

А.М. САЛАХОВ<sup>1</sup>, канд. техн. наук (salakhov8432@mail.ru); В.П. МОРОЗОВ<sup>2</sup>, д-р геол.-мин. наук;  
Ф.Г. ВАГИЗОВ<sup>1</sup>, канд. физ.-мат. наук; А.А. ЕСКИН<sup>2</sup>, канд. геол.-мин. наук;  
А.Р. ВАЛИМУХАМЕТОВА<sup>1</sup>, студентка, А.Л. ЗИННАТУЛЛИН<sup>1</sup>, студент

<sup>1</sup> Казанский федеральный университет. Институт физики (420008, г. Казань, ул. Кремлевская, 16а)

<sup>2</sup> Казанский федеральный университет. Институт геологии и нефтегазовых технологий (420008, г. Казань, ул. Кремлевская, 4/5)

## Научные основы управления цветом лицевого кирпича на заводе «Алексеевская керамика»

Проанализированы некоторые инновации в области стеновой керамики. Показана актуальность производства лицевого керамического материала широкой цветовой гаммы. Поскольку основным хромофором изделий стеновой керамики является железо, на конкретных примерах показано его влияние на цвет керамики. Использование в исследованиях мессбауэровских спектров обусловлено тем, что их параметры чрезвычайно чувствительны к валентному состоянию и локальному окружению ионов железа. Выявлены закономерности изменения параметров мессбауэровских спектров красножгущихся глин и глин с высоким содержанием карбонатов в керамических образцах в связи с изменением температуры обжига. Показано, как два метода исследования – рентгенофазовый анализ и мессбауэровская спектроскопия хорошо дополняют друг друга, что позволяет определить характерные особенности глин. Методами сканирующей электронной микроскопии выявлены особенности структуры керамических материалов. Показаны различные способы управления цветом керамики путем перевода соединений железа в различные валентные и координационные состояния. Эти исследования легли в основу технологического регламента для производства лицевого кирпича на заводе «Алексеевская керамика» (Республика Татарстан).

**Ключевые слова:** керамика, цветовая гамма кирпича, мессбауэровская спектроскопия, фазовый анализ, клинкер, гематит.

**Для цитирования:** Салахов А.М., Морозов В.П., Вагизов Ф.Г., Ескин А.А., Валимухаметова А.Р., Зиннатуллин А.Л. Научные основы управления цветом лицевого кирпича на заводе «Алексеевская керамика» // *Строительные материалы*. 2017. № 3. С. 90–95.

A.M. SALAKHOV<sup>1</sup>, Candidate of Science (Engineering) (salakhov8432@mail.ru), V.P. MOROZOV<sup>1</sup>, Doctor of Science (Geology and Mineralogy), F.G. VAGIZOV<sup>1</sup>, Candidate of Science (Physics and Mathematics); A.A. ESKIN<sup>2</sup>, Candidate of Science (Geology and Mineralogy); A.R. VALIMUHAMETOVA<sup>1</sup>, Student, A.L. ZINNATULLIN<sup>1</sup>, Student

<sup>1</sup> Kazan Federal University. Institute of Physics (16a, Kremlyovskaya Street, Kazan, 420008, Russian Federation)

<sup>2</sup> Kazan Federal University. Institute of Geology and Petroleum Technologies (4/5, Kremlyovskaya Street, Kazan, 420008, Russian Federation)

### The Scientific Basis of Color Control Lining Brick at «Alekseevskaya Ceramics» Factory

Some innovations in the field of wall ceramics are analyzed. The actuality of production of facial ceramic materials of a wide range of colors are shown. This poses the task of expanding the color gamut of products. The main chromophore of the products of wall ceramics is iron. Therefore, its concrete effect on the color of ceramics on specific examples are shown. Due to extremely sensitivity of the parameters of the Mossbauer spectra to the valence state and to the local environment of iron ions the modern research methods are used. The regularities of the change in the parameters of Mossbauer spectra of red-burning clays and clays with a high content of carbonates in ceramic samples are revealed. X-ray phase analysis and Mossbauer spectroscopy have allowed to reveal the characteristic features of clays. The features of the structure of ceramic materials are revealed using scanning electron microscopy. Various methods for controlling the color of ceramics are shown due to transferring iron compounds to different valence and coordination states. These studies formed the basis of the technological rules for facing brick production on «Alekseevskaya ceramics» plant (Republic Tatarstan).

**Keywords:** ceramics, colour scale of brick, Moessbauer spectroscopy, X-ray phase analysis, clinker, hematite.

**For citation:** Salakhov A.M., Morozov V.P., Vagizov F.G., Eskin A.A., Valimuhametova A.R., Zinnatullin A.L. The Scientific Basis of Color Control Lining Brick at «Alekseevskaya Ceramics» Factory. *Stroitel'nye Materialy* [Construction materials]. 2017. No. 3, pp. 90–95. (In Russian).

Современные методы исследования позволяют лучше понять процессы керамического производства, соответственно производить изделия с заданной структурой и цветовой палитрой. За последние годы опубликован ряд монографий и статей, выявляющих особенности физико-химических преобразований при обжиге керамического сырья, что позволило существенно повысить качество продукции и расширить сырьевую базу строительной керамики. Спектр плодотворных идей по различным аспектам технологии керамики содержится в монографии Г.Н. Масленниковой и И.В. Пища [1]. Следует также отметить монографию ученых Южно-Российского государственного политехнического универ-

ситета [2]. Издание таких монографий является заметным шагом в развитии технологии керамики, а также стимулирует научную дискуссию. В работе ученых Томского политехнического университета приведены интересные результаты исследований цветковых характеристик с применением современного оборудования [3]. Инновации в технологии лицевого кирпича, в том числе и практика использования лазерной техники для термической обработки керамики, представлены в работе испанских исследователей [4]. В статье ученых Ростовского государственного строительного университета [5] выделены этапы процесса обжига опоквидного сырья, дана физическая трактовка происходящих в каждом температур-

ном интервале процессов, обоснованная их измерениями, а не предположениями, что встречается в некоторых публикациях. Мы поддерживаем вывод авторов, что наиболее интересные фазовые и минералогические преобразования данного сырья происходят при температуре выше 1000–1050°C.

Исследование физических процессов при высокой температуре обжига до сих пор проведено явно недостаточно. Это в значительной степени объясняется тем, что печи отечественных кирпичных заводов производили обжиг в температурном интервале 900–1050°C, соответственно, со стороны промышленности не было запроса на такие исследования. Однако на современных предприя-

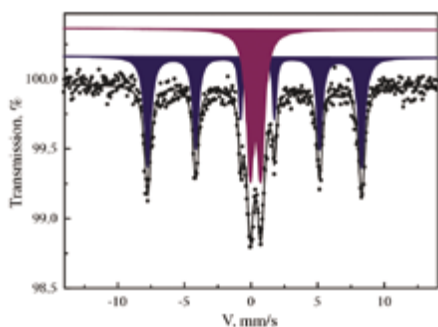


Рис. 1. Мессбауэровский спектр образца из глины Алексеевского месторождения. Температура обжига 1000°C

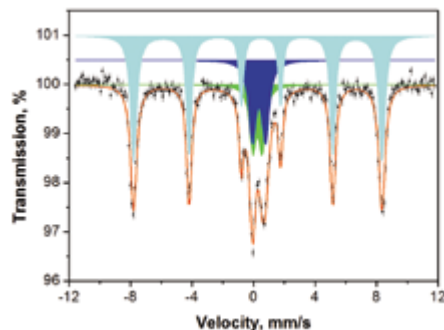


Рис. 3. Мессбауэровский спектр образца из глины Алексеевского месторождения. Температура обжига 1100°C

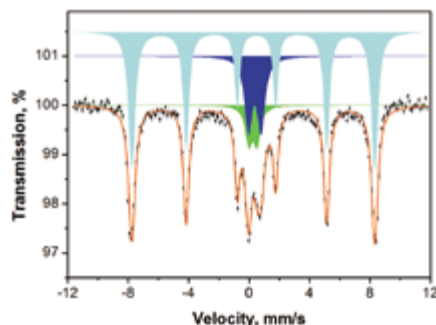


Рис. 5. Мессбауэровский спектр образца из глины Алексеевского месторождения. Температура обжига 1150°C

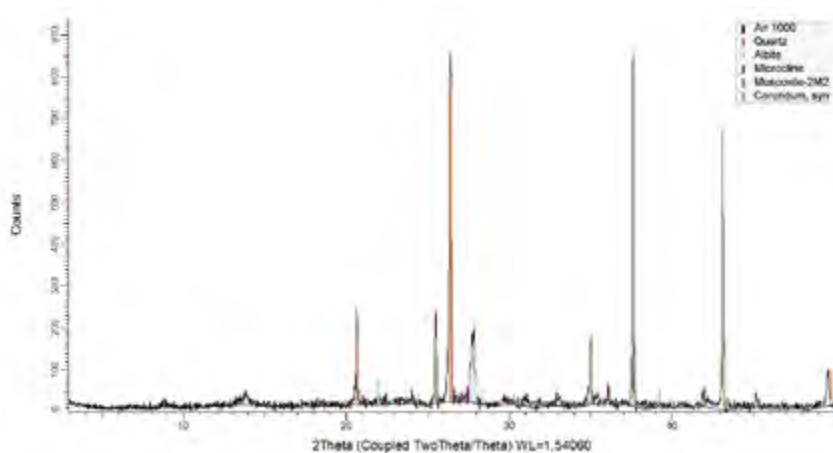


Рис. 2. Дифрактограмма керамики из глины Алексеевского месторождения при температуре 1000°C. Дифрактометр Shimadzu (минерал корунд относится не к образцу, а к подложке)

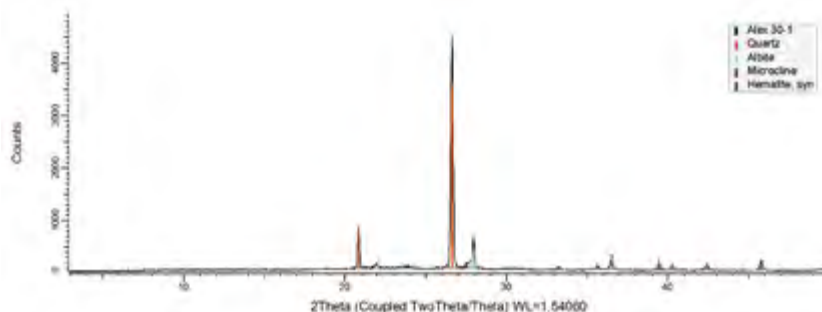


Рис. 4. Дифрактограмма образца из глины Алексеевского месторождения. Температура обжига 1100°C

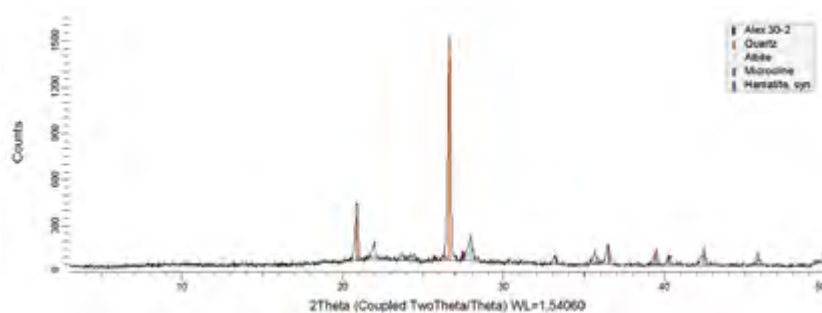


Рис. 6. Дифрактограмма образца из глины Алексеевского месторождения. Температура обжига 1150°C

тиях строительной керамики уже эксплуатируются печи с рабочей температурой до 1150°C, что делает исследование процессов спекания в интервале температуры 1000–1150°C весьма актуальными.

Из спектра характеристик материалов в данной работе мы выбрали для исследований вопросы управления цветом керамических материалов.

Известный французский востоковед Анри Стирлен пишет: [6] «На протяжении всей истории своего развития архитектура в принципе была многоцветной. Египетские храмы, вавилонские погребальные сооружения и зиккураты, кносские дворцы, сооружения классической Греции были красочными». Лауреат Нобелевской премии по физике

Фрэнк Вильчек [7], отмечая важнейшую роль цвета, цитирует известного английского искусствоведа Джона Рёскина: «Самые чистые и самые глубокомысленные умы – те, что любят цвет больше всего». Там же Ф. Вильчек отмечает: «Если говорить простым языком, цвет предметов зашифровывает в себе информацию о том, из чего они сделаны».

Со второй половины XX в. вновь отмечается повышенный интерес к цветовой палитре города. В России за последние годы существенно расширилась цветовая гамма керамических материалов. Генеральный директор ООО «НИИКЕРАМ» В.А. Езерский отмечает [8]: «Когда в 1980–1990-х гг. И.А. Альперович развивал тему обильного окрашивания лицевого кирпича, среди заводов были лишь еди-

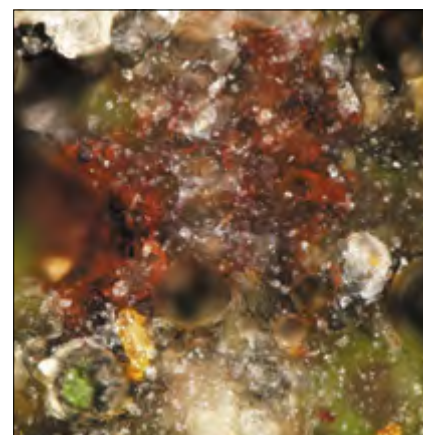


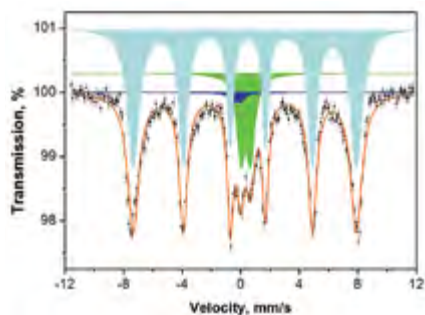
Рис. 7. Фото шлифа керамики из глины Сахаровского месторождения.  $T_{обж} = 1170^{\circ}\text{C}$ . Структура образца плотная, цвет темно-красный (оптико-цифровой конфокальный микроскоп фирмы Melytec)



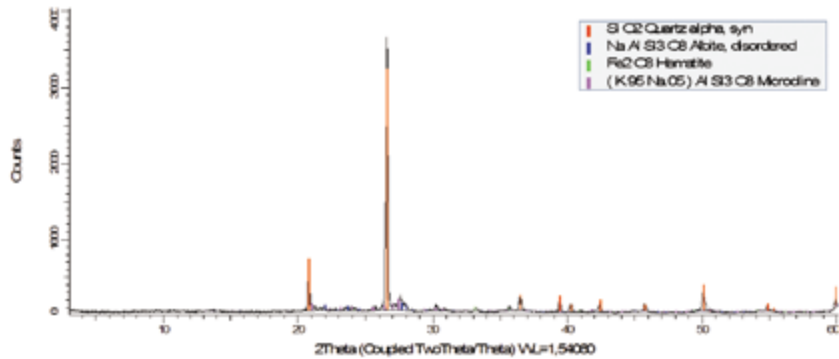
**Рис. 8.** Фрагмент кирпичной кладки дома купца Дротоевского, 1837 г., Казань, ул. Карла Маркса, 56/11. Сильно обожженный «железняк» (слева) и рядовой кирпич (справа) – а; двухэтажный дом с каменным первым и деревянным вторым этажом построен по проекту архитектора Ф.И. Петонди (1837 г.), принадлежал помещику Я.Г. Дротоевскому. В настоящее время ведется реставрация этого объекта культурного наследия федерального значения. По ее завершении в доме будет размещаться Школа юных архитекторов при КГАСУ – б

ницы, кто использовал его разработку». В настоящее время в Республике Татарстан, как и во многих других регионах России, практически не осталось кирпичных заводов, где не производят лицевой керамический кирпич объемного окрашивания. Несмотря на определенные сложности в экономике, специалисты прогнозируют [9] устойчивый спрос на качественный лицевой керамический кирпич.

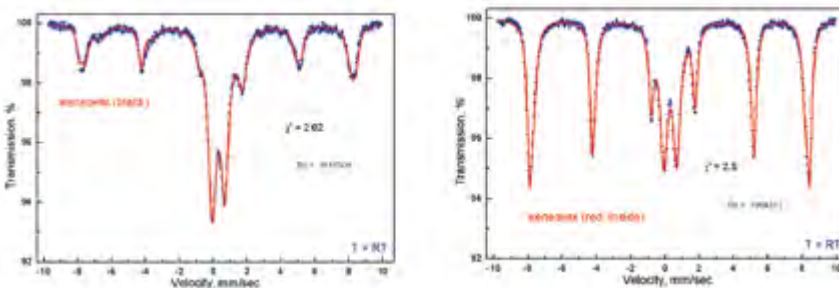
Окрашивание лицевого кирпича зависит от многих факторов, в частности от ионного состояния и координации входящих в его состав элементов 3d- и 4f-группы, электронные переходы которых формируют цветовой тон. Важную роль в этом играют и ионы железа. Поэтому мессбауэровская спектроскопия на ядрах Fe-57 широко используется в исследованиях керамических материалов [10]. Это обусловлено тем, что параметры мессбауэровских спектров чрезвычайно чувствительны к валентному состоянию и локальному окружению ионов



**Рис. 11.** Мессбауэровский спектр образца керамики черного цвета. Температура обжига около 1300°C



**Рис. 9.** Дифрактограмма обычного кирпича здания XIX в.



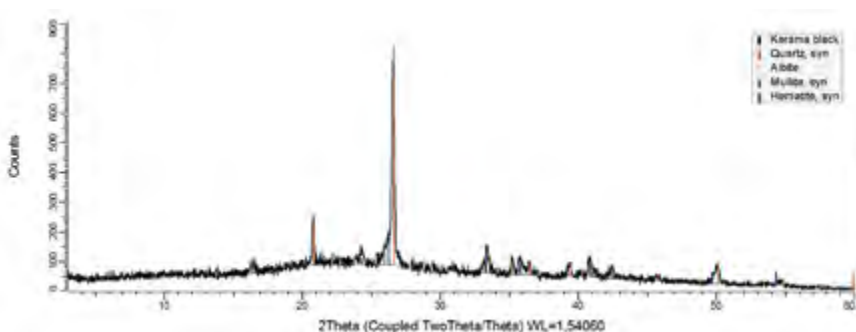
**Рис. 10.** Мессбауэровский спектр кирпича-железняка: а – наружной части; б – внутренней части

железа. Такими параметрами являются: изомерный сдвиг, квадрупольное расщепление, сверхтонкое магнитное поле на ядре, площадь под резонансной кривой, форма и даже ширина резонансных линий. Эти параметры позволяют получать детальную информацию об ионах железа, даже тогда, когда они рентгеноаморфны. В мессбауэровских спектрах керамических материалов четко определяются все входящие в их состав железосодержащие компоненты. Например, мессбауэровский спектр гематита, часто присутствующего в составе лицевого керамического кирпича, представляет собой секстет линий, а спектр с дублетной структурой резонансных линий соответствует парамагнитным составляющим, по параметрам которых можно выявить их относительное содержание и кристаллохимические особенности компонент.

С увеличением температуры обжига усиливаются диффузионные процессы, при этом реагенты имеют различные коэффициенты диффу-

зии. В глинах с незначительным содержанием карбонатов отмечаются изменения фазового состава, сопровождаемые увеличением доли гематита, о чем свидетельствует увеличение относительной площади секстета в мессбауэровских спектрах.

В образцах керамики на базе глины Алексеевского месторождения после обжига при 1000°C (рис. 1) площадь секстета (относящегося к гематиту) составляет 60%, а дублета – 40% (в данном случае с большой вероятностью индикатор содержания железа в аморфной фазе). Ранее было отмечено [11], что в процессе обжига глины Алексеевского месторождения вплоть до температуры 1000°C новые кристаллические фазы, за исключением гематита, не образуются (рис. 2), однако гематит «выпадает» не на стадии подъема температуры, а в процессе охлаждения [12]. Действительно, в фазовом составе остывшего образца содержание кварца 35%, полевых шпатов 39%, мусковита 7%, гематита 2%.



**Рис. 12.** Дифрактограмма образца керамики черного цвета. Температура обжига около 1300°C



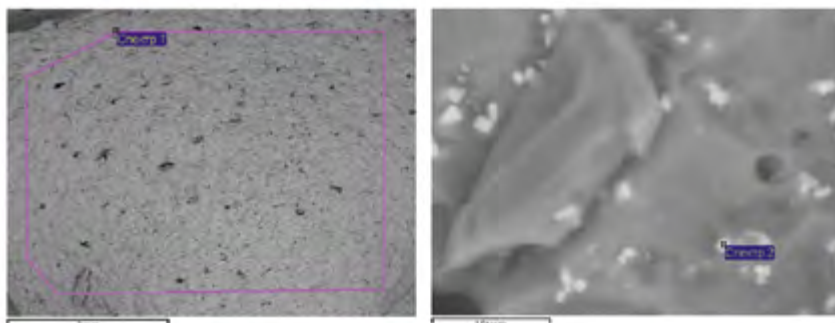


Рис. 13. РЭМ изображение фрагмента плитки черного цвета. Элементный состав из рентгеновских спектров участков, обозначенных «Спектр 1», %: O – 64,1; Na – 1,4; Mg – 0,4; Al – 8,8; Si – 22,1; K – 1,7; Cr – 0,3; Fe – 0,9; «Спектр 2», %: O – 63,8; Na – 1,4; Al – 7,8; Si – 11,6; K – 0,6; Cr – 4,6; Fe – 10,4

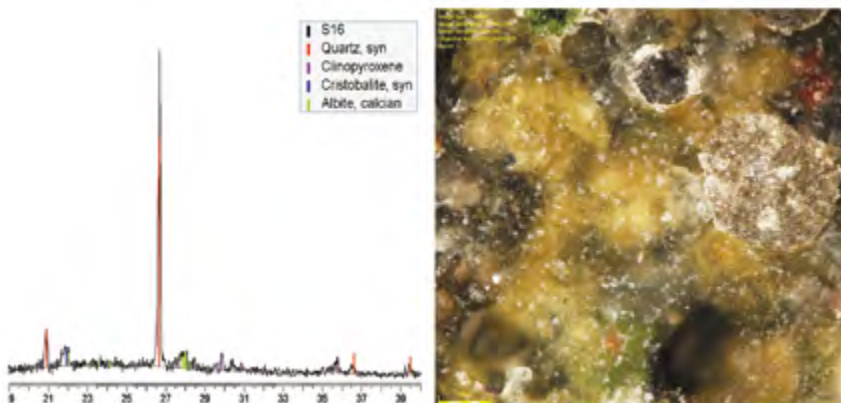


Рис. 14. Фрагмент дифрактограммы и фото образца керамики из глины Сахаровского месторождения.  $T_{\text{обж}} = 1180^{\circ}\text{C}$ . Содержание аморфной фазы 48%

С повышением температуры обжига до  $1100^{\circ}\text{C}$  относительная интенсивность секстета возрастает до 64%, соответственно в фазовом составе доля гематита возрастает с 2 до 4%, а доля аморфной фазы увеличивается с 19 до 31% (рис. 3, 4).

При дальнейшем подъеме температуры до  $1150^{\circ}\text{C}$  (рис. 5, 6) в мессбауэровском спектре относительная интенсивность секстета возрастает до 71%, соответственно доля гематита возрастает до 5%, а доля аморфной фазы растет до 37%; изделие приобретает темно-красный цвет.

В исследованных нами образцах керамики из глины Сахаровского месторождения гематит представлен конгломератами размером менее 50 мкм, в свою очередь состоящих из кристаллов гематита размером менее 1 мкм (рис. 7).

По внешнему виду производимый в настоящее время клинкер схож с некоторыми кирпичами старых зданий Казани. Многие из них отличаются насыщенным темным цветом, при ударе молоточком они издают характерный звон, что совершенно несвойственно рядовому красному

кирпичу. Мы поддерживаем мнение ростовских ученых [13], что более темный, сильно обожженный «железняк» XIX в. и являлся собственно клинкерным кирпичом. При исследовании такого «железняка» выяснилось, что его поверхностный слой толщиной 1,5 мм обладает практически черным цветом (рис. 8).

Для сравнения приведем данные минерального состава рядом расположенного красного кирпича, %: кварц 49, альбит 11, микроклин 10, гематит 2 (рис. 9). В основной, темно-красной части «железняка», содержание гематита существенно выше.

В мессбауэровском спектре поверхностного слоя железняка есть составляющие магнетита, маггемита и гематита (рис. 10, а). Черный окрас поверхностного слоя обусловлен наличием основной железодержащей компоненты – магнетита.

Темно-красный окрас внутренней части железняка обусловлен существенным содержанием гематита, что подтверждается тем, что в его мессбауэровском спектре относительная интенсивность секстета возрастает (рис. 10, б).

Подобное изменение цвета, вызванное повышением температуры обжига, характерно для глин с незначительным содержанием карбонатов. Для придания керамическому камню темного цвета достаточно даже незначительного количества гематита. Для доказательства этого мы исследовали образец керамики, полученный при температуре обжига около  $1300^{\circ}\text{C}$  из каолиновых глин. В фазовом составе образца высокая доля аморфной фазы – 80%, содержание гематита составляет менее 2%, при этом относительная интенсивность секстета в его мессбауэровском спектре составляет 83%. Это означает, что практически весь оксид железа образца представлен гематитом (рис. 11, 12). Неудивительно, что цвет образца черный.

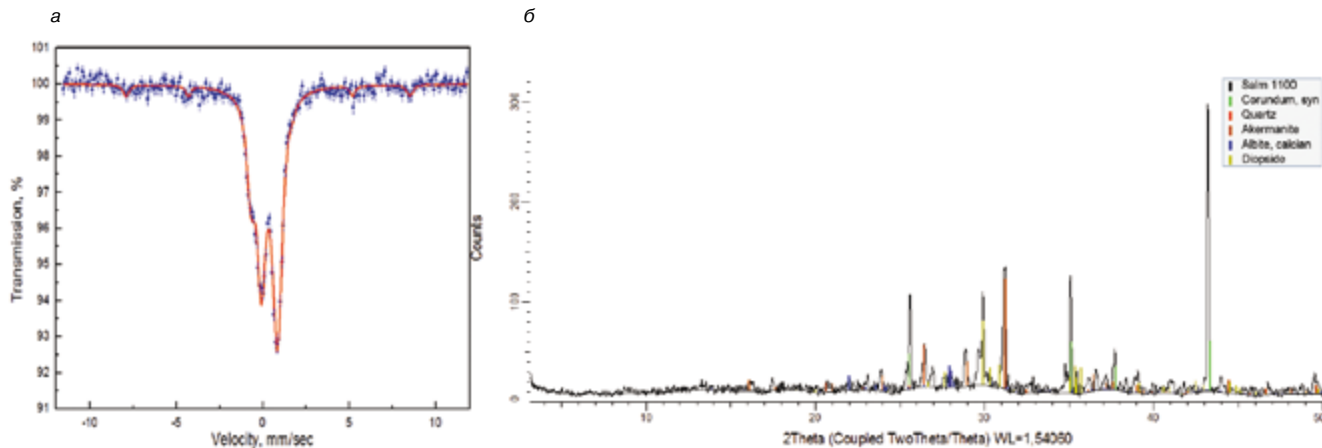


Рис. 15. Мессбауэровский спектр (а) и дифрактограмма глины Салмановского месторождения после обжига при  $1100^{\circ}\text{C}$  (б)

Таблица 1

Химический состав глины Салмановского месторождения (содержание в % на абсолютно сухую навеску)

SiO <sub>2</sub>	TiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	MnO	CaO	MgO	Na <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	ППП	Сумма
37,14	0,62	13,42	4,46	0,05	19,86	1,6	0,29	2,1	0,11	20,11	99,82

Таблица 2

Фазовый состав глины Салмановского месторождения при различной температуре обжига (дифрактометр Shimadzu XRD-7000S)

T <sub>обж</sub>	Кварц	Альбит	Мусковит	Клинохлор	Кальцит	CaO	Акерманит	Диопсид	Ларнит	Аморфная фаза
50	25	15	20	9	31					
100	25	15	20	9	31					
200	25	15	20	9	31					
300	25	15	20	9	31					
400	25	15	20	6	31					3
500	25	15	20		31					9
600	25	15	20		20					20
700	25	15	20			20				20
800	25	15	20			3	6	6	10	15
900	25	15	16				20	10	12	2
950	22	15	14				24	12	13	0
1000	15	15	12				30	16	12	0
1050	10	15	10				30	26	9	0
1100	8	15					30	35		12

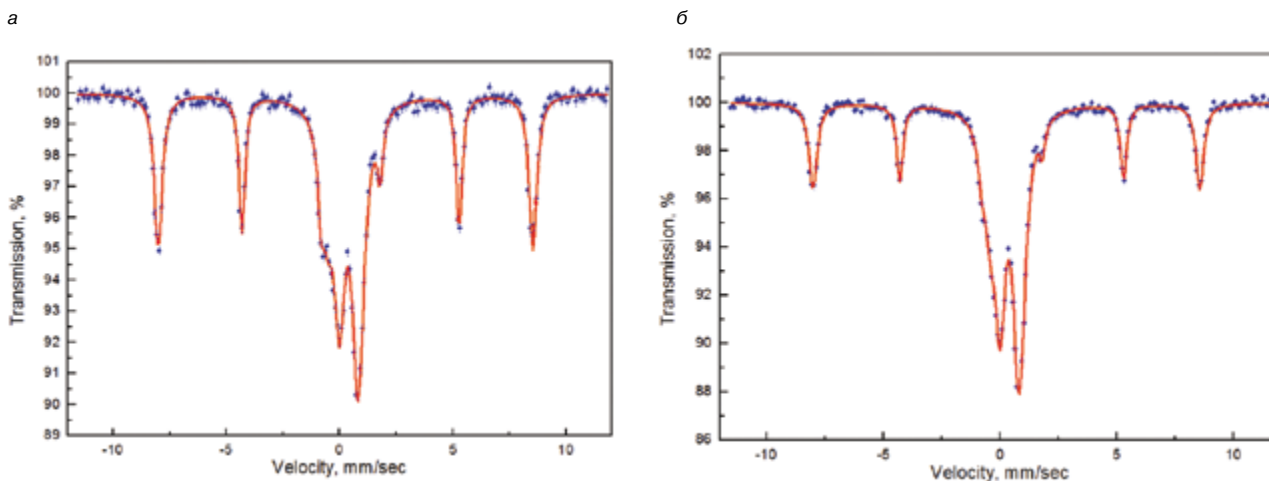


Рис. 16. Мессбауэровские спектры образцов из глины Салмановского месторождения с добавкой 4% гематита после обжига при 1050 (а) и 1100°С (б)

Материал характеризуется плотной структурой, анализ элементного состава позволяет сделать вывод, что общее содержание ионов железа в макроскопическом фрагменте образца менее 1%, а гематит представлен кристаллическими новообразованиями размером менее 1 мкм (рис. 13).

Глина Сахаровского месторождения отличается несколько повышенным (6%) содержанием карбонатов. При ее обжиге при температуре 1170°С отмечаются существенные изменения фазового состава, соот-

ветственно и характеристик образцов. Гематит уже не фиксируется, зато появляются клинопироксен и кристобалит, что приводит к изменению цвета образца (рис. 14).

В химическом составе глины Салмановского месторождения (табл. 1) содержание оксида железа превышает 4%, однако при ее обжиге гематит не образуется (табл. 2).

В мессбауэровском спектре глины Салмановского месторождения после обжига при 1100°С относительная интенсивность дублета составляет 94% (рис. 15), расшифровка

спектра позволяет сделать вывод, что дублет соответствует минералу диопсид, что полностью соответствует данными рентгенофазового анализа (табл. 2).

Мы приходим к выводу, что в данном случае подавляющая часть ионов железа находится в новообразованном минерале диопсид, а не в гематите, что соответствует светлой окраске образца. При повышении температуры обжига до 1150°С образцы становятся еще светлее, т. е. практически все ионы железа концентрируются в диопсиде.

В модельных экспериментах в глину Салмановского месторождения добавили 4% синтетического гематита, образцы обожгли при температуре 1050 и 1100°C. В мессбауэровских спектрах относительная интенсивность дублета возрастает с 59 до 70%, что свидетельствует о снижении содержания гематита в связи с повышением температуры обжига, несмотря на наличие добавки (рис. 16).

В дальнейших экспериментах к глине Салмановского месторождения добавлялось различное количество красножгущихся глин (алексе-

евской, сахаровской). При соответствующей температуре обжига появилась возможность получать образцы керамики различного цвета.

На основании полученных результатов мы считаем уместным несколько уточнить популярное мнение [14], что «беложгущаяся глина – это глина с минимальным количеством красящих оксидов». Хромофоров (красящих оксидов) может быть разное количество; для проектирования цвета керамики необходимо выяснить, как меняется координация ионов железа, что позволяет

выявить мессбауэровская спектроскопия. Конечно, наряду с железом существуют и другие хромофоры (хром, титан, марганец и др.), но их содержание в сырье существенно ниже, соответственно меньше влияние на цвет.

Детальное исследование поведения при обжиге глин Алексеевского, Сахаровского и Салмановского месторождений позволило разработать научные основы технологического регламента для производства лицевого кирпича широкой цветовой гаммы на заводе «Алексеевская керамика».

## Список литературы

1. Масленникова Г.Н., Пищ И.В. Керамические пигменты. М.: ООО РИФ «Стройматериалы», 2009. 223 с.
2. Зубехин А.П., Яценко Н.Д., Голованова С.П. Теоретические основы белизны и окрашивания керамики и портландцемента. М.: ООО РИФ «Стройматериалы», 2014. 152 с.
3. Сидельникова М.Б., Погребенков В.М. Керамические пигменты на основе природного и техногенного минерального сырья. Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2014. 262 с.
4. Llop J., Stoyanova Lyubanova T., Barrachina E., Notari M.D., Nebot I., Carda J.B. The Ceramic Industry in Spain: Challenges and Opportunities in Times of Crisis. *Ceramic forum international*. 2014. No. 6. pp. 43–48.
5. Котляр В.Д., Лапунова К.А. Особенности физико-химических преобразований при обжиге опоконидного сырья // *Строительные материалы*. 2016. № 5. С. 40–42.
6. Стирлен А. Искусство ислама / Пер с фр. / Под ред. Е.В. Нетесовой. М.: ООО «Издательство Астрель», 2003. 319 с.
7. Вильчек Ф. Красота физики: постигая устройство природы: пер. с англ. М.: Альпина нон-фикшн, 2016. 604 с.
8. Езерский В.А. Количественная оценка цвета керамических лицевых изделий // *Строительные материалы*. 2015. № 8. С. 76–80.
9. Семенов А.А. О состоянии отечественного рынка керамических стеновых материалов // *Строительные материалы*. 2016. № 8. С. 9–14.
10. Enver M., Cashion J. Mossbauer spectroscopy of environmental materials and their industrial utilization. London: Kluwer Academic Publishers, 2004. 417 p.
11. Салахов А.М., Тагиров Л.Р. Структурообразование керамики из глин, формирующих при обжиге различные минеральные фазы // *Строительные материалы*. 2015. № 8. С. 68–74.
12. Салахов А.М., Салахова Р.А. Инновационные материалы: Современная керамика. Казань: «Парадигма», 2012. 360 с.
13. Котляр В.Д., Терехина Ю.В., Котляр А.В. Особенности свойств, применение и требования к клинкерному кирпичу // *Строительные материалы*. 2015. № 4. С. 72–74.
14. Петелин А.Д., Сапрыкин В.И., Клевакин В.А., Клевакина Е.В. Особенности применения глин Нижнеуевского месторождения в производстве керамического кирпича // *Строительные материалы*. 2015. № 4. С. 28–30.

## References

1. Maslennikova G.N., Pishch I.V. Ceramic pigments [Ceramic pigments]. Moscow: RIF «Stroimaterialy». 2009. 223 p.
2. Zubekhin A.P., Yatsenko N.D., Golovanova S.P. Teoreticheskie osnovy belezny i okrashivaniya keramiki i portlandtsementa [Theoretical bases of a whiteness and coloring of ceramics and portlandcement]. Moscow: RIF «Stroimaterialy». 2014. 152 p.
3. Sidel'nikova M.B., Pogrebenkov V.M. Keramicheskie pigmenty na osnove prirodnogo i tekhnogenno mineral'nogo syr'ya [Ceramic pigments on the basis of natural and technogenic mineral raw materials]. Tomsk: Izdatelstvo Tomskogo politekhnicheskogo universiteta. 2014. 262 p.
4. Llop J., Stoyanova Lyubanova T., Barrachina E., Notari M.D., Nebot I., Carda J.B. The Ceramic Industry in Spain: Challenges and Opportunities in Times of Crisis. *Ceramic forum international*. 2014. No. 6. pp. 43–48.
5. Kotlyar V.D., Lapunova K.A. Features of Physical-Chemical Transformations during Opoka-Like Raw Material Burning. *Stroitel'nye Materialy*. [Construction Materials]. 2016. No. 5, pp. 40–42. (In Russian)
6. Stirlen A. Iskusstvo islama [Art of Islam]. Moscow: Izdatel'stvo Astrel'. 2003. 319 p.
7. Vil'chek F. Krasota fiziki: Postigaya ustroystvo prirody [A beautiful question finding nature's deep design] Moscow: Al'pina non-fikshn. 2016. 604 p.
8. Ezerskii V.A. Quantitative assessment of color of ceramic facing products. *Stroitel'nye Materialy* [Construction Materials]. 2015. No. 8, pp. 76–80. (In Russian).
9. Semenov A.A. About a condition of the domestic market of ceramic wall materials. *Stroitel'nye Materialy*. [Construction Materials]. 2016. No. 8, pp. 9–14. (In Russian).
10. Enver M., Cashion J. Mossbauer spectroscopy of environmental materials and their industrial utilization. London: Kluwer Academic Publishers, 2004. 417 p.
11. Salakhov A.M., Tagirov L.R. Structure formation of ceramic with clays which form various phases at burning. *Stroitel'nye Materialy*. [Construction Materials] 2015. No. 8, pp. 68–74. (In Russian).
12. Salakhov A.M. Innovatsionnye materialy: Sovremennaya keramika. [Innovative materials: Modern ceramics]. Kazan': Paradigma, 2012. 360 p.
13. Kotlyar V.D., Terekhina Yu.V., Kotlyar A.V. Features of Properties, Application and Requirements for Clinker Brick. *Stroitel'nye Materialy*. [Construction Materials]. 2015. No. 4, pp. 72–74. (In Russian).
14. Petelin A.D., Saprykin V.I., Klevakin A.V., Klevakina E.V. Features of the Use of Nizhneuvelsky Deposit Clays in Production of Ceramic Brick. *Stroitel'nye Materialy*. [Construction Materials]. 2015. No. 4, pp. 28–30. (In Russian).