

УДК 666.712:66.018.8

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ОСАДКОВ СТОЧНЫХ ВОД ГАЛЬВАНИЧЕСКИХ ПРОИЗВОДСТВ ДЛЯ ИЗГОТОВЛЕНИЯ КЕРАМИЧЕСКОГО КИРПИЧА

Проф., д-р техн. наук **И. А. ЛЕВИЦКИЙ** (e-mail: keramika@bstu.unibel.by), канд. техн. наук
Ю. Г. ПАВЛЮКЕВИЧ, канд. техн. наук **Е. О. БОГДАН**, **О. В. КИЧКАЙЛО**

Учреждение образования «Белорусский государственный технологический университет» (Республика Беларусь, г. Минск)

Исследована миграция ионов тяжелых металлов (Zn^{2+} , Cu^{2+} , Cr^{3+} , Cr^{6+} , Ni^{2+} , Fe^{2+} и Fe^{3+}) из керамического кирпича, содержащего осадки сточных вод гальванических производств. Установлены закономерности миграции химических элементов под воздействием различных факторов (температуры и времени экспозиции, pH модельной среды) во взаимосвязи с шихтовым и химическим составом масс, а также структурой и фазовым составом материалов. Определено оптимальное содержание осадков сточных вод в составах масс для получения керамического кирпича, полностью удовлетворяющего требованиям нормативной документации по миграции химических элементов

Ключевые слова: кирпич керамический, осадки сточных вод гальванических производств, тяжелые металлы, миграция, модельная среда, фотометрия, атомно-абсорбционная спектроскопия, структура, предельно-допустимая концентрация

В настоящее время в связи с ростом объемов строительства, в том числе индивидуального домостроения, увеличивается потребность в качественных, долговечных строительных материалах, среди которых по-прежнему востребованным является лицевой и рядовой керамический кирпич с требуемыми декоративными и физико-техническими характеристиками. В связи с невысоким качеством полиминерального легкоплавкого глинистого сырья Беларуси, используемого для получения кирпича, возникает необходимость введения различных добавок в составы керамических масс. На основании литературных данных [1] и проведенных исследований [2] в качестве флюсующе-отошающего компонента шихты нами выбраны железосодержащие отходы гальванических производств, позволяющие корректировать технологические свойства керамических масс, цветовые и физико-технические характеристики готовых изделий, а также решать проблемы ресурсосбережения, утилизации промышленных отходов и охраны окружающей среды.

Исследование керамических масс на основе полиминеральной легкоплавкой глины месторождения Заполье и осадков сточных вод гальванических производств ведущих предприятий Беларуси (РУП «Гомельский станкостроительный завод им. С. М. Кирова», Гомельского ОАО «Ратон», ПО «Минский тракторный завод», РУП «Гомельский завод литья и нормалей», ЗАО «Атлант», РУП «Белорусский металлургический завод») показало принципиальную возможность использования железосодержащих отходов для получения лицевого и рядового керамического кирпича и камней. При этом материалы, полученные на основе масс оптимального состава, включающих 15 – 25 %* осадка и 75 – 85 % глины месторождения Заполье, характеризуются окраской насыщенных рыже-, красно-коричневых и шоколадных тонов с требуемым уровнем физико-технических свойств: водопоглощение 13,8 – 20,9 %, механическая прочность при сжатии 25,1 – 33,9 МПа, морозостойкость 50

* Здесь и далее по тексту массовое содержание, %.

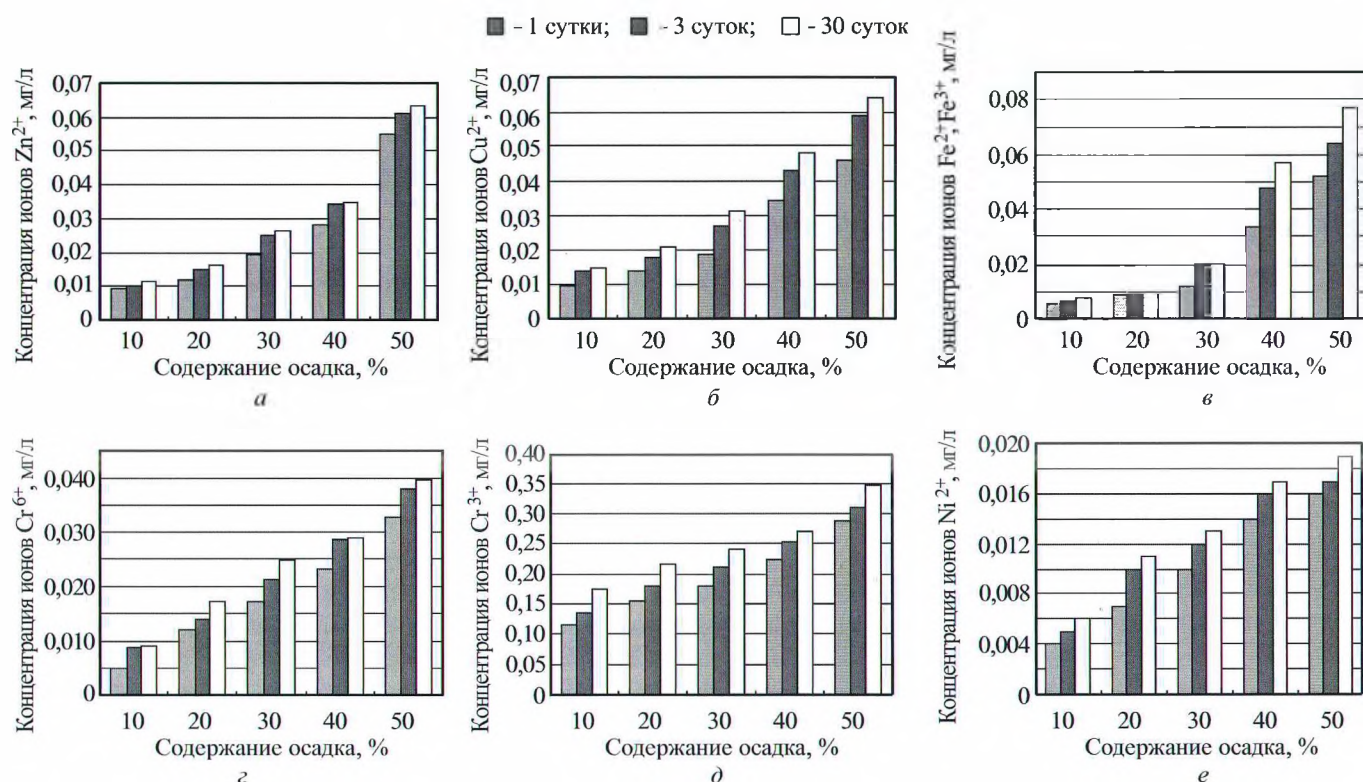


Рис. 1. Миграция химических элементов из образцов керамического кирпича в дистиллированную воду (температура экспозиции 20 °С)

и более циклов попеременного замораживания и оттаивания [2].

Между тем актуальной остается проблема негативного воздействия тяжелых металлов на экологическую систему в процессе переработки отходов и на стадии эксплуатации готовых материалов, полученных на их основе. Известно, что кладка зданий и сооружений периодически подвергается воздействию кислотных атмосферных осадков, механическим повреждениям и другим факторам, приводящим к нарушению целостности конструкции и способствующим миграции из строительного материала ионов тяжелых металлов. Обладая высокой биологической и миграционной активностью, они проникают в поверхностные и грунтовые воды, накапливаются в растениях и создают опосредованную опасность воздействия на организм человека. В связи с этим необходим контроль уровня миграции ионов тяжелых металлов из керамического кирпича, полученного с использованием осадков сточных вод гальванических производств.

Немногочисленные исследования миграции химических элементов из керамических материалов в основном касаются стекловидных покрытий, глазурованных и эмалированных изделий, контактирующих с пищевыми продуктами [3, 4]. Кроме того, на

сегодняшний день в Республике Беларусь отсутствует единая методика определения экологической безопасности строительных материалов, изготовленных с применением промышленных отходов.

В связи с этим целью настоящего исследования явилось изучение закономерностей миграции химических элементов из керамического кирпича под действием различных факторов (температуры и времени экспозиции, pH модельной среды) во взаимосвязи с шихтовым и химическим составами масс, а также структурой и фазовым составом материала.

Исследовали образцы керамического кирпича, полученные на основе глины месторождения Заполье и осадка сточных вод РУП «Гомельский завод литья и нормалей» (ГСЗ) методом полусухого прессования с последующим обжигом при температуре 1050 ± 10 °С. При исследовании миграции пользовались методическими указаниями [7], касающимися санитарно-гигиенической оценки строительных материалов с добавлением промышленных отходов. Исследуемые растворы (вытяжки) для определения уровня миграции химических элементов готовили путем изотермической выдержки при температурах 20 ± 2 , 35 ± 2 и 50 ± 2 °С опытных образцов в виде цилиндров диаметром 30 ± 1 мм и высотой 15 ± 1 мм

Таблица 1. Концентрация ионов тяжелых металлов в вытяжках и степень их миграции из образцов керамического кирпича

Массовое содержание шлама ГСЗ, %	Ионы	Концентрация ионов, мг/л			Степень миграции, %
		по методу фотометрии	по методу ААС	максимально возможная	
10	Ni ²⁺	0,009	0,00	66,00	0,014
30		0,016	0,01	198,00	0,0085
50		0,025	0,02	330,00	0,0075
10	Fe ²⁺ , Fe ³⁺	0,040	0,05	9791,86	0,0003
30		0,130	0,18	29375,59	0,0004
50		0,410	0,44	48959,31	0,0006
10	Cr ³⁺ , Cr ⁶⁺	0,251	0,22	874,36	0,030
30		0,415	0,35	2623,08	0,015
50		0,643	0,61	4371,80	0,010
10	Cu ²⁺	0,123	0,16	19,17	0,640
30		0,189	0,21	57,52	0,330
50		0,462	0,50	95,86	0,490
10	Zn ²⁺	0,137	0,09	388,90	0,033
30		0,324	0,28	1166,71	0,027
50		0,550	0,56	1944,55	0,028

в модельной среде, в качестве которой использовали дистиллированную воду или аммонийно-ацетатный буферный раствор, характеризующийся pH 4,5. Время экспозиции составляло 1, 3 и 30 сут. В связи с тем что керамический кирпич подвергается периодическому кратковременному контакту с атмосферными осадками, соотношение объемов образец : модельная среда составляло 1 : 10. В целях максимального приближения к реальным условиям исследовали образцы со сколами поверхности, составляющими примерно 7 – 10 %, что позволило имитировать некоторое разрушение материала в процессе его эксплуатации.

Анализ химического состава осадка ГСЗ и керамических масс на его основе позволил выделить перечень химических элементов, концентрацию которых необходимо контролировать в водных вытяжках. Так, наибольшую опасность представляют ионы Zn²⁺, Cu²⁺, Cr³⁺, Cr⁶⁺, Ni²⁺, Fe²⁺ и Fe³⁺.

Определение в полученных вытяжках концентрации ионов Zn²⁺, Cu²⁺ при их совместном присутствии осуществлялось методом анодной инверсионной вольтамперометрии на вольтамперометрическом анализаторе марки АВА-1, сопряженном с компьютером, а ионов Cr³⁺, Cr⁶⁺, Ni²⁺, Fe²⁺, Fe³⁺ – фотометрическим методом на фотоэлектроколориметре КФК-3-01 «ЗОМЗ». Методики, по которым проводили анализ,

подробно изложены в [6]. Также для исследования концентрации химических элементов дополнительно использовали атомно-абсорбционный анализ на спектрометре Avanta GM (Германия). Полученные значения концентраций исследуемых ионов сравнивали с предельно допустимыми концентрациями данных элементов в воде водных объектов хозяйственно-питьевого и культурно-бытового водопользования, представленными в ГН 2.1.5.10–21–2003 [7].

Как видно из диаграмм, приведенных на рис. 1, при температуре 20 °С увеличение времени экспозиции в дистиллированной воде от 1 до 30 сут при одновременном повышении содержания в образцах осадка ГСЗ от 10 до 50 % приводит к росту концентрации ионов цинка и меди от 0,009 до 0,063 и 0,0094 – 0,0640 мг/л соответственно, что не превышает ПДК, равной 1 мг/л. Суммарная концентрация ионов Fe³⁺ и Fe²⁺ в исследуемых образцах находится в пределах 0,052 – 0,077 мг/л, что гораздо ниже ПДК, равного 0,3 мг/л. Концентрация ионов Cr⁶⁺ и Cr³⁺ в исследуемых вытяжках составляет 0,005 – 0,04 и 0,036 – 0,347 мг/л, в то время как ПДК для шести- и трехвалентного хрома составляет 0,05 и 0,5 мг/л соответственно. Содержание ионов никеля находится в диапазоне 0,004 – 0,01 мг/л, что полностью удовлетворяет требованиям нормативной документации.

Анализ полученных данных показывает, что повышение содержания в составах масс осадка сточных вод от 10 до 50 %, а также увеличение времени экспозиции образцов от 1 до 30 сут вызывает рост концентрации исследуемых ионов в водных вытяжках, причем в первые сутки выдержки мигрирует 60 – 80 % ионов каждого из исследуемых элементов.

Известно, что атмосферные осадки даже при условии отсутствия в воздухе загрязняющих веществ имеют кислый характер среды ($\text{pH} \approx 5,6$), который создается за счет растворения находящегося в воздухе углекислого газа с образованием угольной кислоты H_2CO_3 . В современном промышленном мире повышенное количество в атмосфере оксидов серы и азота создает избыточную кислотность дождя ($\text{pH} < 5,0$). В связи с этим изучали воздействие кислой модельной среды, характеризующейся $\text{pH} = 4,5$, на уровень миграции ионов тяжелых металлов при температуре выдержки 20 °С в течение 30-суточной экспозиции.

Анализ полученных результатов показывает, что при указанных условиях экспозиции существенно повышается уровень миграции всех исследуемых элементов. Так, концентрация ионов Ni^{2+} , Cr^{6+} и Cr^{3+} увеличивается в 1,31–1,85 раз, концентрация ионов Fe^{2+} и Fe^{3+} – в 3,5 раза, ионов цинка и меди – в 9,1–10,2 и 5,9–8,2 раз соответственно. При этом концентрация ионов меди, цинка и никеля в аммонийно-ацетатных вытяжках, полученных из образцов с максимальным содержанием осадка ГСЗ, существенно ниже предельно допустимой. При этом суммарное содержание ионов железа находится на уровне ПДК и составляет 0,294 мг/л. В вытяжках, полученных при экспозиции образцов, содержащих 50 % осадка сточных вод, наблюдается незначительное превышение требований нормативной документации на 0,0803 и 0,0097 мг/л в части нормирования трех- и шестивалентного хрома соответственно.

В связи с тем что в летний период поверхность кладки зданий может нагреваться под воздействием солнечных лучей до 40 – 50 °С, дополнительно проводили исследования по влиянию температуры на уровень миграции ионов тяжелых металлов из образцов керамического кирпича. В целях создания наиболее жестких условий эксплуатации керамических изделий, максимально приближенных к реальным, образцы выдерживали в течение 30 сут в модельной среде, созданной аммонийно-ацетатным буферным раствором с $\text{pH} = 4,5$ при температурах 20, 35 и 50 °С. Полученные результаты позволяют заключить, что повышение температуры экспозиции приводит к не-

существенному увеличению концентрации исследуемых ионов в вытяжках. Так, при повышении температуры от 20 до 50 °С миграция ионов Ni^{2+} и Cr^{6+} увеличивается в 1,1 – 1,6 раз, Zn^{2+} и Cu^{2+} – в 1,19 – 1,46 раза, суммарного железа и Cr^{3+} – в 1,44 – 1,78 и 1,07 – 1,21 раз соответственно.

В табл. 1 представлены концентрации всех исследуемых ионов в аммонийно-ацетатных вытяжках, полученных в результате 30-суточной экспозиции при температуре 50 °С. Анализ этих данных показывает, что значения концентраций ионов тяжелых металлов, полученных методами фотометрии и атомно-абсорбционной спектроскопии (ААС), достаточно близки в пределах неизбежной погрешности при проведении эксперимента. Как видно из табл. 1, при выдержке в модельной среде образцов, содержащих 50 % осадка, наблюдается превышение ПДК по суммарному железу на 0,12–0,14 мг/л, по трех- и шестивалентному хрому – на 0,11–0,14 мг/л и 0,013–0,015 мг/л соответственно. Незначительное превышение предельно допустимой концентрации ионов Cr^{6+} в вытяжках наблюдается также у образцов, содержащих 40 % осадка.

Таким образом, при смоделированных наиболее жестких условиях эксплуатации (30-суточная экспозиция при температуре 50 °С в аммонийно-ацетатном буферном растворе) опытные образцы, содержащие до 30 % включительно осадка ГСЗ, полностью удовлетворяют требованиям ГН 2.1.5.10–21–2003 [7] по части нормирования миграции всех исследуемых химических элементов.

Известно, что процессы миграции химических элементов из керамических образцов напрямую зависят от их структурных особенностей (пористости, характера распределения пор, их формы и размера, состояния поверхности, степени кристаллизации, соотношения кристаллической и стекловидной фаз). В целях объяснения закономерностей миграции химических элементов проводили детальные исследования фазового состава и структуры материалов на дифрактометре D 8 Advance фирмы Bruker (Германия) и электронном микроскопе JSM-560 LV, оснащенном системой электронно-зондового энергодисперсного локального химического анализа EDX JED-2201 JEOL (Япония).

Полученные образцы керамического кирпича (рис. 2) имеют довольно сложную структуру, представленную сочетанием кристаллической, стекловидной и газовой фаз с их различным количественным соотношением. Исследования химического состава локальных участков 1 – 7 керамических об-

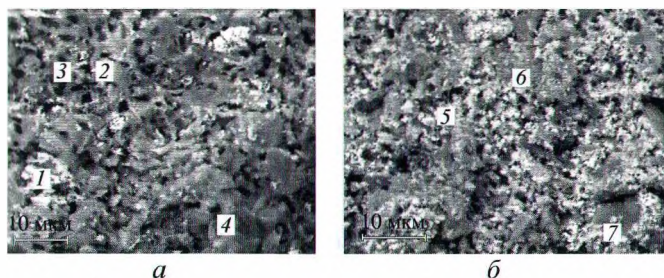


Рис. 2. ЭМ-изображение поверхности участка керамического кирпича, содержащего 10 (а) и 50 % (б) осадка ГСЗ (температура обжига кирпича 1050 °С) 1 – 7 – участки, выбранные для микрозондирования

разцов (см. рис. 2, табл. 2) позволили установить следующие закономерности. Структурные образования, обозначенные как локальные участки 1 и 7, характеризуются повышенным суммарным содержанием оксидов железа (II, III) и, вероятно, принадлежат железосодержащим фазам с некоторым количеством примесей других оксидов. Локальный участок 2, характеризующийся повышенным содержанием SiO_2 , Al_2O_3 и CaO наряду с другими оксидами, принадлежит алюмосиликатной фазе – анортиту. Локальный участок 3, представляющий собой прослойки, соединяющие между собой структурные элементы, характеризуется наряду с содержанием 68,91 % SiO_2 , 11,85 % Al_2O_3 повышенными количествами оксидов щелочных и щелочно-земельных элементов (1,99 % Na_2O , 4,12 % K_2O , 3,94 % MgO), что, по мнению авторов, может идентифицироваться как стекловидная фаза. Анализируемые локальные участки 4 и 5, характеризующиеся высоким содержанием SiO_2 , могут быть отнесены к составу с преобладанием α -кварца, а наличие в данных участках небольшого количества Al_2O_3 (5,05 %) и $\text{RO}+\text{R}_2\text{O}+\text{R}_2\text{O}_3$ (5,12 %) свидетельствует о присутствии аморфизированной глинистой составляющей. Локальный участок 6, характеризующийся повышенным содержанием оксидов кремния, алюминия, железа, принадлежит, по-видимому,

аморфизированному глинистому веществу, насыщенному оксидами железа.

Анализ данных табл. 2 показывает, что ионы Cu^{2+} , Zn^{2+} и Ni^{2+} входят преимущественно в состав аморфизированного глинистого вещества (участок 6) и стекловидной фазы (участок 3). Причем в структуре силикатов катионы переходных элементов не входят в состав кремнекислородных радикалов, а располагаются вне их, нейтрализуя заряд нестиковых атомов кислорода в кремнекислородном радикале и связывая эти радикалы между собой [8]. В связи с этим ионы, находящиеся в структуре стекловидной фазы, обладают более высокой подвижностью по сравнению с ионами, расположенными в узлах кристаллической решетки. Кроме того, автором [9] отмечается также наличие ионообменной диффузии на границе соприкосновения стеклофазы с растворами различной природы. Также может наблюдаться диффузия ионов H^+ , образующихся в растворе в результате частичной диссоциации дистиллированной воды, на вакантные места кристаллической решетки минералов, присутствующих в материале.

Ионы Fe^{2+} и Fe^{3+} входят в состав аморфизированных фаз (участки 3, 6), а также структурных образований (участки 1, 7), которые с помощью рентгенофазового анализа идентифицируются как гематит $\alpha\text{-Fe}_2\text{O}_3$, маггемит $\gamma\text{-Fe}_2\text{O}_3$ и магнетит Fe_3O_4 (рис. 3). Из литературных данных известно, что ионы, находящиеся в составе кристаллических фаз, обладают невысокой подвижностью, так как перемещение по междоузлиям обусловливается наличием дефектов решетки и вакансий. Поэтому для ионов двух- и трехвалентного железа характерен невысокий уровень миграции по сравнению с их содержанием в осадке ГСЗ, а соответственно и в полученных образцах.

Как видно из табл. 2, повышенное содержание ионов хрома отмечается на участках, относящихся к

Таблица 2. Химический состав в различных локальных участках (см. рис. 2), полученный с помощью электронно-зондового микроанализа

Локальный участок	Массовое содержание оксидов, %											
	SiO_2	Al_2O_3	CaO	MgO	Na_2O	K_2O	$\text{FeO}+\text{Fe}_2\text{O}_3$	TiO_2	Cr_2O_3	CuO	ZnO	NiO
1	9,28	4,42	1,06	0,61	0,12	0,54	81,58	0,47	1,91	–	0,01	–
2	55,97	16,91	8,25	2,89	1,66	2,64	10,48	0,87	0,33	–	–	–
3	68,91	11,85	3,46	3,94	3,99	4,12	4,27	–	0,02	0,41	0,02	0,01
4	89,06	5,05	2,07	0,44	0,24	0,50	1,86	0,47	0,30	–	0,01	–
5	3,28	1,42	0,16	0,51	0,02	0,54	91,87	0,07	2,09	–	0,04	–
6	55,71	8,49	2,02	2,98	1,08	1,72	55,71	0,87	3,72	0,33	2,08	1,85
7	81,67	3,59	1,69	0,59	0,24	1,46	8,52	0,47	1,75	–	0,02	–

железосодержащим кристаллическим фазам, что может свидетельствовать о вхождении указанных ионов в структуру маггемита. Предполагается, что ионы Cr^{3+} участвуют в формировании $\gamma\text{-Fe}_2\text{O}_3$, заполняя в нем катионную вакансию и повышая тем самым устойчивость метастабильной фазы маггемита вплоть до 1050°C , тогда как в литературе приведен более низкий температурный интервал полиморфного перехода $\gamma\text{-Fe}_2\text{O}_3$ в $\alpha\text{-Fe}_2\text{O}_3$ – $550 - 650^\circ\text{C}$ [8].

Следует отметить, что рентгенографические исследования не позволили выявить кристаллические фазы, в которые входят ионы меди, никеля, хрома и цинка, что объясняется как невозможностью идентификации данных фаз в силу их незначительных количеств, высокой дисперсности, так и их фиксацией в рентгеноаморфных фазах. Присутствие в небольших количествах ионов хрома и цинка на участках, принадлежащих кварцу, анортиту и железосодержащим фазам (см. табл. 2), может свидетельствовать об их способности к адсорбции на границах раздела фаз.

Как указывалось выше, преобладающее количество ионов ($60 - 80\%$) из керамического образца вымывается в течение первых суток экспозиции. В связи с этим можно предположить, что процесс миграции протекает преимущественно с поверхностных слоев образца. Диффузия ионов от центра к поверхности материала лимитируется плотной и довольно сложной структурой образца, а также наличием закрытых пор и невысокой пористостью, которые обусловлены полусухим прессованием и процессами спекания.

На основании литературных данных, а также проведенных исследований можно предположить, что явление миграции ионов тяжелых элементов из образца в дистиллированную воду обуславливается сложным комплексом физико-химических процессов, протекающих на границе раздела фаз твердое–жидкость, среди которых можно выделить диффузию ионов, гидролиз солей поликремниевых кислот и в незначительной степени растворение. Увеличение уровня миграции в кислых средах по сравнению с дистиллированной водой, по-видимому, связано с более интенсивным растворением основных кристаллических фаз. Силикаты и алюмосиликаты, в виде которых представлен керамический материал, также способны вступать в реакции с находящимися в растворе уксусной кислотой и гидроксидом аммония. В результате одновременного протекания диффузионных и химических процессов образуются смешанные комплексные соединения, включающие лиганды NH_3 , H_2O , OH^- , CH_3COO^- , в которых ионы тяжелых металлов выступают в качестве комплексообразователей. Относительно невысокие значения миграции

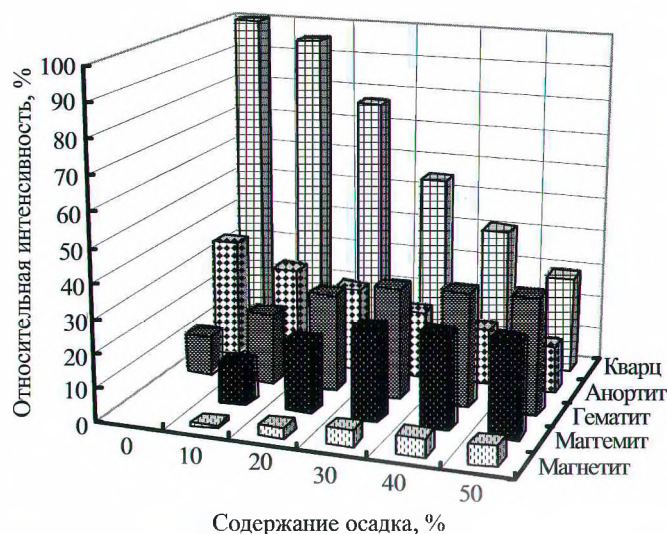


Рис. 3. Зависимость интенсивности дифракционных максимумов кристаллических фаз в образцах керамического кирпича от содержания осадка ГСЗ при температуре обжига 1050°C

ионов хрома в кислой среде по сравнению с миграцией остальных исследуемых элементов хорошо согласуются с известными положениями о высокой химической стойкости соединений хрома.

Рост уровня миграции ионов тяжелых металлов при повышении температуры, по-видимому, можно объяснить интенсификацией рассмотренных физико-химических процессов, а также снижением вязкости модельной среды.

На основании данных по химическим составам исследуемых керамических масс рассчитана максимально возможная концентрация ионов в вытяжках. Степень миграции ионов рассчитана как отношение фактической миграции к максимально возможной (см. табл. 1). Минимальная степень миграции из опытных образцов характерна для ионов железа и никеля ($0,0003 - 0,0006$ и $0,0075 - 0,014\%$ соответственно). По мнению авторов, низкая миграция ионов Fe^{2+} , Fe^{3+} обуславливается их прочной фиксацией в кристаллической структуре магнетита, маггемита и гематита, а также высокой энергией связи $\text{Fe}-\text{O}$, составляющей $410,5$ кДж/моль [10]. Степень миграции ионов хрома и цинка составляет $0,01 - 0,033\%$. Максимальная степень миграции отмечена для ионов Cu^{2+} ($0,329 - 0,640\%$), что объясняется более низким значением энергии связи $\text{Cu}-\text{O}$, составляющей 267 кДж/моль [10].

Таким образом, на основании проведенных исследований можно сделать следующие **выводы**.

1. Миграция ионов тяжелых металлов из образцов лицевого керамического кирпича зависит от ряда факторов. Увеличение времени выдержки от 1 до

30 сут, понижение pH среды от 7 до 4,5, повышение температуры экспозиции от 20 до 50 °C и увеличение содержания в составе керамической массы осадка сточных вод, а соответственно и исследуемых химических элементов приводит к увеличению уровня миграции, причем наибольшее влияние оказывают время экспозиции и pH среды.

2. Явление миграции ионов тяжелых элементов из образцов в модельную среду, по мнению авторов, можно объяснить сложным комплексом физико-химических процессов, протекающих одновременно на границе раздела фаз твердое тело – раствор, среди которых можно выделить диффузию ионов, гидролиз солей поликремниевых кислот, их взаимодействие с гидроксидом аммония и уксусной кислотой и в незначительной степени растворение.

Установлено, что процесс миграции идет преимущественно с поверхностных слоев образца, диффузия ионов из объема лимитируется довольно плотной структурой материала, представленной комбинацией стекловидной и кристаллической фаз, а также наличием закрытых пор. Причем степень миграции различных химических элементов напрямую зависит от структурных особенностей и фазового состава разработанных материалов, а также от особенностей распределения ионов в структуре.

3. Установлено, что миграция исследуемых ионов в смоделированных наиболее жестких условиях эксплуатации (30-суточная экспозиция при температуре 50 °C в аммонийно-ацетатном буферном растворе) из образцов кирпича, содержащих до 30 % осадка сточных вод включительно, полностью удовлетворяют требованиям ГН 2.1.5.10–21–2003 [7] по содержанию химических элементов в воде водных объектов хозяйственно-питьевого и культурно-бытового водопользования.

Учитывая, что при эксплуатации керамического кирпича в реальных условиях контакту с атмосферными воздействиями подвергается только одна сторона изделия, а не весь образец, как при проведении исследований, следует ожидать, что уровень миграции будет ниже приведенных значений. В связи с этим использование до 30 % включительно железосодержащего осадка сточных вод в составах

керамических масс позволяет получать качественные долговечные строительные материалы с требуемыми декоративными и физико-техническими характеристиками, а также решать проблемы ресурсосбережения и утилизации промышленных отходов без нанесения ущерба окружающей среде и здоровью человека.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Кучерова Э. А., Тацки Л. Н., Паничев А. Ю.* Некоторые направления использования отходов гальванического производства для получения керамических материалов и изделий // Рациональное использование природных ресурсов и охрана окружающей среды: сб. науч. ст. Л., 1987. Вып. 10. С. 24 – 36.
2. *Богдан Е. О., Левицкий И. А.* О возможности использования гальванических отходов в производстве архитектурно-строительной керамики // Строительная наука и техника. 2009. № 3. С. 17 – 21.
3. *Битель И. С., Левицкий И. А., Заяц Н. И.* Прозрачные стекловидные покрытия с пониженной миграцией ионов бора и алюминия в уксуснокислые вытяжки // Стекло и керамика. 2006. № 7. С. 20 – 24.
Bitel' I. S., Levitskii I. A., Zayats N. I. Transparent vitreous coatings with decreased migration of boron and aluminum ions into acetic acid extracts // Glass and Ceram. 2006. V. 63. N. 7 – 8. P. 230 – 234.
4. *Орлов Д. Л., Кочеткова Г. В., Каткова К. С. и др.* Оценка гигиенических свойств стеклотары // Стекло и керамика. 1981. № 12. С. 23.
Orlov D. L., Kochetkova G. V., Katkova K. S. et al. An evaluation of the health-safety properties of glass containers // Glass and Ceram. 1981. V. 38. N 12. P. 648 – 649.
5. *Методические указания.* Санитарно-гигиеническая оценка стройматериалов с добавлением промотходов: МУ 2.1.674-97. Введ. 08.08.1997. М.: Гос. система санитарно-эпидемиологич. нормирования РФ, 1997. 26 с.
6. *Лурье Ю. Ю.* Аналитическая химия промышленных сточных вод. М.: Химия, 1984. 448 с.
7. *Предельно допустимые концентрации (ПДК) химических веществ в воде водных объектов хозяйственно-питьевого и культурно-бытового водопользования:* ГН 2.1.5.10–21–2003: сб. гигиенич. нормат. по разделу коммунальной гигиены. Введ. 01.01.2002. Минск, 2002. 92 с.
8. *Горшков В. С., Савельев В. Г., Федоров Н. Ф.* Физическая химия силикатов и других тугоплавких соединений. М.: Высш. шк., 1988. 399 с.
9. *Escardino A. et al.* Leand release from a bisilicate ceramic glaze in acid media. I. Process, mechanism and kinetics // Trans. and J. Brit. Ceram. 1987. V. 86. № 2. P. 47 – 51.
10. *Рабинович В. А., Хавин З. Я.* Краткий химический справочник. 2-е изд. Л.: Химия, 1978. 392 с.