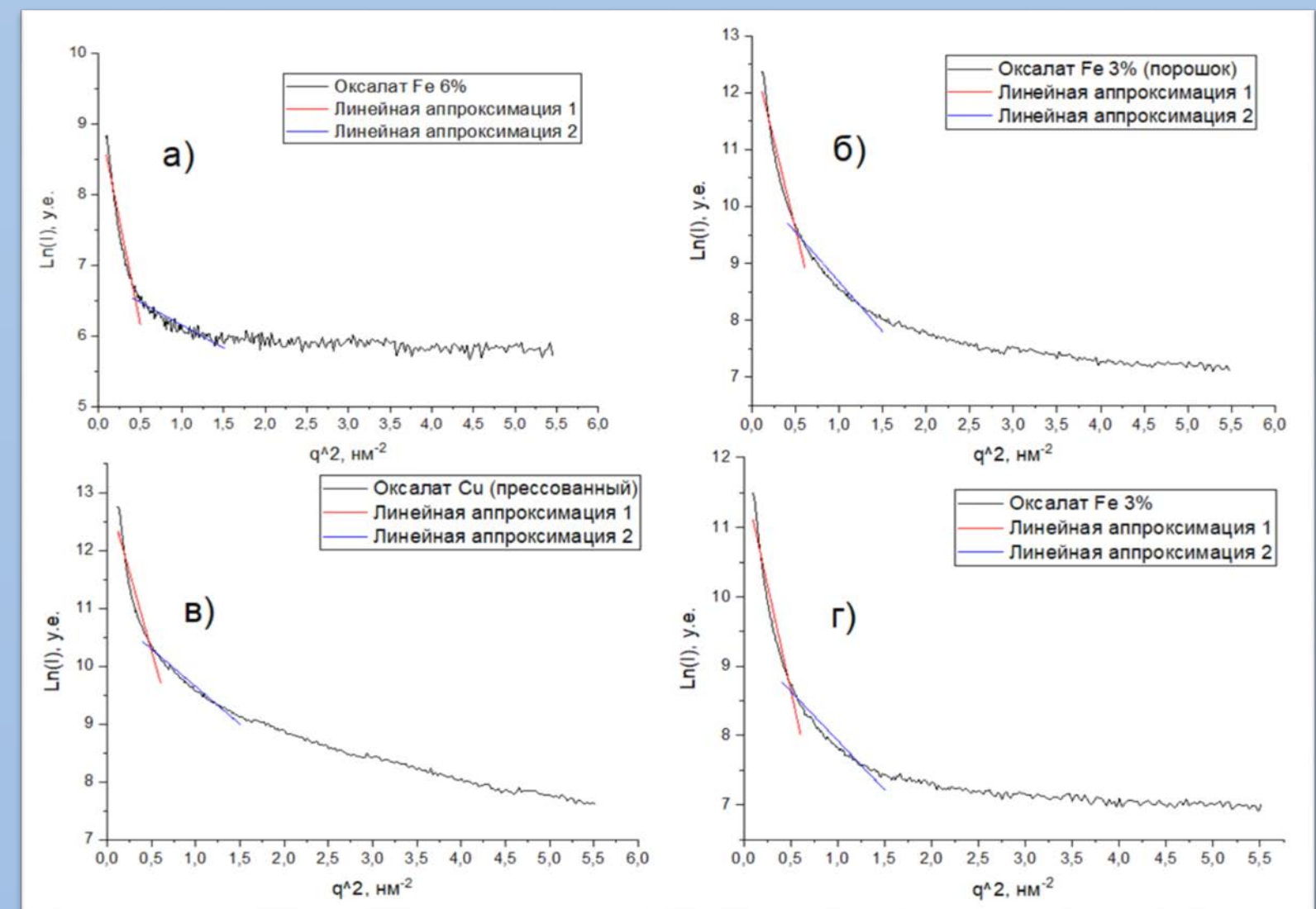


Метод МУРР

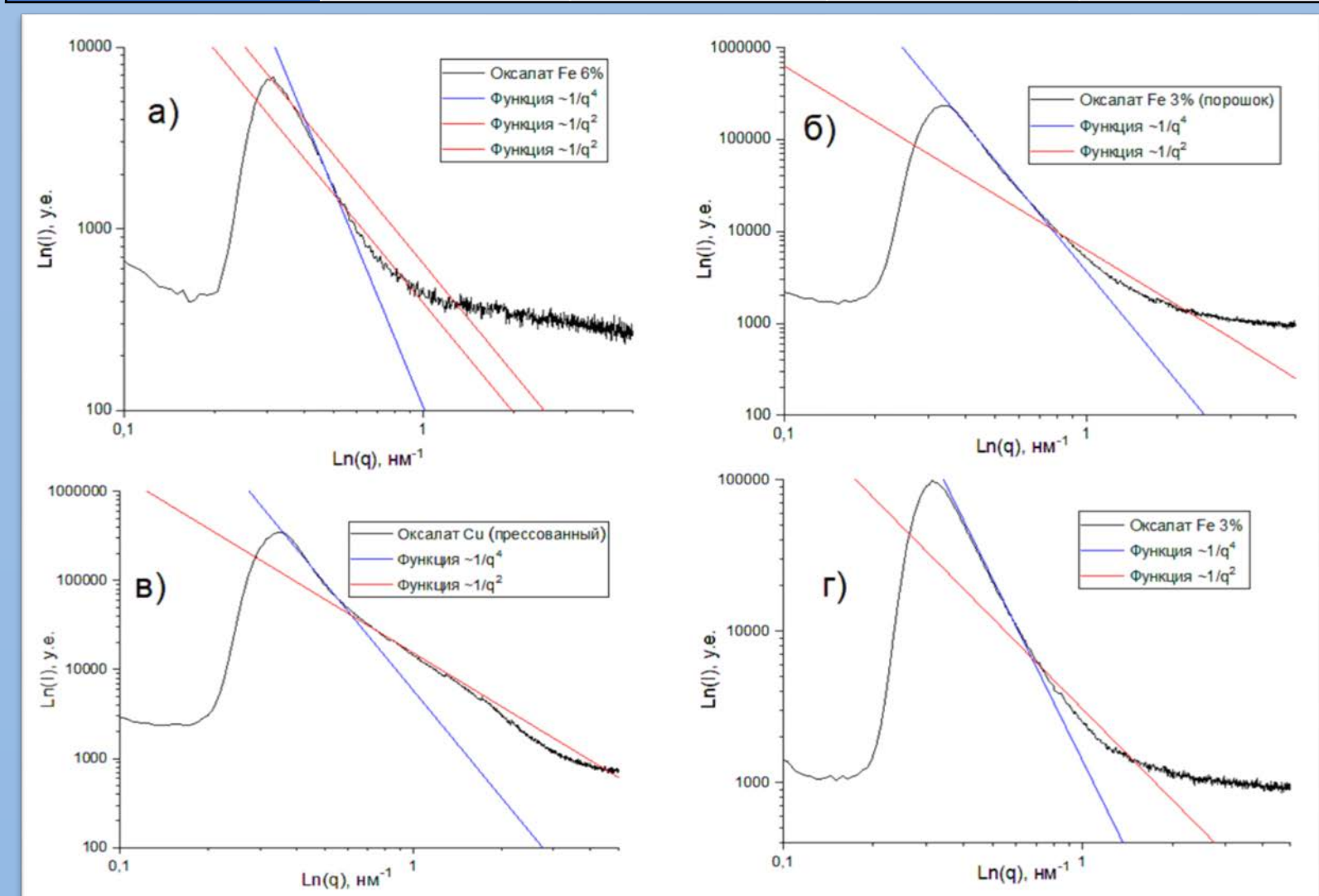
Для получения данных о размерах сферических частиц применялось приближение Гинье:

$$I = I_0 \exp\left(-\frac{(qR_g)^2}{3}\right) \Rightarrow R = \sqrt{5/3} R_g \Rightarrow \ln(I(g, R)) = -\frac{qR^2}{5}$$

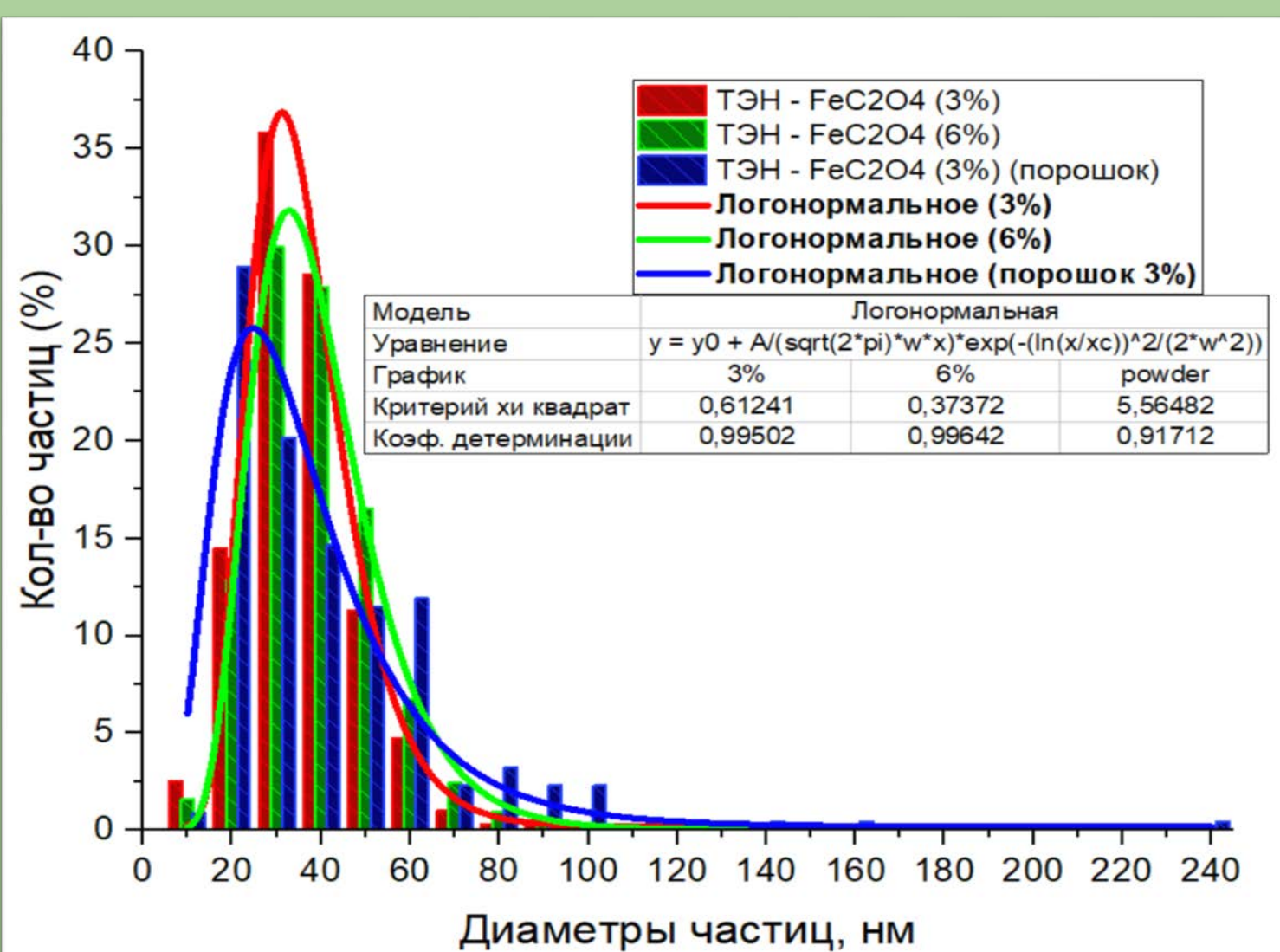
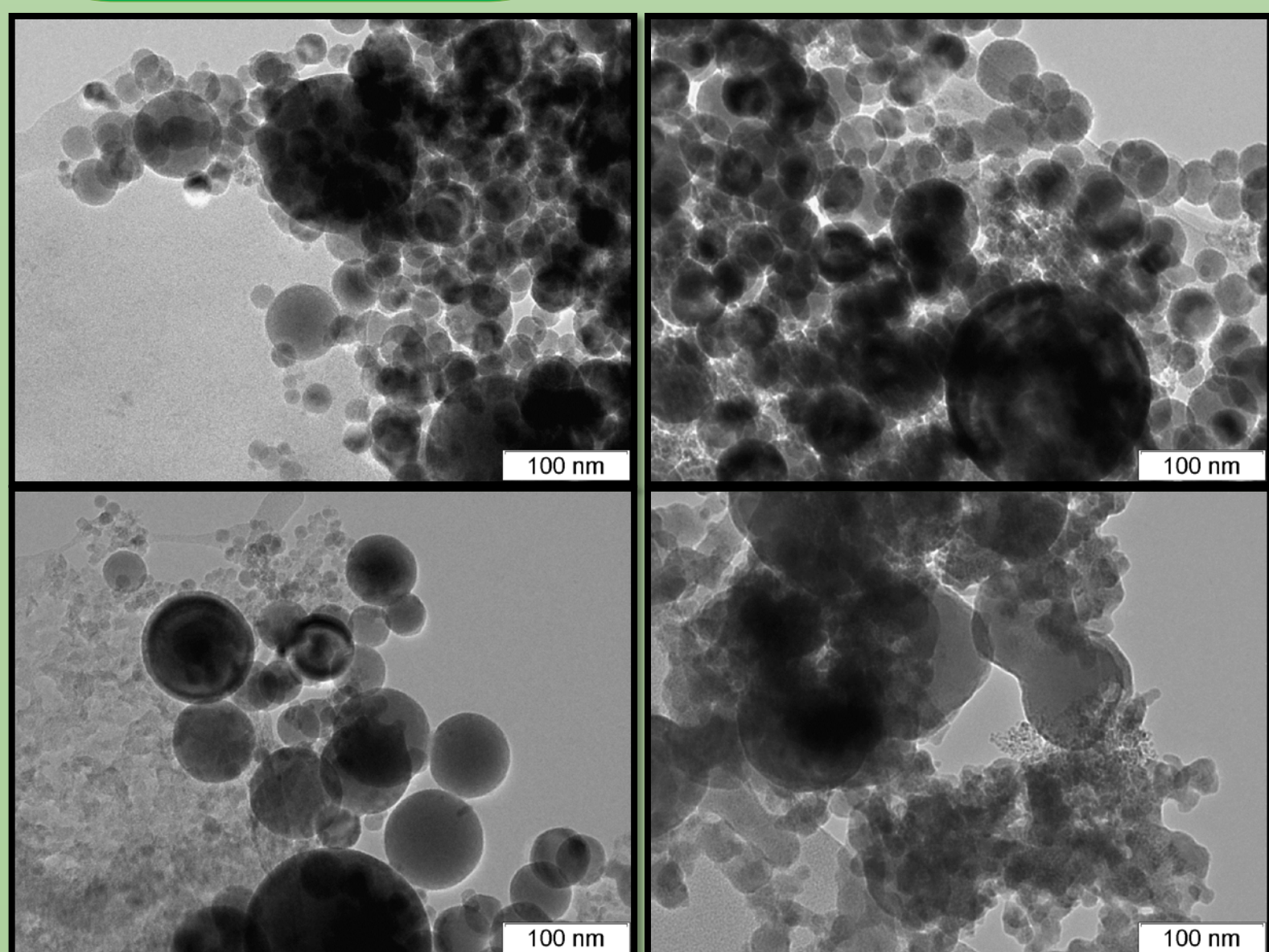
Следовательно, в координатах $\ln(I)$ от q^2 , получается линейно спадающая функция, по наклону k которой можно вычислить размеры рассеивающих частиц по формуле $D = 2\sqrt{5|k|}$



Образцы	ТЭН + Оксалат Fe 6%	ТЭН + Оксалат Fe 3% (порошок)	ТЭН + Оксалат Cu 6%	ТЭН + Оксалат Fe 3%
D (Лин. аппрокс. 1)	11 нм	11 нм	10,5 нм	11 нм
D (Лин. аппрокс. 2)	3,5 нм	6 нм	5 нм	6 нм



Метод ПЭМ



Образец	Оксалат Fe 3% + ТЭН	Оксалат Fe 6% + ТЭН	Оксалат Fe 3% (порошок) + ТЭН
Средние диаметры [нм]	31	33	37
Плотность заряда [г/см ³]	1.53	1.45	1.05
Давление Ч-Ж [Па]	2.08•10 ¹⁰	1.83•10 ¹⁰	8.2•10 ⁹
Температура Ч-Ж [К]	4217	4268	4407

Исходя из этих данных можно предположить, что процентное содержание слабо влияет на распределение по размерам частиц, гораздо большее влияние оказывает плотность исходного заряда, а следовательно, и давление. С уменьшением давления уменьшается и скорость разлета продуктов взрыва, в результате чего возрастает время на образование и рост наночастиц. Поэтому средние размеры наночастиц, полученных из заряда с меньшей плотностью, больше.

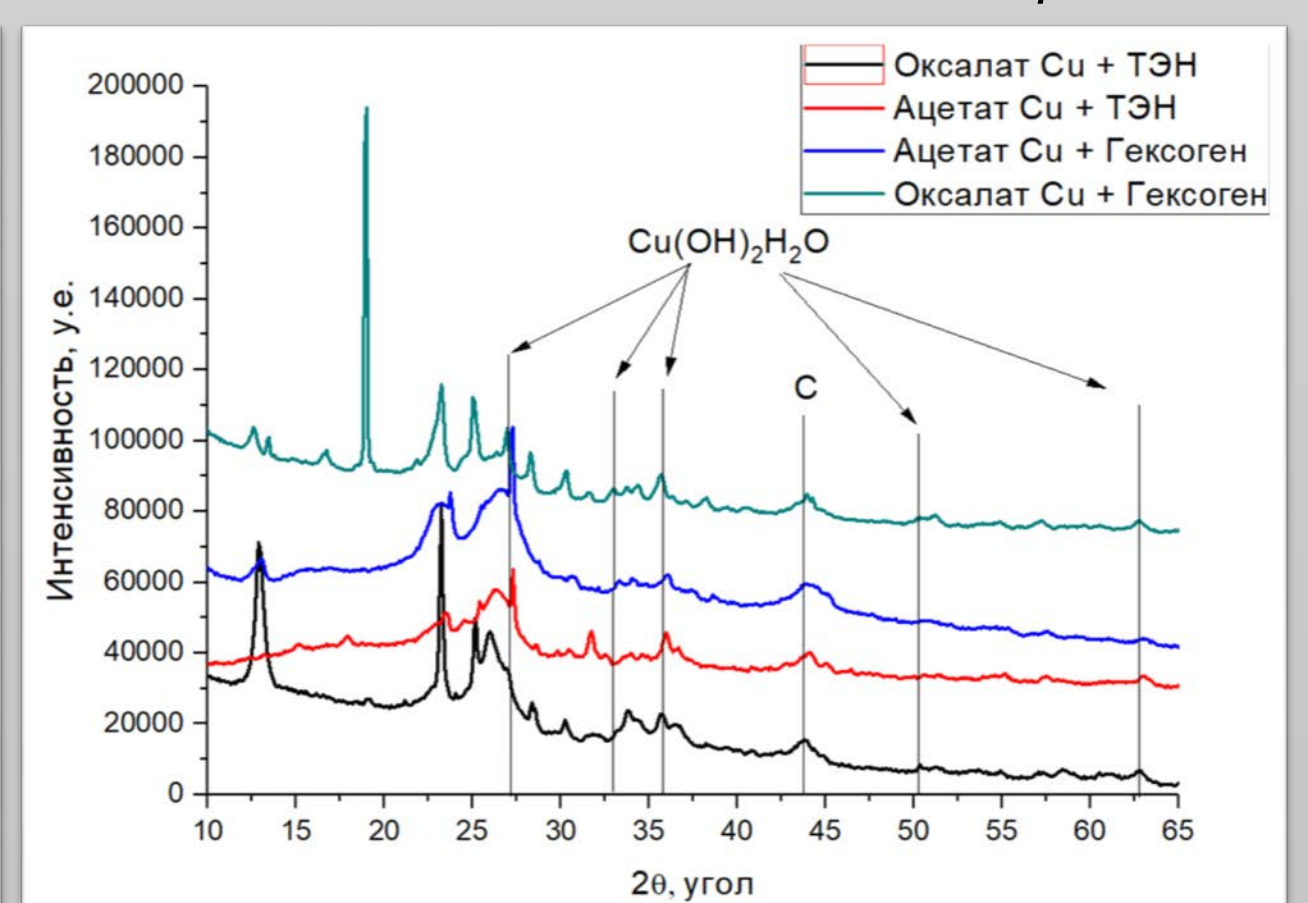
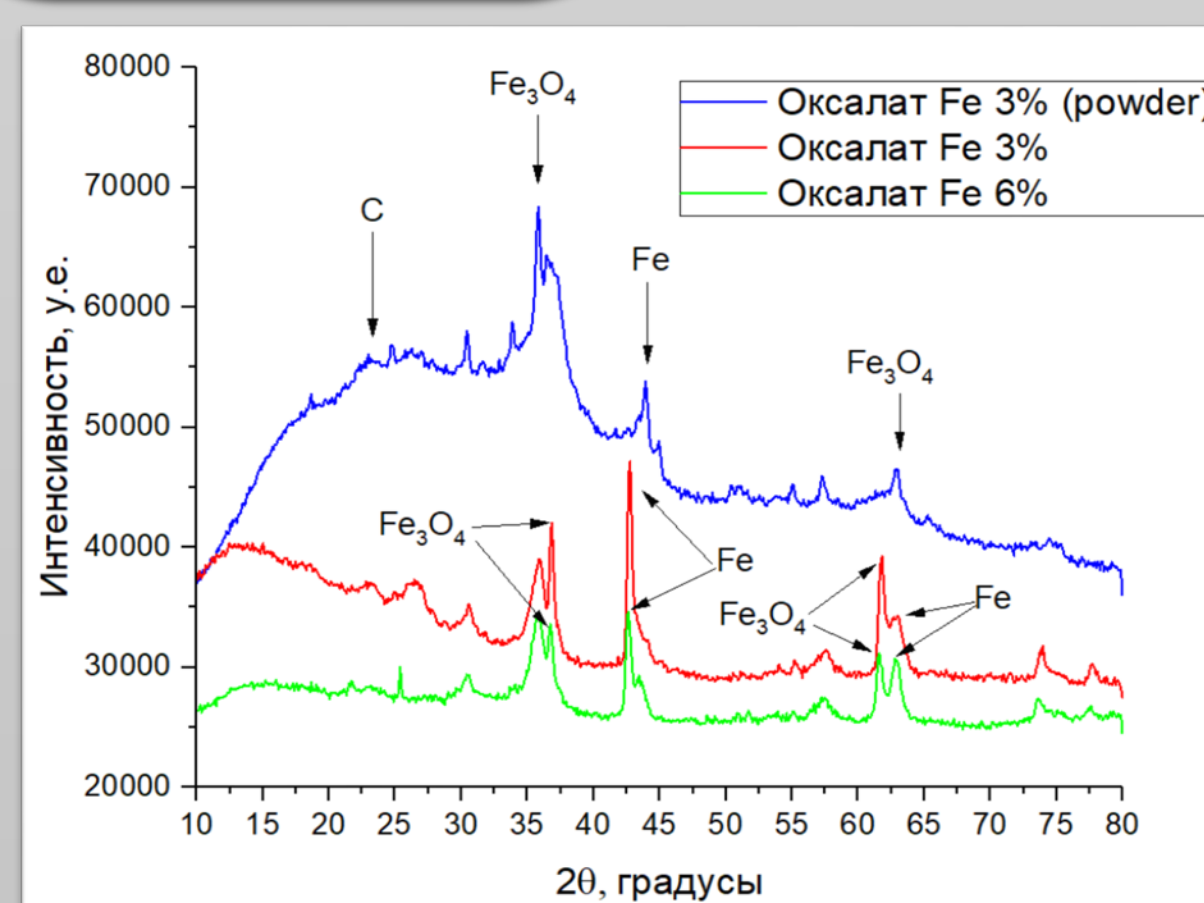
У всех трех графиков для образцов с оксалатами железа явно видны участки, с наклоном соответствующим графика $1/q^4$. В этом диапазоне частицы имеют шарообразную форму. Наклон становится соответствующим графику $1/q^2$ – более мелкие частицы образуют агломераты.

У графика для образца с оксалатом меди виден участок в области крупных частиц с наклоном, соответствующим графику $1/q^4$ – частицы имеют круглую форму. Далее график меняет наклон на соответствующий графику $1/q^2$ – это говорит о сложной форме структуры частиц, что и видно на снимках, для оксалатов меди.

Метод РФА

Для определения области когерентного рассеяния (ОКР) использовалась формула Шеррера:

$$d = \frac{K\lambda}{\beta \cos \theta}$$



Образец	Оксалат Fe 3% + ТЭН	Оксалат Fe 6% + ТЭН	Оксалат Fe 3% (порошок) + ТЭН
Размеры ОКР Fe	120 Å	110 Å	90 Å
Размеры ОКР Fe ₃ O ₄	50 Å	50 Å	90 Å

Образец	Оксалат Cu + ТЭН	Ацетат Cu + ТЭН	Ацетат Cu + Гексоген	Оксалат Cu + Гексоген
Размеры ОКР	213 Å	128 Å	311 Å	406 Å

У наночастицы железа внутри находится железное ядро, потом слой оксида железа, а потом идет тонкий слой конденсированного углерода, на поверхности частицы. Следовательно средние размеры ОКР для наночастиц в образцах с Fe 3%, Fe 6% и Fe 3% (порошок) – 22 нм, 21 нм и 27 нм соответственно.

Выводы

- Для образцов с оксалатами Fe были получены наночастицы железа и их оксидов шарообразной формы. Образцы с медьсодержащими прекурсорами не дали частиц шарообразной формы.
- При помощи ПЭМ были получены распределения по размерам наночастиц в продуктах взрыва. На распределение по размерам процентное содержание прекурсора практически не влияет, а уменьшение плотности заряда значительно уменьшает давление и увеличивает средний размер частиц и меняет распределение по размерам.
- При помощи РФА были получены фазовые составы продуктов и размеры ОКР. Средние размеры ОКР имеют такие же соотношения, как и средние размеры, полученные при помощи ПЭМ.
- Методом МУРР были подтверждены данные о шарообразной форме частиц железа и о сложной произвольной форме медьсодержащих частиц.