

УДК 544.7+544.032.53:54.057:546.723'722-31

## ВЛИЯНИЕ ПОСТОЯННОГО МАГНИТНОГО ПОЛЯ СРЕДНЕЙ ВЕЛИЧИНЫ НА ФОРМИРОВАНИЕ НАНОЧАСТИЦ МАГНЕТИТА В ВОДНОЙ ИОНООБМЕННОЙ РЕАКЦИИ ОСАЖДЕНИЯ С ИЗБЫТКОМ ЩЕЛОЧИ

Е.С. Бриков <sup>1\*</sup>, Д.В. Журавский <sup>1</sup>, В.А. Михеев <sup>1</sup>, В.Ф. Новиков <sup>2</sup>, И.А. Смирнов <sup>1</sup>

<sup>1</sup> Тюменский государственный университет  
ул. Семакова 10, Тюмень 625003, Россия

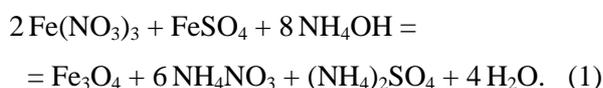
<sup>2</sup> Тюменский государственный нефтегазовый университет  
ул. Володарского 38, Тюмень 625000, Россия

*Представлены результаты экспериментов, оценивающие влияние постоянного внешнего магнитного поля средней величины на водную ионообменную реакцию осаждения магнетита в щелочной среде. Методами атомной и магнитной зондовой микроскопии исследовалась форма и размеры наночастиц золя, полученного из порошка ультразвуковым диспергированием. Изучалась дифракция и рассеяние рентгеновских лучей на полученных порошках. Выявлено, что с возрастанием поля снижается объем продуктов реакции, у частиц уменьшаются отклонения размеров от среднего, а форма приближается к дискообразной ( $\langle D \rangle \approx 70$  нм при  $H = 473$  кА/м); на малоугловых участках порошковых дифрактограмм увеличивается диффузный фон, исчезают структурные пики. Дана предварительная трактовка возможных физических закономерностей воздействия магнитного поля на формирование наночастиц. В частности, анализируется влияние постоянного магнитного поля на рекомбинацию ионов в реакции, а также на характерные свойства отдельных стадий конденсации.*

### ВВЕДЕНИЕ

Исследования способов синтеза частиц магнетита субмикронного размера, свойства которых во многом определяются формой, фазовым составом и структурой, на сегодняшний день остаются актуальными [1–3].

В статье обсуждается наиболее доступная для синтеза водная ионообменная двухстадийная реакция осаждения  $\text{Fe}_3\text{O}_4$  (с  $30 \pm 5\%$  избытком щелочи и с массовой долей аммиака в водном растворе  $\omega = 25 \pm 1\%$ ) [4]



Осадки, полученные в реакции с массовой долей солей железа  $\omega = 21,8 \pm 0,1\%$ , без перемешивания в нормальных условиях (н. у.) при воздействии постоянных магнитных полей с напряженностями ( $H$ )  $473 \pm 4$ ,  $324 \pm 3$  и  $0$  кА/м промывались дистиллированной водой до pH 8–9 и выпаривались при  $80$ – $90^\circ\text{C}$ . Далее проводились съемки дифракции и рассеяния рентгеновских  $\text{CuK}_\alpha$  лучей (ДРОН-7), зондовые исследования с помощью атомной и магнитной

силовой микроскопии (АСМ, МСМ) с CoCr магнитным слоем игл NSG01/Co/15 (NTEGRA AURA)[5]. Для этого готовились коллоидные растворы: частицы порошка помещались в этанол ( $\omega = 98,5\%$ ) с  $V_n/V_{\text{зм}} = (12 \pm 1) \cdot 10^{-5}$ , обрабатывались в ультразвуковой ванне ( $P = 160$  Вт), отстаивались 3 ч; затем частицы из взвешенного золя наносились на слюдяную подложку и сутки высушивались при н. у.

### РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

По кривым дифракции на порошке  $\text{Fe}_3\text{O}_4$  (идентифицирован) при  $20^\circ < 2\theta < 33^\circ$  выявлен сильный диффузный фон, объяснимый резонансным рассеянием излучения  $\text{CuK}_\alpha$  линии на ионах Fe, интенсивность которого увеличивается с ростом  $H$  поля (с 130 до 168 имп/с). Тонкая структура дифракционных линий в указанном диапазоне углов изменяется при различных значениях поля; при  $H = 473 \pm 4$  кА/м структурные пики исчезают (табл. 1) [4].

Установлено, что объемный выход продуктов реакции (осадка частиц магнетита) монотонно убывает с увеличением поля (в единицах  $V_{H=0}$ )  $1 \div 0,75 \div 0,5$  (см. табл. 1).

\* контактный автор [brikov@mail.ru](mailto:brikov@mail.ru)

**Табл. 1.** Особенности рентгеновских дифрактограмм, полученных на порошках Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>. Дифракционные интенсивности (I) структурного и диффузного рассеяния при относительно малых углах 2θ (20–33°) [4]. Объемный выход продукта реакции V/V<sub>H=0</sub> в %, V<sub>H=0</sub> – объем продуктов реакции без внешнего магнитного поля

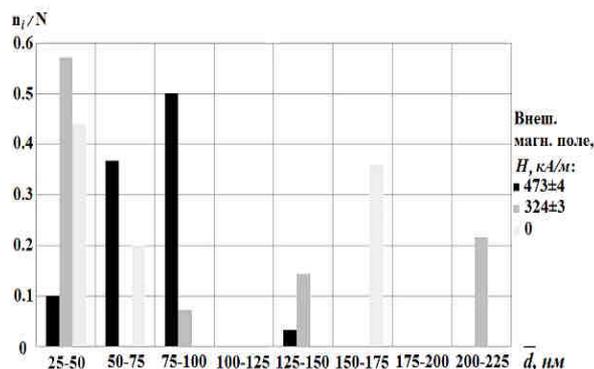
Величина магн. поля, кА/м	Средняя диффузн. интенсивность I, имп/с	Угол структурного пика и соответствующая интенсивность 2θ [I, ° имп/с	Объем. доля магнетита V/V <sub>H=0</sub> %
0	130	32,9 175; 32,2 172; 30,75 178; 30,2 173; 28 217; 27,1 184; 26,9 186	100
324±3	160	30,1 206; 30,75 210; 28,75 227; 28,1 240; 21,5 181	75±5
473±4	168	30,25 177; 30,75 170	50±5

Выявлено, что с увеличением поля синтезированные наночастицы все больше приближаются к форме дисков с уменьшением среднего размера и среднеквадратичного отклонения σ. При H = 473±4 кА/м: ⟨h⟩ = 6 нм, ⟨D⟩ = 69,8 нм, σ<sub>(D)</sub> = 4,3 нм, (см. табл. 2; гистограмму распределения средних двумерных диаметров на рис. 1; топографические и трехмерные изображения размера и формы наночастиц, полученных АСМ образцов золь наночастиц магнетита на рис. 2 а, б, в и рис. 3 а, б, в [4]).

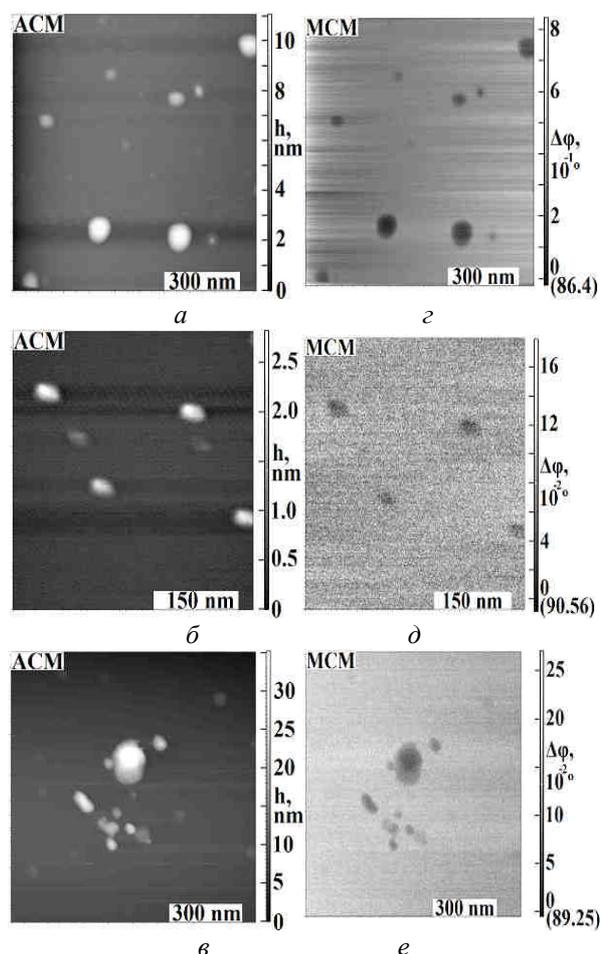
Многодоменные структуры и магнитный порядок у частиц всех порошков методом МСМ не выявлены (см. рис. 2 г, д, е) [4].

**Табл. 2.** Средние размеры наночастиц Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>, определенные по изображениям АСМ

Величина магн. поля H, кА/м	Наличие частиц вытянутой формы на двумерных изображениях; <d <sub>max</sub> /d <sub>min</sub> >; (число изученных частиц, N)	Трехмерные изображения формы случайно выбранных частиц d <sub>1</sub> x d <sub>2</sub> x h <sub>max</sub> нм x нм x нм
0	отдельные частицы крупной фракции очень вытянутой формы; 1,70±0,45; (25)	60x50x20
324±3	отдельные частицы мелкой фракции вытянутой формы; 1,72±0,28; (14)	50x40x2
473±4	отдельные частицы всех размеров вытянутой формы; 1,36±0,28; (30)	100x100x5,5



**Рис. 1.** Гистограммы распределения средних диаметров  $\bar{d}$  (нм) (полусумма макс. и мин. линейных размеров на двумерных топографических изображениях АСМ) наночастиц магнетита, полученных по реакции (1) во внешних постоянных магнитных полях различной величины [4]



**Рис. 2.** Двумерные топографические изображения АСМ высоты (h, нм) и изображения МСМ фазы колебаний (Δφ, °) у наночастиц золь магнетита, синтезированных в магнитном поле H, кА/м: а, г = 473; б, д – 324; в, е – без магнитного поля [4]

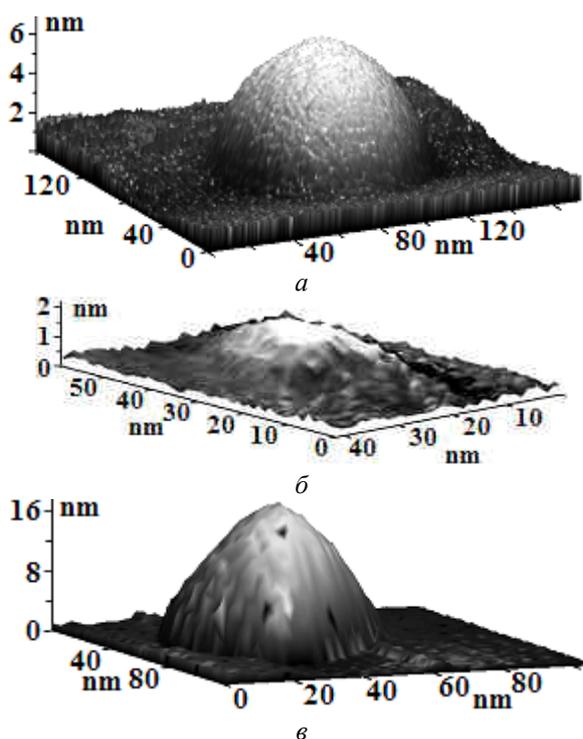


Рис. 3. Трехмерные изображения АСМ формы наночастиц зелей магнетита, синтезированных в магнитном поле  $H$ , кА/м: а – 473; б – 324; в – без магнитного поля [4]

У более крупных наночастиц  $\sim 100$  нм градиенты силы магнитного взаимодействия с контилевером возрастают в центрах наночастиц. С ростом величины поля при синтезе величина градиентов силы увеличивается (рис. 2г, д, е) [5].

Представленные экспериментальные данные и их объяснения находятся в согласии с результатами группы F. Vereda, которая использовала сканирующую и просвечивающую электронную микроскопию наночастиц (гелей) магнетита, синтезированных в реакциях с хлорным железом [2].

### ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

Уменьшение объемного выхода магнетита с увеличением поля можно объяснить либо повышением плотности упаковки частиц в осадке вследствие анизотропии формы, а также наличием узкого распределения дисперсности уменьшенных размеров наночастиц, либо наличием развитых фрактальных поверхностей в структурной организации полученных в слабых полях гелеобразных частиц, состоящих из зародышевых наночастиц более мелкого размера. Можно также предположить, что присутствуют изменения в кристаллической структуре обращенной шпинели (необходимы более детальные исследования этого вопроса).

Рост диффузного рассеяния и исчезновение структурных пиков на дифрактограмме можно объяснить появлением синтезированных в поле частиц с более разрушенным дальним структурным кристаллическим порядком, а также с существенной анизотропией формы.

Выявленная зависимость формы и магнитных свойств синтезированных наночастиц от величины магнитного поля определяется его влиянием на стадии осаждения магнетита.

**1-я стадия** – акты рекомбинации ионов в обменной реакции. Скорость образования  $\text{Fe}(\text{OH})_2$  выше, чем  $\text{Fe}(\text{OH})_3$ , по причине большей частоты двухчастичных соударений по сравнению с трехчастичными, что влияет на стехиометрию при последующем осаждении (преимущественное образование зародышей с  $\text{FeO}$  сердцевинной [3]). Присутствует также доокисление кислородом, растворенным в воде. Можно предположить, что постоянное магнитное поле изменяет скорости рекомбинации и распада гидроксидов, а также варианты конденсации на ранних и более поздних стадиях осаждения вследствие изменения эффективного перемешивания спиновых состояний по следующим механизмам:

- а.  $\Delta g$  – несоответствие гиромангнитных отношений для частиц в паре,  $H_{\text{нас}} \geq 240$  кА/м (парамагнитный механизм увеличения);
- б. блокировка сверхтонкого взаимодействия (СТВ) спинового магнитного момента неспаренного электрона с магнитным моментом ядра,  $H_{\text{нас}} \geq 4$  кА/м (СТВ-механизм уменьшения).

Гамильтониан взаимодействия электронных спинов с внешним и создаваемым ядрами магнитным полем, который определяет интеркомбинационные спиновые переходы коррелированной пары частиц (ионов, радикалов) имеет вид [6]

$$\hat{H} = g_A \beta \hat{S}_{Az} H_0 + g_B \beta \hat{S}_{Bz} H_0 + \hbar \sum_j^a A_j \hat{\mathbf{I}}_{Aj} \hat{S}_A + \hbar \sum_k^b A_k \hat{\mathbf{I}}_{Bk} \hat{S}_B - \hbar J(r) \left( \frac{1}{2} - 2 \hat{S}_A \hat{S}_B \right), \quad (2)$$

где  $g_A$  и  $g_B$  – множители Ланде двух частиц,  $\beta = e\hbar/2m_e c$  – магнетон Бора,  $A_j$ ,  $A_k$  – константы СТВ j-го ядра со спином  $\hat{\mathbf{I}}_{Aj}$  в частице А и k-го ядра со спином  $\hat{\mathbf{I}}_{Bk}$  в частице В,  $\hat{S}$  – оператор спина,  $\hat{S}_z$  – оператор проекции спина на направление поля,  $J(r)$  – константа обменного взаимодействия,  $H_0$  – внешнее магнитное поле.

Исходя из (2), спин каждой частицы в коррелированной паре А и В во внешнем поле  $H_0$  прецессирует вокруг направления поля с частотами,

которые определяются зеэмановским и сверхтонким взаимодействиями. Эволюцию исходного спинового состояния вызывает разность частот прецессии спинов двух частиц  $\dot{A}$  и  $\dot{B}$ . В слабом внешнем поле эволюция происходит из-за СТВ, которое смешивает состояния  $\hat{S}_A$  и  $\hat{S}_B$ . В сильном поле  $H_0$  такое смешивание становится невозможным ввиду расщепления уровней на энергию  $g\beta H_0$ , большую, чем ширина уровней СТВ. В свою очередь, это приводит к существенному изменению кинетических характеристик реакций в растворителе (как правило, резкое возрастание скорости реакции при небольших полях и плавное уменьшение с ростом поля). В экспериментах использовался парамагнитный механизм воздействия на фактор нарастания пересыщения прекурсоров осаждения, влияющий на все стадии конденсации.

**2-я стадия** – нуклеация (зародышеобразование) частиц новой фазы с одновременным ростом уже сформировавшихся закритических кластеров при распаде гидроксидов. Ввиду присутствия сильного пересыщения, по-видимому, зависящего от внешнего поля, все зародыши быстро переходят в закритический режим, продолжая независимый рост [7–9].

**3-я стадия** – независимый рост зародышевых частиц твердой фазы при конденсации на них три- и тетрамеров [7]. Объем новой фазы растет за счет роста закритических кластеров, при этом количество последних продолжает увеличиваться. Зародыши растут независимо до перекрытия диффузионных областей частиц новой фазы или до падения пересыщения (проблема выяснения механизма начальных стадий конденсации остается нерешенной и актуальной, т.к. свойства кластеров существенно зависят от их размеров, формы и состава [7–9]). Скорости нарастания пересыщения высокоактивными прекурсорами осаждения, варианты зародышеобразования и независимого роста центров конденсации [7, 8], возможно, определяются величиной внешнего магнитного поля (в соответствии с закономерностями интеркомбинационных спиновых переходов). Выявленную анизотропию формы частиц авторы объясняют характером доступа промежуточных высокоактивных продуктов рекомбинации и осаждения к активным центрам конденсации ("сжатие" полем по мере роста зародышей, объединение до определенных размеров, рост в направлениях, нормальных к вектору поля).

**4-я стадия** – коалесценция (стадия "оствальдовского дозревания"). На этой стадии объемная

доля новой фазы практически постоянна, а процесс сопровождается увеличением в размере больших частиц за счет растворения и исчезновения мелких зародышей ("переконденсационное пожирание" более мелких центров); взаимодействие преимущественно происходит только через раствор. Влияние стадии незначительно при больших пересыщениях и плохой растворимости конденсируемых продуктов. Растворимость гидроксидов железа в воде при н. у. невелика.

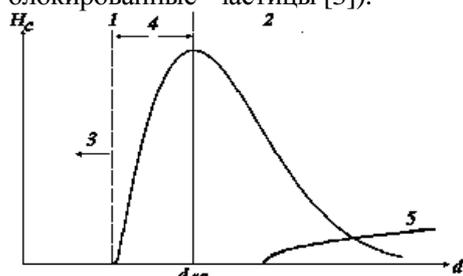
Коалесценция рассматривается теорией Лифшица–Слезова–Вагнера (ЛСВ), которая приводит к унифицированному распределению частиц новой фазы по размерам при бесконечно малых пересыщениях и при учете взаимодействия зародышевых частиц новой фазы только через раствор [10, 11]. Стадия "переконденсации" блокируется связью с ОН при осаждении магнетита с избытком щелочи. "Оствальдовское старение" коллоидного золя в нейтральной среде при н. у. происходит длительное время (несколько суток).

Ввиду уменьшения скорости нарастания пересыщения во внешнем магнитном поле ("сжатие" созревающих укрупненных частиц в поле) роль "оствальдовского созревания" увеличивается в объеме удерживаемых зародышей. "Дозревание" наночастиц происходит в нормальной к вектору поля плоскости. Полному слиянию препятствует щелочная сольватационная оболочка, уменьшающаяся с ростом частиц поверхностная активность, а также невысокая энергия взаимодействия магнитных моментов у зародышей и формирующихся в поле дискообразных частиц. Вместе с тем, "сжатие" центров конденсации приводит к геометрическому уменьшению доступности докритических конденсационных центров к закритическим растущим центрам, как правило, с большей намагниченностью, что, в свою очередь, ограничивает процессы "оствальдовского созревания". Увеличение пересыщения при возрастании величины поля ведет к понижению роли этой стадии для небольших мало магнитных зародышей, не испытывающих "сжатия".

**5-я стадия** – "колмогоровское наталкивание" и объединение в крупные кластеры [12]. В рассматриваемом осаждении на стадию оказывает влияние щелочная среда (для достаточно крупных частиц она также понижает поверхностную активность), способствуя укрупнению этого типа только для мелких зародышей [2]. В частности, стадия определяет "узкую" дисперсность размеров частиц, осажденных в поле.

Можно предположить, что высокая вероятность "колмогоровского" результирующего слияния центров осаждения с благоприятной поверхностной активностью (соотношение рН раствора и размеров конденсационных центров) реализуется у наталкивающихся центров конденсации с наиболее низкой магнитной энергией взаимодействия и с большой коэрцитивной силой, которая препятствует перемагничиванию после тепловых броуновских вращательных флуктуаций в состоянии с повышенной энергией взаимодействия "наталкивающихся" частиц.

Величины коэрцитивной силы и магнитного момента частицы зависят от размера, формы, объемной и поверхностной магнитной анизотропии, атомной структуры частиц, в частности, коэрцитивная сила имеет колоколообразную зависимость от размера (см. рис. 4) [3]. Объединятся, в основном, частицы оптимальных размеров и форм (с высокой коэрцитивной силой, но с небольшими магнитными моментами в поле, а также с высокой поверхностной активностью – т. н. "блокированные" частицы [3]).



**Рис. 4.** Качественная зависимость коэрцитивной силы  $H_c$  от диаметра частицы  $d$  (вклад поверхностной магнитной анизотропии) [3]: 1 – однодоменные, 2 – многодоменные, 3 – суперпарамагнитные, 4 – блокированные. 5 – вклад объемной анизотропии (приведено для сравнения)

Большие магнитные многодоменные частицы сжимаются без слияния. Коэрцитивная сила у них слабо зависит о формы частиц и, как правило, невысока [3], поверхностная активность низкая, но намагниченность в поле уже большая.

Выявленную узкодисперсную зависимость размеров и формы синтезированных наночастиц в реакции (1) во внешнем магнитном поле  $H = 473 \pm 4$  кА/м можно объяснить частичной блокировкой уровнем рН стадии результирующего "колмогоровского слияния". Слияние происходит в плоскости, нормальной к вектору поля, (вдоль поля у укрупненных частиц-"дисков" поверхностная активность низкая, но энергия магнитного взаимодействия благоприятна; по

нормали к полю поверхность краев дисков еще обладает высокой активностью и возможен доступ конденсированных зародышей небольшого закритического размера для "слияния", кроме того, влияние оказывает энергия магнитного взаимодействия, которая определяется объемом, формой и, соответственно, магнитными свойствами наталкивающихся зародышевых частиц).

Итак, внешнее магнитное поле влияет на механизм "колмогоровского наталкивания" вследствие изменения скорости конденсации и "сжатия" (происходит "наталкивание" преимущественно мелких зародышей с формированием частиц с низкоактивными поверхностями дискообразной формы).

В итоге, внешнее постоянное магнитное поле различной величины определяет морфологию и структуру получаемых осадков при конденсации, а также характеристики наночастиц диспергированных зольей магнетита.

Процесс промывки порошка магнетита и его выпаривание в некоторой степени активизирует стадии "колмогоровского слияния" и, отчасти, "оствальдовского созревания". Авторы полагают, что процедуры ультразвукового кавитационного диспергирования в этаноле и высушивания золя на подложке практически не влияют на переформирование наночастиц.

## ВЫВОДЫ

Выявленные статистические распределения размеров, форм и магнитных свойств сформированных наночастиц магнетита подтверждают предположение о влиянии постоянных магнитных полей средней силы на стадии осаждения магнетита по реакции (1). Проведен предварительный анализ механизмов такого влияния на стадии осаждения. Каждой стадии соответствует свое характерное время неравновесных процессов и свои малые параметры, что затрудняет конкретизацию механизмов влияния внешнего поля. Вместе с тем, было бы правильно не разделять рассмотрение стадий конденсационного осаждения вследствие их существенного взаимовлияния.

Несмотря на глубоко проработанную теорию рекомбинации сольватированных прекурсорных ионов в магнитном поле, которая определяет механизм синтеза первичных продуктов осаждения, авторы пока не обнаружили сообщений, в которых исчерпывающе раскрывались бы механизмы стадий осаждения с учетом влияния магнитного поля. Для прояснения механизмов синтеза во внешнем магнитном поле необходимы

дополнительные исследования путей рекомбинации и кинетических характеристик 1-й стадии реакции, а также всех этапов процесса осаждения, сопровождающих 2-ю стадию.

Авторы признательны Е.И. Сальниковой, Д.И. Калиеву и Г.П. Ласкину за помощь в проведении исследований.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Вонсовский С.В. Магнетизм. – Москва: Наука, 1971. – 1032 с.
2. Vereda F., de Vicente J., Hidalgo-Álvarez R. Influence of magnetic field on the formation of magnetic particles via two precipitation methods // *Langmuir*. – 2007. – V. 23. – P.3581–3589.
3. Губин С.П., Кокшаров Ю.А., Хомутов Г.Б., Юрков Г.Ю. Магнитные наночастицы: методы получения, строение и свойства // *Успехи химии*. – 2005. – Т. 74, № 6. – С. 539–574.
4. Смирнов И.А., Журавский Д.В., Бриков Е.С. и др. Исследование влияния постоянного магнитного поля средней силы на водную ионно-обменную реакцию осаждения наночастиц магнетита // *Физические основы диагностики материалов, изделий и приборов для ее реализации: мат. Всерос. науч.-тех. конф.* – Тюмень: ТюмГНГУ, 2010. – С. 67–72.
5. Hartmann U. Magnetic force microscopy // *Annu. Rev. Mater. Sci.* – 1999. – V. 29. – P. 53–87.
6. Зельдович Я.Б., Бучаченко А.Л., Франкевич Е.Л. Магнито-спиновые эффекты в химии и молекулярной физике // *Усп. физ. наук*. – 1988. – Т. 155, № 1. – С. 3–45.
7. Илюшин Г.Д. Моделирование процессов самоорганизации в кристаллообразующих системах. – Москва: Едиториал УРСС, 2003. – 376 с.
8. Кукушкин С.А., Осипов А.В. Кинетика фазовых переходов первого рода на асимптотической стадии // *ЖЭТФ*. – 1998. – Т. 113, № 6. – С. 2193–2208.
9. Зельдович Я.Б. К теории образования новой фазы. Кавитация // *ЖЭТФ*. – 1942. – Т. 12, № 11–12. – С. 525–538.
10. Лифшиц И.М., В.В. Слезов В.В. О кинетике диффузионного распада пересыщенных твердых растворов // *ЖЭТФ*. – 1958. – Т. 35, № 2(8). – С. 479–492.
11. Лифшиц Е.М., Питаевский Л.П. Физическая кинетика. – Москва: Наука, 1979. – С. 503–525.
12. Колмогоров А.Н. К статистической теории кристаллизации металлов // *Изв. АН СССР. Сер. Мат.* – 1937. – Т. 3. – С. 355–359.

Поступила 06.05.2011, принята 06.06.2011

### Вплив постійного магнітного поля середньої величини на формування наночастинок магнетиту в водній іонообмінній реакції осадження з надлишком луку

Е.С. Бриков, Д.В. Журавський, В.О. Міхєєв, В.Ф. Новіков, І.О. Смірнов

Тюменський державний університет, вул. Семакова 10, Тюмень 625003, Росія, brikov@mail.ru  
Тюменський державний нафтогазовий університет, вул. Володарського 38, Тюмень 625000, Росія

Представлено результати експериментів, що оцінюють вплив постійного зовнішнього магнітного поля середньої величини на водну іонообмінну реакцію осадження магнетиту в лужному середовищі. Методами атомної та магнітної зондової мікроскопії досліджувалась форма і розміри наночастинок золю, одержаного з порошку ультразвуковим диспергуванням. Вивчалася дифракція та розсіяння рентгенівських променів на отриманих порошках. Виявлено, що зі зростанням поля у частинок зменшуються відхилення розмірів від середнього, а форма наближається до дискподібної ( $\langle D \rangle \approx 70$  нм при  $H = 473$  кА/м); на малокутових ділянках порошкових дифрактограм збільшується дифузний фон, зникають структурні піки, об'єми продуктів порошку в реакціях зменшуються. Надано попереднє трактування можливих фізичних закономірностей впливу магнітного поля на формування наночастинок. Зокрема, аналізується вплив постійного магнітного поля на рекомбінацію іонів в реакції, а також на характерні властивості стадій конденсації.

### Influence of a Magnetostatic Field with Middle Value on the Formation of the Magnetite Nanoparticles in the Aqueous Ion-Exchange Precipitation Reaction with the Surplus of the Alkali

E.S. Brikov, D.V. Zhuravskij, V.A. Mikheev, V.F. Novikov, I.A. Smirnov

Tyumen State University, 10 Semakov Street, Tyumen 625003, Russia, brikov@mail.ru  
Tyumen State Oil and Gas University, 38 Volodarskiy Street, Tyumen 625000, Russia

The results of experiments are presented on the influence of external middle magnetostatic field on the aqueous ion-exchange reaction of magnetite precipitation in alkaline medium. The shape and size of nanoparticles are obtained from powders by ultrasound dispersions are studied by means of atomic and magnetic probe microscopy. Diffraction and scattering of X-rays on synthesized powders are investigated. It is revealed that when field increases, deflection of particle sizes from the average is decreased and their shape becomes disk-like ( $\langle D \rangle \approx 70$  nm with  $H = 473$  kA/m); the diffusion background is increased on the diffraction curves at small angles, structural peaks vanish, the volume of reaction products is decreased. Some preliminary considerations are presented on the probable physical features of the effect of magnetic field on the formation of nanoparticles. In particular, the influence is analyzed of a magnetostatic field on ion recombination in the reaction as well as on the properties typical of separate condensation stages.