



Экологическая химия 2014, 23(2); 102–109.

ВЛИЯНИЕ ГИДРАТАЦИИ И АТМОСФЕРНОГО ВОЗДУХА НА СОРБЦИОННЫЕ СВОЙСТВА И ФАЗОВЫЙ СОСТАВ ГИДРОСИЛИКАТА КАЛЬЦИЯ

П. С. Гордиенко^{а,б}, С. Б. Ярусова^{а,б}, А. П. Супонина^а, А. А. Юдаков^{а,б}, И. Г. Жевтун^{а,б}

^а *Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт химии
Дальневосточного отделения Российской академии наук (ИХ ДВО РАН),
пр. 100-летия Владивостока 159, г. Владивосток, 690022 Россия
e-mail: yarusova_10@mail.ru*

^б *Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего
профессионального образования Владивостокский государственный университет экономики и
сервиса (ВГУЭС), ул. Гоголя 41, г. Владивосток, 690014 Россия,*

^в *Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего
профессионального образования “Дальневосточный федеральный университет” (ДФУ),
ул. Суханова 8, г. Владивосток, 690950 Россия*

Поступило в редакцию 25 апреля 2014 г.

Исследована устойчивость аморфных образцов гидросиликата кальция (ГСК) в воздушной среде с повышенной влажностью и их некоторые сорбционные характеристики, полученные для малых концентраций (от 0.34×10^{-2} до 0.17 ммоль л⁻¹) ионов кобальта в водной среде. Показано, что на сорбционную емкость гидросиликата кальция влияет изменение фазового состава, обусловленное взаимодействием с углекислым газом, с образованием карбоната кальция двух полиморфных модификаций – кальцита и арагонита, и аморфного кремнезема.

Ключевые слова: Гидросиликат кальция, гидратация, фазовый состав, кальцит, арагонит, сорбция, ионы кобальта.

ВВЕДЕНИЕ

Загрязнение окружающей среды тяжелыми металлами в результате деятельности различных промышленных предприятий является актуальной проблемой, требующей разработки экологически безопасных и дешевых сорбционных материалов для детоксикации загрязненных объектов.

Среди многообразия неорганических сорбентов, применяемых для очистки водных сред от ионов тяжелых металлов, особую группу представляют природные и синтетические силикаты, а также композитные сорбенты на их основе.

В многочисленных отечественных и зарубежных исследованиях показана эффективность силикатов

$n\text{CaO}\cdot m\text{SiO}_2$ и гидросиликатов $n\text{CaO}\cdot m\text{SiO}_2\cdot p\text{H}_2\text{O}$ кальция при их использовании в качестве экологически безопасных сорбентов для очистки водных растворов от ионов тяжелых металлов.

Известны работы, посвященные исследованию механизма взаимодействия ионов Co^{2+} с различными силикатами кальция {тоберморитом $\text{Ca}_{10}[\text{Si}_{12}\text{O}_{31}](\text{OH})_6\cdot 8\text{H}_2\text{O}$, ксонотлитом $\text{Ca}_6[\text{Si}_6\text{O}_{17}](\text{OH})_2$, волластонитом $\text{Ca}_6\text{Si}_6\text{O}_{18}$ } и оценке их сорбционных свойств [1–5].

Так в работах [1, 2] исследован процесс взаимодействия ионов Co^{2+} с ксонотлитом и тоберморитом, а также с волластонитом [2]. Авторами [2] описаны механизмы реакций ионов различных металлов, в том числе ионов Co^{2+} , с тоберморитом, ксонотлитом и волластонитом при соотношении твердой и жидкой фаз $T : Ж = 1 : 400$ (а также $1 : 100$ для волластонита), $\text{pH} \sim 6.5$ и комнатной температуре. Использовали растворы нитрата кобальта с концентрациями ионов Co^{2+} 100, 200, 500 и 1000 мг л^{-1} . Установлено, что в результате реакции почти все ионы Ca^{2+} в тоберморите и ксонотлите были замещены ионами Co^{2+} , что привело к изменению структуры и аморфизации указанных минералов. Реакция Co^{2+} с волластонитом протекает в меньшей степени. Показано, что реакция ионов кобальта с силикатами кальция является необратимой.

В работе [3] использовали сорбент на основе 11 Å тоберморита, полученный из остатков утилизации газетной бумаги. Установлено, что максимальная сорбционная емкость для ионов кобальта из кислых растворов при соотношении твердой и жидкой фаз $T : Ж = 1 : 20$ и 20°C составляет 10.47 мг г^{-1} (или 0.177 ммоль г^{-1}).

Статическая обменная емкость по ионам Co^{2+} , рассчитанная в работе [4] для силикатно-кальциевых сорбентов (ксонотлита и волластонита), полученных из техногенных и природных компонентов, составила для ксонотлита 0.2–0.5 ммоль г^{-1} , для волластонита – 0.25–0.4 ммоль г^{-1} при $T : Ж = 1 : 250$, $\text{pH} = 8.0$ и температуре 25°C .

В работе [5] представлены данные по сорбционным свойствам аморфного ГСК по отношению к ионам кобальта в диапазоне концентраций от 4×10^{-3} до 1.02×10^{-1} моль л^{-1} при $T : Ж = 1 : 40$ и комнатной температуре. Предельное значение

сорбционной емкости, определенное из изотермы сорбции, составляет ~ 4.1 ммоль г^{-1} .

Следует отметить, что для оптимизации применения силикатов кальция в процессах сорбции ионов Co^{2+} необходимо учитывать влияние различных условий на эффективность вышеуказанных соединений.

Известно, что в результате взаимодействия с парами воды и поглощения CO_2 из воздуха силикаты кальция частично разлагаются с образованием CaCO_3 и аморфного кремнезема, что подтверждается ранее проведенными исследованиями [6]. Это может повлиять на сорбционные характеристики данных соединений. Устойчивостью силикатов кальция к внешним факторам (влажность, температура, CO_2 воздуха) будут определяться их эксплуатационные характеристики и области применения.

В связи с этим исследование устойчивости и изменения сорбционных свойств силикатов кальция в условиях воздействия влажной воздушной атмосферы представляет определенный практический интерес. В данной работе проведено исследование влияния влажной воздушной атмосферы на фазовый состав и сорбционные свойства гидросиликата кальция $\text{CaO}\cdot\text{SiO}_2\cdot 1.3\text{H}_2\text{O}$, полученного в многокомпонентной системе $\text{CaCl}_2\text{--Na}_2\text{SiO}_3\text{--H}_2\text{O}$ (далее – модельный ГСК), при сорбции ионов Co^{2+} в диапазоне концентраций от 0.34×10^{-2} до 0.17 ммоль л^{-1} , соотношении твердой и жидкой фаз $T : Ж = 1 : 1000$ и температуре 20°C .

ЭКСПЕРИМЕНТ

Компоненты для синтеза ГСК – растворы силиката натрия квалификации “х.ч.” с содержанием кремния 22.4% (силикатный модуль $\text{SiO}_2/\text{Na}_2\text{O} = 1$) и хлорида кальция $\text{CaCl}_2\cdot 2\text{H}_2\text{O}$ (ТУ 2152-069-00206457-2003, с содержанием $\text{CaCl}_2\cdot 2\text{H}_2\text{O}$ не менее 98.3%) смешивали в водной среде в открытых емкостях, руководствуясь рекомендациями работы [7]. Полученный объемный осадок белого цвета тщательно промывали до полного удаления ионов Cl^- , наличие которых контролировали по реакции промывных вод с раствором AgNO_3 , отфильтровывали через фильтр “синяя лента” и сушили при 85°C .

Устойчивость полученного модельного ГСК к влиянию гидратации и CO_2 воздуха определяли в

воздушной атмосфере 100% влажности. Опытные образцы ГСК в чашках Петри ставили на решетку с отверстиями в эксикатор, заполненный водой до решетки и неплотно прикрытый крышкой. Продолжительность эксперимента составляла от 60 до 120 сут.

Контролем устойчивости исследуемых объектов является определение влажности и количества CaCO_3 (%) в образце ГСК. Влажность образцов рассчитывали по формуле:

$$W = \frac{g_1 - g_2}{g_1} \times 100\%, \quad (1)$$

где g_1 и g_2 – вес навесок, соответственно, до и после высушивания при 105–120°C [8].

Карбонаты (в пересчете на сухую навеску) количественно определяли газообъемным методом, основанным на измерении объема газа, выделенного из навески твердого вещества [9].

Рентгенограммы осадков снимали на автоматическом дифрактометре D8 ADVANCE с вращением образца в CuK_α -излучении. Рентгенофазовый анализ проводили с использованием программы поиска EVA с банком порошковых данных PDF-2.

Удельную поверхность образцов определяли методом низкотемпературной адсорбции азота с использованием прибора “Сорбтометр-М”.

Опыты по сорбции проводили в статических условиях при 20°C из водных растворов хлорида кобальта $\text{CoCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ при перемешивании на лабораторном встряхивателе типа 358 S (Польша) (частота встряхивания 200 циклов/мин) в течение 1 ч. Растворы хлорида кобальта заданной концентрации готовили растворением точной навески $\text{CoCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ квалификации “х. ч.” в дистиллированной воде.

Для исследования сорбционных свойств модельного ГСК в серию пробирок помещали навески сорбента по 0.05 г, заливали их 50 мл водного раствора хлорида кобальта с начальными концентрациями от 0.34×10^{-2} до 0.17 ммоль л^{-1} и встряхивали в течение 1 ч. В качестве контрольного опыта навеску сорбента помещали в сосуд с дистиллированной водой и перемешивали параллельно с исследуемыми пробами. Кроме того, при вышеуказанных условиях параллельно проводили опыты с кальцитом CaCO_3 (реактив

квалификации “ч.”) и диоксидом кремния $\text{SiO}_2 \cdot n\text{H}_2\text{O}$ (реактив квалификации “ч. д. а.”). Затем растворы отделяли от сорбентов фильтрованием и определяли в них концентрацию ионов Co^{2+} .

Сорбционную емкость (A_c , ммоль г^{-1}) исследуемых образцов рассчитывали по формуле:

$$A_c = \frac{C_{\text{исх}} - C_p}{m} V, \quad (2)$$

где $C_{\text{исх}}$ – исходная концентрация ионов кобальта в растворе, ммоль л^{-1} ; C_p – равновесная концентрация ионов кобальта в растворе, ммоль л^{-1} ; V – объем раствора, л; m – масса сорбента, г.

Влияние pH на сорбционные свойства исследуемых образцов определяли по изменению степени извлечения ионов кобальта из растворов с контролируемыми значениями pH. Необходимую величину pH растворов создавали путём добавления 0.1 н. раствора NaOH или HCl.

Степень извлечения ионов Co^{2+} (α , %) рассчитывали по формуле:

$$\alpha = \frac{C_{\text{исх}} - C_p}{C_{\text{исх}}} \times 100\%. \quad (3)$$

Содержание ионов кобальта в растворах определяли методом атомно-абсорбционной спектроскопии (ААС, спектрометр Solaar 6 M) по аналитической линии 240.7 нм. Предел обнаружения кобальта в водных растворах составляет 0.15 мкг мл^{-1} , относительная ошибка определения кобальта в диапазоне концентраций 0.001 – 1.0 мкг мл^{-1} и 1.0 – 10 мкг мл^{-1} составляет 25 и 10% соответственно.

Концентрацию ионов водорода во всех опытах контролировали с помощью pH-метра/иономера “Мультитест ИПЛ – 102” со стеклянным электродом ЭСК – 10601/7, стандартизированным по буферным растворам.

Спектры комбинационного рассеивания (КР) образцов снимали на Раман-Фурье спектрометре BRUKER RFS 100/S с ND:Yag лазером (длина волны 1064 нм) при мощности излучения 100 мВт с разрешением частот колебаний 0.2 см^{-1} .

Изучение морфологических характеристик образцов проводили с помощью сканирующего электронного микроскопа (СЭМ) EV0-50XVP, оснащённого рентгеновской энергодисперсионной системой INCA Energy – 350 (“LEO”, Германия).

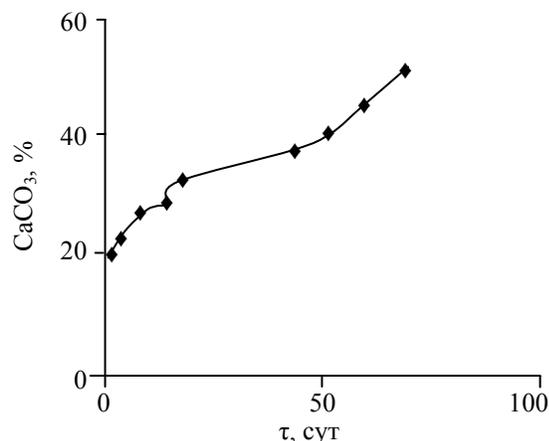


Рис. 1. Зависимость содержания (%) карбоната кальция в образце модельного ГСК от времени его экспозиции на воздухе во влажной атмосфере.

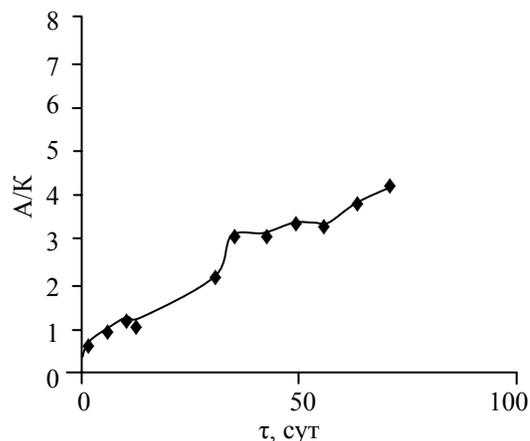


Рис. 2. Зависимость отношения интенсивности пиков формируемых фаз арагонита (А) и кальцита (К) в модельном ГСК от времени τ.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Согласно данным рентгенофазового анализа, синтезированный в системе $\text{CaCl}_2\text{-Na}_2\text{SiO}_3\text{-H}_2\text{O}$ силикат кальция является рентгеноаморфным, но в составе образца обнаружена кристаллическая фаза карбоната кальция в модификации кальцита. Удельная поверхность полученного образца – $108.6 \text{ м}^2 \text{ г}^{-1}$. Основным фактором образования CaCO_3 является карбонизация гидроксида кальция, который, в свою очередь, образуется при взаимодействии аморфного силиката кальция с водой и растворенным в ней углекислым газом: $\text{CaO}\cdot\text{SiO}_2\cdot n\text{H}_2\text{O} + \text{CO}_2 \rightarrow \text{CaCO}_3 + \text{SiO}_2\cdot n\text{H}_2\text{O}$. Установлено, что количество CaCO_3 , определенное по методике [9], составляет порядка 30%. Следовательно, уже изначально исходный образец представляет собой композицию, в состав которой входят силикат, карбонат кальция и аморфный кремнезем. Устойчивость такой композиции к внешним факторам (влажность, температура, CO_2 воздуха) будет определять ее эксплуатационные характеристики и области применения.

На рис. 1 приведена зависимость количества (%) образующегося карбоната кальция в образце модельного ГСК, экспонируемого в вышеприведенных условиях, от продолжительности эксперимента.

Как видно из рис. 1, с увеличением продолжительности экспозиции гидросиликата кальция на воздухе во влажной атмосфере возрастает и количество CaCO_3 в образце, достигая 50% в

завершающей стадии опыта. При этом возрастает и доля гигроскопической влаги в образце: относительная влажность исходного образца (до экспозиции во влажной атмосфере, далее – сорбент I) и после выдержки во влажной атмосфере с доступом воздуха в течение 65 сут (далее – сорбент II) составляет 3.13 и 16.81%, соответственно. Следует отметить, что после выдержки ГСК во влажной атмосфере с доступом воздуха в течение 120 сут уменьшается удельная поверхность образца до $89.6 \text{ м}^2 \text{ г}^{-1}$.

В результате проведенных экспериментов установлено, что выдерживание образца ГСК в атмосфере 100% влажности с доступом CO_2 воздуха приводит к образованию наряду с фазой кальцита (К), имеющего гексагональную сингонию, фазы арагонита (А) с орторомбической конфигурацией. Как известно [10], стабильный кальцит и арагонит являются полиморфными модификациями карбоната кальция, а арагонит (плотность 2.94 г см^{-3}), в свою очередь, – твердой разновидностью кальцита (плотность 2.72 г см^{-3}).

Соотношение интенсивностей пиков на рентгенограммах различных фаз карбоната кальция при единообразном способе подготовки проб и идентичном характере их отражательной способности позволяет с некоторым приближением судить об относительной величине соотношения формируемых фаз арагонита и кальцита. На рис. 2 приведена зависимость отношения величин интенсивностей арагонита к кальциту ($I_{A/K}$) от продолжительности эксперимента.

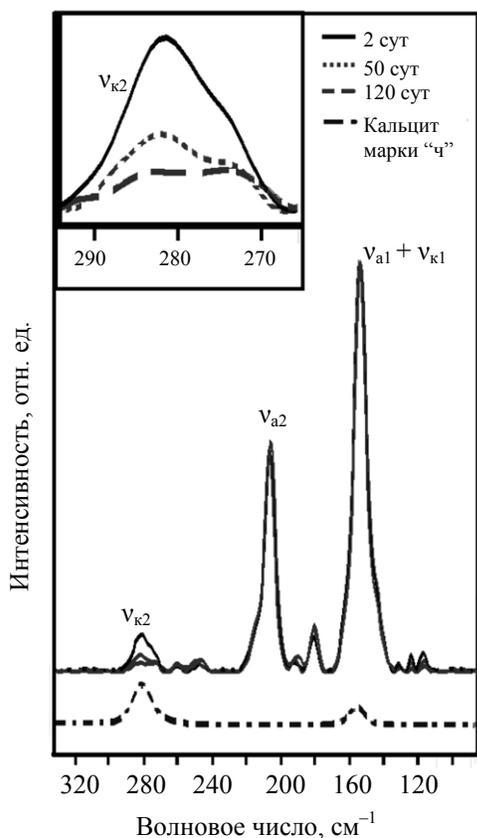


Рис. 3. Спектры КР образцов ГСК, выдержанных при различной продолжительности экспозиции во влажной атмосфере (2, 50, 120 сут), и кальцита марки “С”.

Из представленной на рис. 2 зависимости видно, что длительность опыта сказывается на увеличении доли арагонита в образце, о чем свидетельствует возрастание интенсивности арагонита и снижение интенсивности кальцита.

Наблюдаемая закономерность подтверждена методом КР спектроскопии. На рис. 3 приведена область зарегистрированных спектров КР, характерная для колебательных решеточных мод соединения CaCO_3 .

В результате анализа указанной области спектров было установлено, что в составе образцов ГСК присутствуют две полиморфные модификации CaCO_3 – кальцит и арагонит. Как было показано в работе [11], по соотношению интенсивностей пиков решеточных колебаний, характерных для различных модификаций CaCO_3 , можно судить с высокой точностью об их количественном вкладе в состав образца. Таким образом, нормировав зарегистрированные спектры КР по интенсивности пиков арагонита ν_{a1} и ν_{a2} , видно, что с увеличением времени экспозиции во влажной атмосфере интенсивность пика, характерного для решеточного колебания кальцита ν_{k2} уменьшается, что позволяет сделать вывод об уменьшении его содержания в образцах с увеличением времени.

На рис. 4 показаны СЭМ-изображения образца ГСК после выдержки во влажной атмосфере с доступом воздуха в течение 120 сут, где видно, что в составе данного образца присутствуют частицы в виде сростков игольчатых кристаллов, характерных для арагонита [12]. Встречаются и единичные кристаллы игольчатой формы. Длина игольчатых частиц варьирует от 1 до 5 мкм, а толщина – от 0.1 до 0.5 мкм. Следует отметить, что по данным сканирующей электронной микроскопии в составе исходного образца, полученного непосредственно в результате синтеза, подобные сростки игольчатых кристаллов отсутствовали.

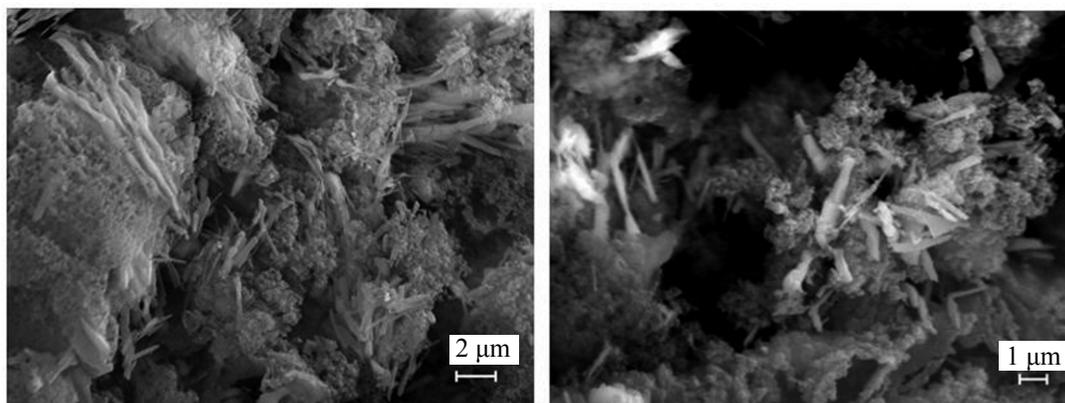


Рис. 4. СЭМ-изображения образца ГСК, выдержанного во влажной атмосфере в течение 120 сут.

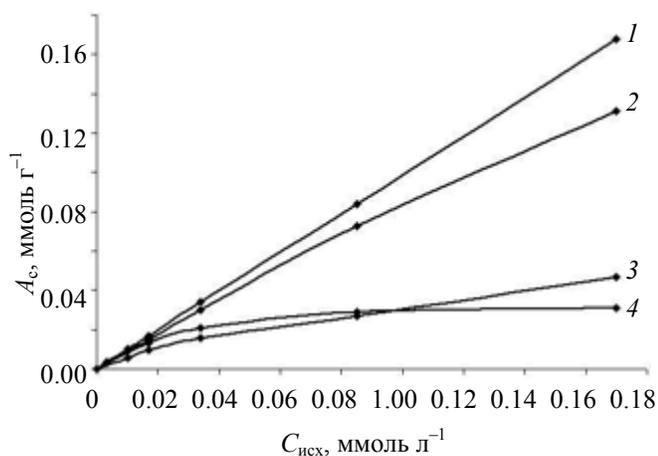


Рис. 5. Зависимости величин сорбционной емкости от исходной концентрации ионов Co^{2+} : (1) сорбент I, (2) сорбент II, (3) $CaCO_3$ (реактив квалификации “ч”), (4) $SiO_2 \cdot nH_2O$ (реактив квалификации “ч. д. а.”).

Таким образом, гидросиликат кальция, полученный в многокомпонентной системе $CaCl_2-Na_2SiO_3-H_2O$ и используемый далее в данном исследовании для сорбции ионов Co^{2+} из водных растворов, представляет собой многокомпонентную систему на основе гидросиликата и карбоната кальция, а также аморфного кремнезема. Поэтому необходимо учитывать вклад каждого компонента исследуемой системы в сорбцию ионов Co^{2+} .

На основании полученных экспериментальных данных по сорбции ионов Co^{2+} были построены зависимости величин сорбционной емкости исходного ГСК (сорбент I), ГСК после экспозиции во влажной атмосфере с доступом воздуха в течение 65 сут (сорбент II), карбоната кальция (реактив квалификации “ч.”) и диоксида кремния $SiO_2 \cdot nH_2O$ (реактив квалификации “ч. д. а.”) от исходных концентраций ионов Co^{2+} (рис. 5).

Как видно из рис. 5, различия в величинах сорбционной емкости сорбента I и сорбента II незначительны, а при концентрациях ионов Co^{2+} в растворе менее 0.02 ммоль Γ^{-1} сорбенты проявляют практически одинаковую сорбционную способность. Незначительное снижение сорбционной емкости образца ГСК после экспозиции во

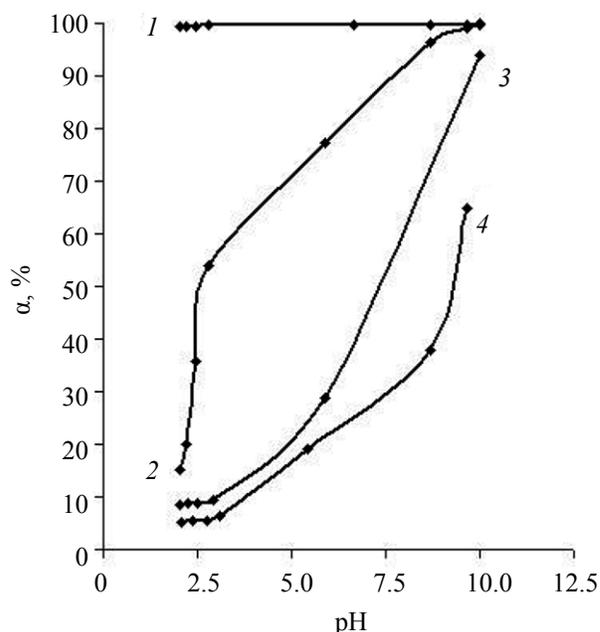


Рис. 6. Зависимости степени извлечения α ионов Co^{2+} от величины pH: (1) сорбент I, (2) сорбент II, (3) $CaCO_3$ (реактив квалификации “ч”), (4) $SiO_2 \cdot nH_2O$ (реактив квалификации “ч. д. а.”).

влажной атмосфере с доступом воздуха в течение 65 сут обусловлено образованием $CaCO_3$ и аморфного кремнезема, которые, как видно из рис. 5, тоже вносят вклад в сорбцию ионов кобальта, однако их сорбционная емкость значительно ниже, чем у ГСК.

На рис. 6 приведены зависимости степени извлечения ионов Co^{2+} исходным ГСК (сорбент I), ГСК после экспозиции во влажной атмосфере с доступом воздуха в течение 65 сут (сорбент II), карбонатом кальция (реактив квалификации “ч.”) и диоксидом кремния $SiO_2 \cdot nH_2O$ (реактив квалификации “ч. д. а.”) от величины pH. Как видно из рис. 6, для исходного ГСК не наблюдается существенных изменений в величине степени извлечения ионов Co^{2+} в широком диапазоне pH среды от 2.0 до 10.0, и α близка к 100%. Для ГСК после экспозиции во влажной атмосфере с доступом воздуха в течение 65 сут характерны существенное снижение степени извлечения кобальта в кислой области (в интервале pH от 2.0 до 2.8) и рост степени извлечения ионов Co^{2+} до 99.9% с увеличением pH среды от 5.9 до 10.0. Для карбоната кальция и диоксида кремния характерна аналогичная закономерность: в интервале pH от 2.0

до 2.8 при сорбции из раствора, содержащего 10 мкг мл⁻¹ кобальта, карбонатом кальция извлекается не более 8.5–9.0% Co²⁺, диоксидом кремния – не более 6.5%, при значениях рН от 5.9 до 10.0 происходит постепенное увеличение степени извлечения кобальта от 28.8 до 93.8 (для CaCO₃) и от 19 до 65% (для SiO₂·nH₂O).

ВЫВОДЫ

(1) Установлено, что гидросиликат кальция, полученный в модельной системе CaCl₂–Na₂SiO₃–H₂O, в процессе выдержки на воздухе и в результате взаимодействия с парами воды и поглощения CO₂ воздуха частично разлагается с образованием CaCO₃ и аморфного кремнезема. С увеличением продолжительности экспозиции гидросиликата кальция на воздухе во влажной атмосфере до 70 сут количество CaCO₃ в образце достигает 50%, при этом возрастает и доля гигроскопической влаги в образце от 3.13 до 16.81%. После выдержки ГСК во влажной атмосфере с доступом воздуха в течение 120 сут уменьшается удельная поверхность образца от 108.6 до 89.6 м² г⁻¹, что обусловлено образованием карбоната кальция

(2) Показано, что экспозиция исходных образцов, содержащих гидросиликат кальция, кальцит (до 30%) и аморфный кремнезем, в атмосфере 100% влажности с доступом воздуха в течение 60–120 сут приводит к образованию наряду с фазой кальцита, имеющего гексагональную структуру, фазы арагонита с орторомбической конфигурацией, содержание которого в образцах возрастает с увеличением времени экспозиции.

(3) При исследовании сорбционных свойств исходного образца ГСК (до экспозиции во влажной атмосфере) и образца ГСК после выдержки во влажной атмосфере с доступом воздуха в течение 65 сут по отношению к ионам Co²⁺ (в диапазоне концентраций от 0.34×10⁻² до 0.17 ммоль л⁻¹, соотношении твердой и жидкой фаз Т : Ж = 1 : 1000 и температуре 20°C) установлено, что различия в величинах их сорбционной емкости незначительны, а при концентрациях ионов Co²⁺ в растворе менее 0.02 ммоль л⁻¹ сорбенты проявляют практически одинаковую сорбционную способность. Незначительное снижение сорбционной емкости образца ГСК после экспозиции во влажной атмосфере с доступом воздуха в течение 65 сут

обусловлено образованием CaCO₃ и аморфного кремнезема, которые также вносят вклад в сорбцию ионов кобальта, однако их сорбционная емкость значительно ниже, чем у ГСК.

(4) Установлено, что для исходного ГСК не наблюдается существенных изменений в величине степени извлечения ионов Co²⁺ в широком диапазоне рН среды от 2.0 до 10.0, и α близка к 100%. Для ГСК после экспозиции во влажной атмосфере с доступом воздуха в течение 65 сут характерны существенное снижение степени извлечения кобальта в кислой области (в интервале рН от 2.0 до 2.8) и рост степени извлечения ионов Co²⁺ до 99.9% с увеличением рН среды от 5.9 до 10.0. Для карбоната кальция и диоксида кремния характерна аналогичная закономерность.

(5) Полученные данные по устойчивости аморфных образцов гидросиликата кальция в воздушной среде с повышенной влажностью и их сорбционным свойствам по отношению к ионам Co²⁺ представляют практический интерес при оценке их эксплуатационных характеристик и выборе областей применения.

Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства образования и науки Российской Федерации, по постановлению П 218, договор № 02.G25.31.0035-225 от 12 февраля 2013 г. между Открытым акционерным обществом “Дальневосточный завод “Звезда” и Министерством образования и науки Российской Федерации.

ЛИТЕРАТУРА

1. Komarneni, S., Roy, S., Roy, D.M., *Cement and Concrete Research*, 1986, vol. 16, pp. 47–58.
2. Komarneni, S., Breval, E., Roy, D.M., Roy, R., *Cement and Concrete Research*, 1988, vol. 18, pp. 204–220.
3. Coleman, N.J., Brassington, D.S., Raza, A., Mendham, A.P., *Waste Management*, 2006, vol. 26, pp. 260–267.
4. Акатьева, Л.В., *Дис. ... канд. хим. наук*, Москва, 2003.
5. Гордиенко, П.С., Ярусова, С.Б., Буланова, С.Б., Супонина, А.П., Зарубина, Н.В., Майоров, В.Ю., *Химическая технология*, 2011 Т.12, № 5, сс. 282–290.
6. Daval, D., Martinez, I., Corvisier, J., Findling, N., Goffé, B., Guyot, F., *Chemical Geology*, 2009, vol. 265, pp. 63–78.
7. Пат. 2133218 Российская Федерация, МПК⁶ С 01 В 11/12. заявл. 17.02.98 ; опубл. 20.07.99, *Бюл.* № 20.

8. Крешков, А.П., *Основы аналитической химии*, 1970, кн. 2, Москва: Химия, 1970, 456 с.
9. Алексеевский, Е.В., Гольц, Р.К., Мусакин, А.П., *Количественный анализ*, Ленинград: Госхимиздат, 1953, сс. 574–575.
10. Бердоносков, С.С., Бердоносова, Д.Г., Знаменская, И.В., *Химическая технология*, 2002 № 8, сс. 2–11.
11. Dandeu, A., Humbert, B., Carteret, C., Muhr, H., Plasari, E., Bossoutrot, J.-M., *Chem. Eng. Technol.*, 2006, vol. 29, № 2, pp. 221–225.

Effect of Hydration and Air on Sorption Properties and Phase Composition of Calcium Hydrosilicate

P. S. Gordienko^{a,b}, S. B. Yarusova^{a,b}, A. P. Suponina^a,
A. A. Yudakov^{a,c}, and I. G. Zhevtun^{a,b}

^a *Institute of Chemistry, Far-Eastern Branch, Russian Academy of Sciences,
pr. 100-letya Vladivostoka 159, Vladivostok, 690022 Russia
e-mail: yarusova_10@mail.ru*

^b *Vladivostok State University of Economy and Service,
ul. Gogolya 41, Vladivostok, 690014 Russia*

^c *Far-Eastern Federal University, ul. Sukhanova 8, Vladivostok, 690950 Russia*

Abstract—In article we present the research results of stability of amorphous calcium hydrosilicate samples in air medium with high humidity and some of their sorption characteristics obtained for low concentrations (from 0.34×10^{-2} to 0.17 mmol l^{-1}) of cobalt ions in the aqueous medium. It is shown that the adsorption capacity of calcium hydrosilicate depends on phase composition change due to the interaction with carbon dioxide to form two calcium carbonate polymorphs – calcite and aragonite, and amorphous silica.

Key words: Calcium hydrosilicate, hydration, phase composition, calcite, aragonite, sorption, cobalt ions.