Анализ результатов рентгенофазового анализа высолов, образовавшихся в результате воздействия кислотопродукции микромицетов на тяжелый бетон.

Дмитриева Ксения Геннадьевна
Магистрант,
ФГБОУ ВПО "Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет",
Россия, Санкт-Петербург
E-mail: ksyu.dmitr@gmail.com

Витченко Денис Сергеевич
Магистрант,
ФГБОУ ВПО "Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет",
Россия, Санкт-Петербург
E-mail: vitchenko.d@mail.ru

В данной статье раскрываются результаты рентгенофазового анализа кристаллов, образовавшихся на субстрате после извлечения его из растворов органических кислот и чистого субстрата. Делается вывод о полученных веществах и их влиянии на субстрат.

Ключевые слова: *микромицеты, биодеструкция, органические кислоты, тяжелый бетон.*

Поселяясь на различных строительных конструкциях, микромицеты выделяют окислительно-восстановительные и гидролитические ферменты, а также ряд органических кислот. Воздействие органических кислот на материалы, используемые в строительстве, отмечается как особо сильное и агрессивное, при этом отмечена глубокая и достаточно быстрая деструкция материалов как органических, так и неорганических.

Для проведения эксперимента выбор кислот основывался на данных результатов исследования К. В. Баринова, Д. Ю. Власов, и др., 2010 [2] и Кашников А.М., Васильев А.В., Каддо К.П., Штейман Б.И. 2011 [1], согласно которым наиболее распространенными и интенсивно выделяющимися метаболитами микромицетов являются 4 вещества — щавелевая, лимонная, янтарная и яблочная кислоты.

Эксперимент условно делился на 2 части:

1. С кислотами высокой концентрации — щавелевая –10% по массе; лимонная, яблочная, янтарная — 5% по массе. Выбор обуславливается возможностью ускорения процесса высолообразования.

2. С кислотами низкой концентрации: щавелевая — 2% по массе; лимонная, яблочная и янтарная — 1% по массе. Выбор таких концентраций обуславливается наглядностью эксперимента.

Спустя год после извлечения образцов тяжелого бетона из растворов кислот, на поверхности началось образование высолов. Однако, на некоторых образцах видимых новообразований обнаружено не было, например, при эксперименте с погружением субстрата в раствор янтарной кислоты обоих концентраций. Остальные же были отправлены для анализа на определение фазового состава имеющихся кристаллов, которое проводилось с помощью порошкового дифрактометра D2 Phaser (Bruker, Германия) на материально-технической базе Санкт-

Петербургского государственного архитектурно-строительного университета.

Для проведения более точного рентгенофазового анализа, с целью исключения минералов, входящих в структуру субстрата, в начале проводилась съемка на дифрактометре чистого образца тяжелого бетона. В результате были обнаружены следующие вещества: *Quartz* SiO_2 — в большом количестве (Рис. 1), *Anorthoclase* $(Na,K)(Si_3Al)O_8$ — существенно (Рис. 2), *Vaterit* $CaCO_3$ — мало (Рис. 3), *Phlogopite-1M* $K_{0,935}(Mg_{2,188}Fe_{0,822})(Si_{2,777}Al_{1,233}O_{10})(O_{0,446}(OH)_{1,554})$ — в большом количестве (Рис. 4), *Glaucophane* $(Na_{1,9}CaFe_{1,52}Mg_{2,04}Al_{1,44})(Si_8O_{22}(OH)_2)$ — следы (Рис. 5).

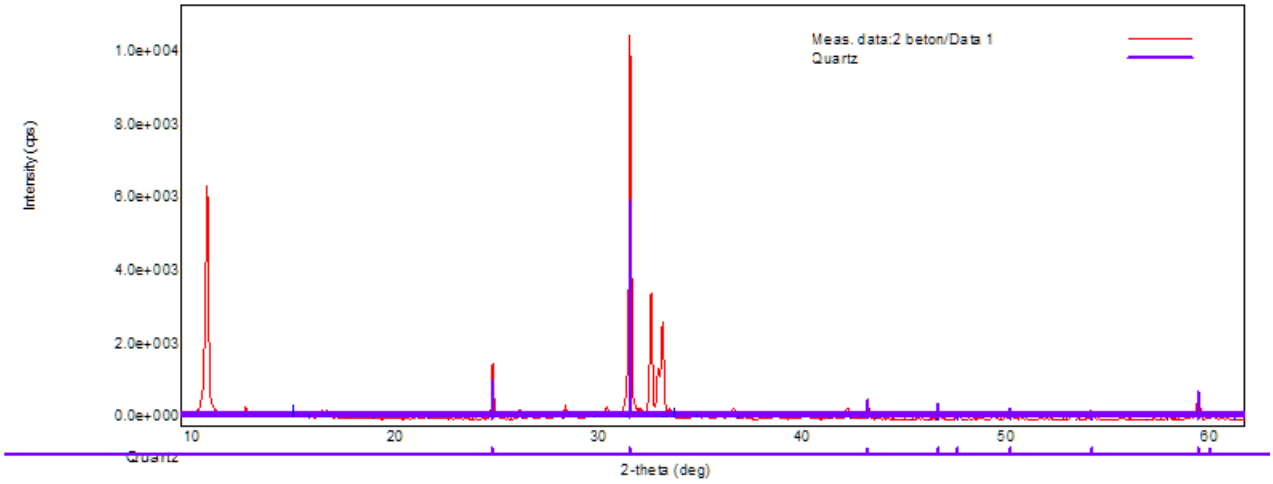

Рисунок 1 Рентгенограмма чистого субстрата. Quartz

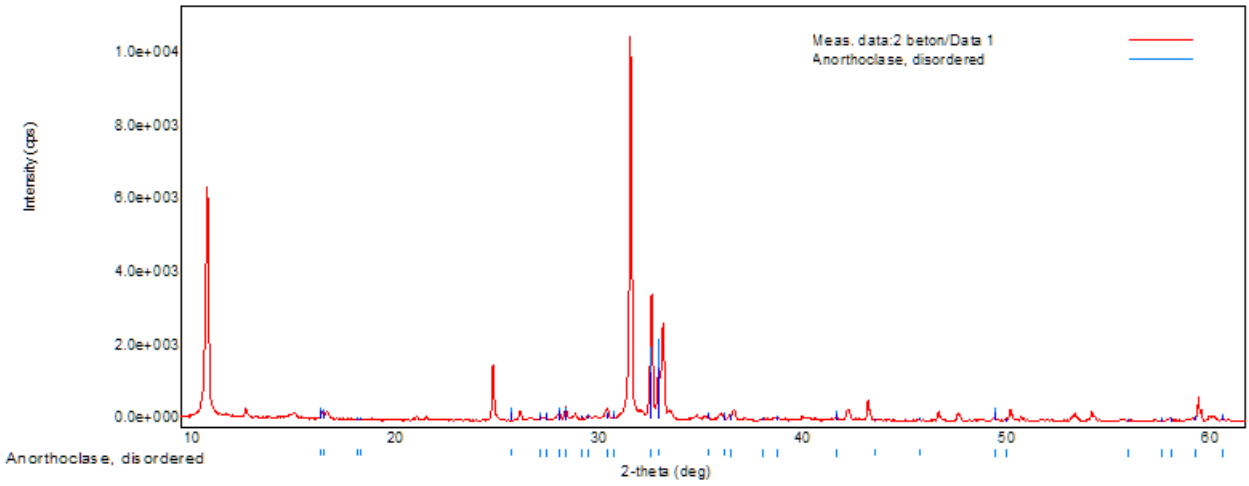

Рисунок 2 Рентгенограмма чистого субстрата. Anorthoclase

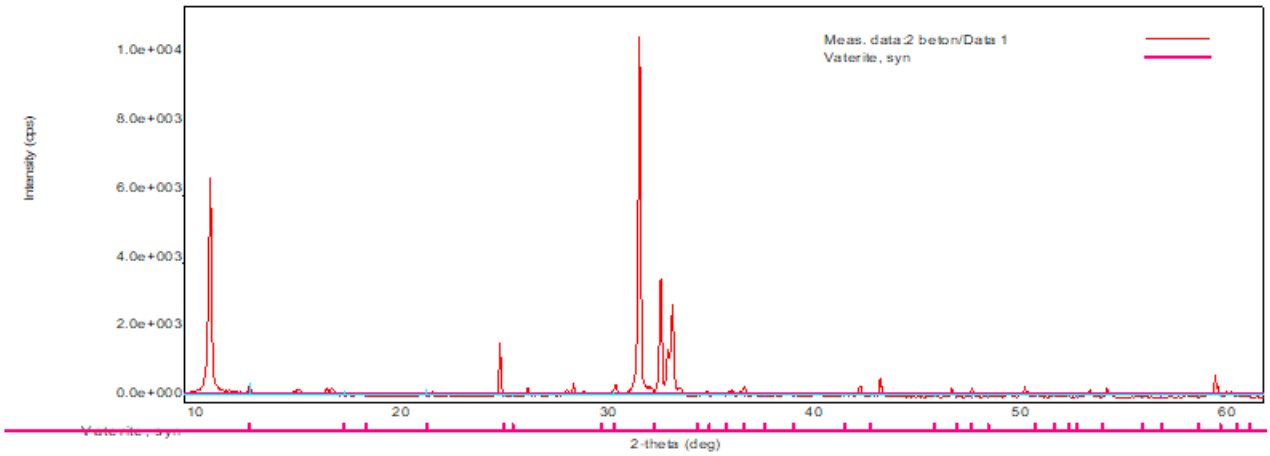

Рисунок 3 Рентгенограмма чистого субстрата. Vaterit

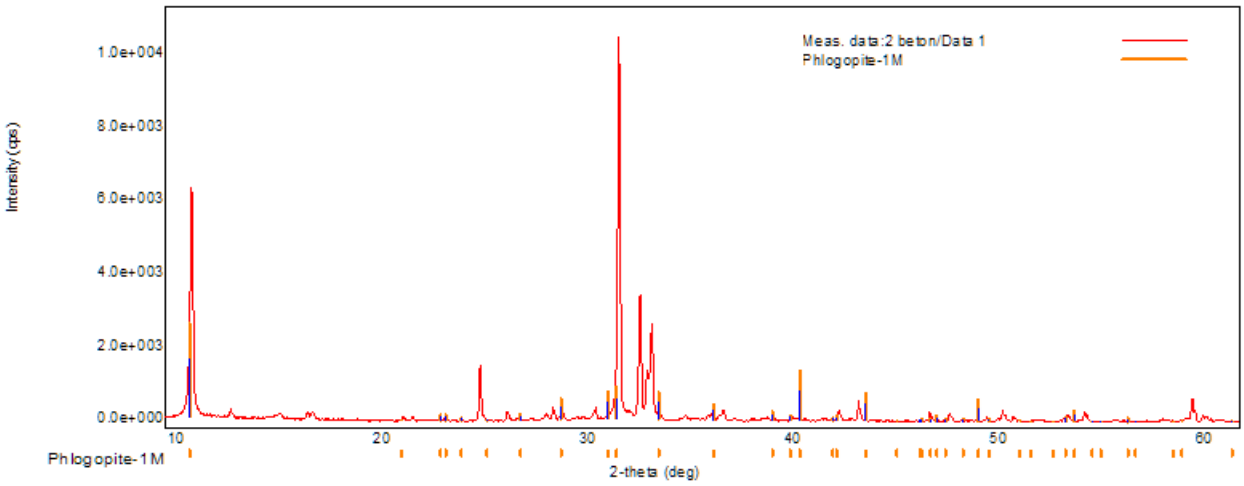

Рисунок 4 Рентгенограмма чистого субстрата. Phlogopite-1M

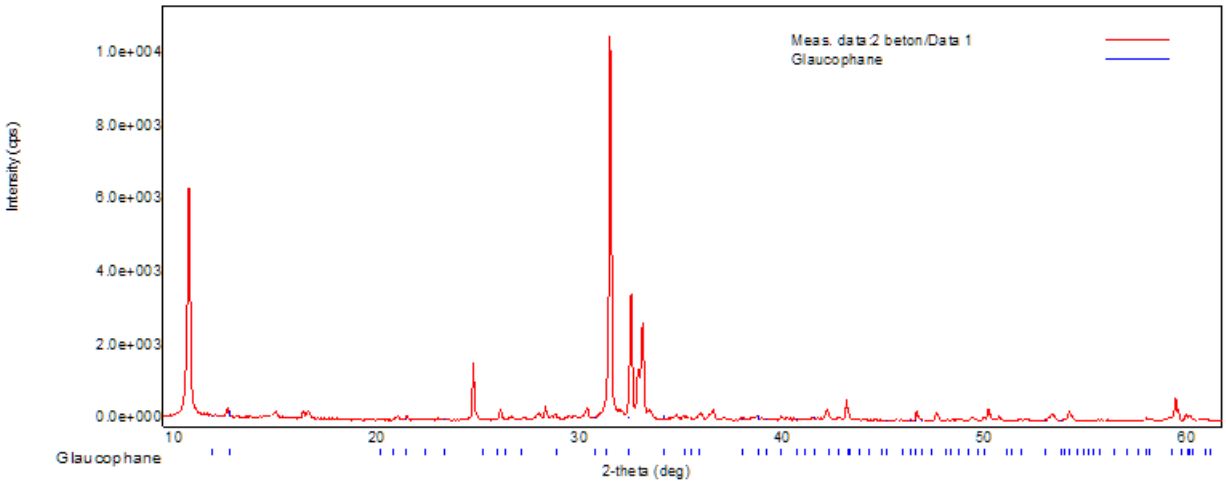

Рисунок 5 Рентгенограмма чистого субстрата. Glaucophane

В результате взаимодействия 1% раствора лимонной кислоты с субстратом (Рис. 6) в образце кристаллов (номер образца 2Б) зафиксировано образование минерала *Zeolite*. Молекулы этого минерала имеют нестабильную кристаллическую решетку, и поэтому присутствие его свидетельствует о постепенном выветривании и вымывании основных катионов металлов, входящих в состав строительного материала. Это явление происходит за счет способности молекул *Zeolite* к ионному обмену, то есть к селективному выделению и поглощению различных веществ, а также к способности обменивать катионы. Аналогичный минерал был обнаружен на образце 3Б, снятом

с субстрата после взаимодействия с 1 % раствором яблочной кислоты (Рис. 10).

В высолах, снятых с образца 2Б, также в существенном количестве были обнаружены следующие продукты взаимодействия кислоты с субстратом: *Calcium Aluminium Oxide Carbonate Hydrate* $Ca_4Al_2O_6CO_3 * 11\,H_2O$ (Рис. 8), *Piroaurite* $Mg_6Fe_2(OH)_{16}(CO_3)(H_2O)_{4,5}$ (Рис. 9), *Erlandite* $Erlandite\ Ca_3(C_6H_5O_7)_2 * H_2O$ (Рис. 7). Первые два минерала образовались путем взаимодействия с лимонной кислотой и перекристаллизацией минерала Vaterit $CaCO_3$, входящего в небольшом количестве в состав субстрата (Рис. 6), а *Erlandite* является цитратом кальция — натриевой солью лимонной кислоты. Это свидетельствует об агрессивном воздействии лимонной кислоты.

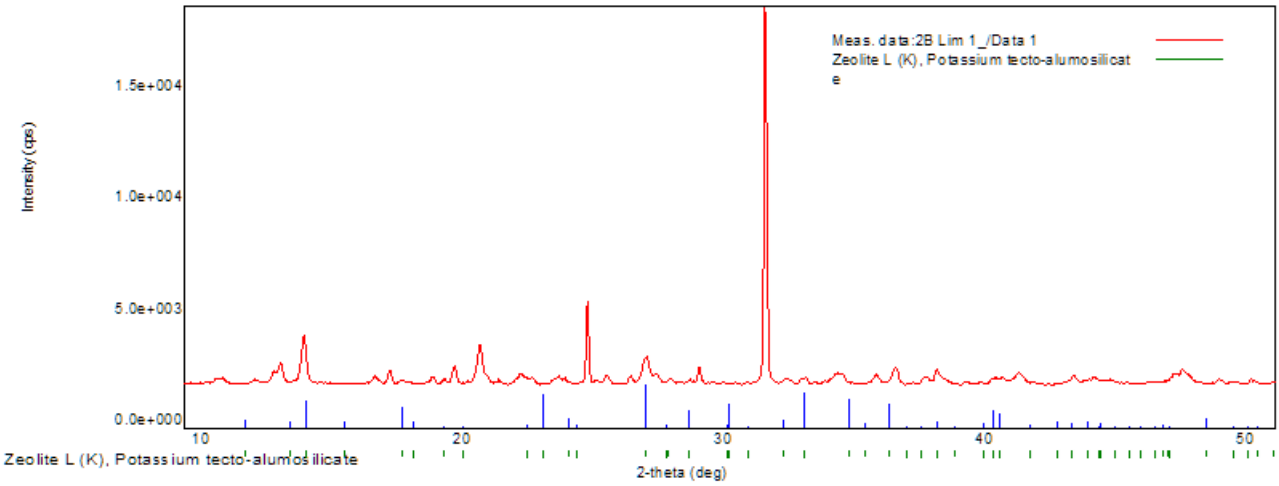

Рисунок 6 Взаимодействие с 1% раствором лимонной кислоты — образец 2Б. Zeolite L

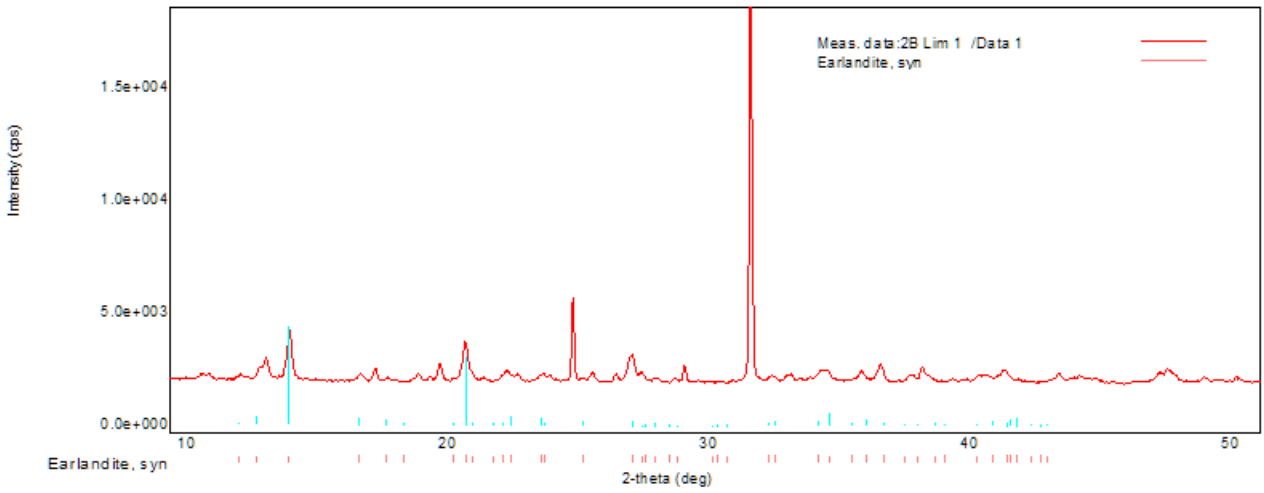

Рисунок 7 Взаимодействие с 1% раствором лимонной кислоты — образец 2Б. Erlandite

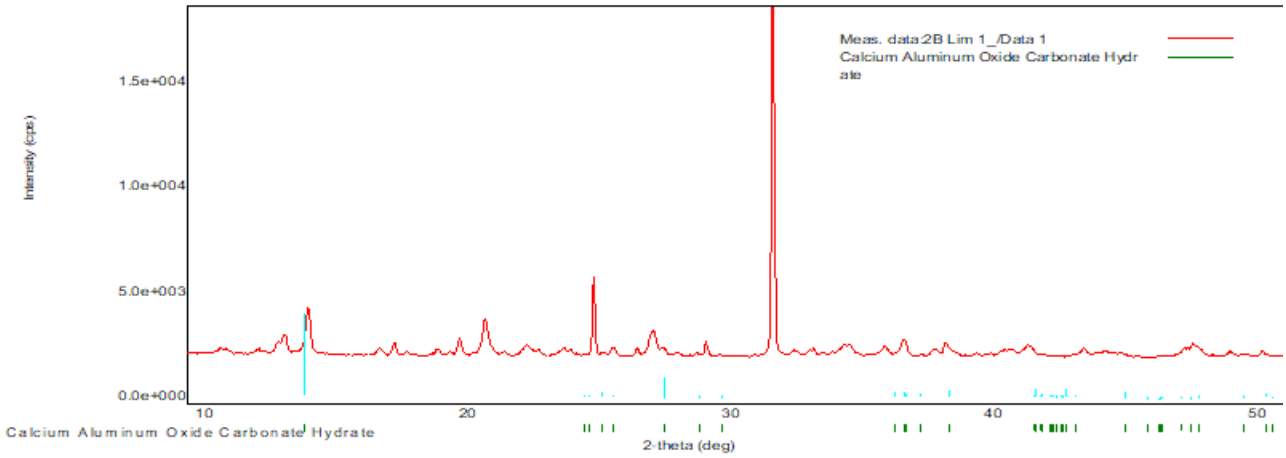

Рисунок 8 Взаимодействие с 1% лимонной кислотой — образец 2Б. Calcium Aluminium Oxide Carbonate Hydrate

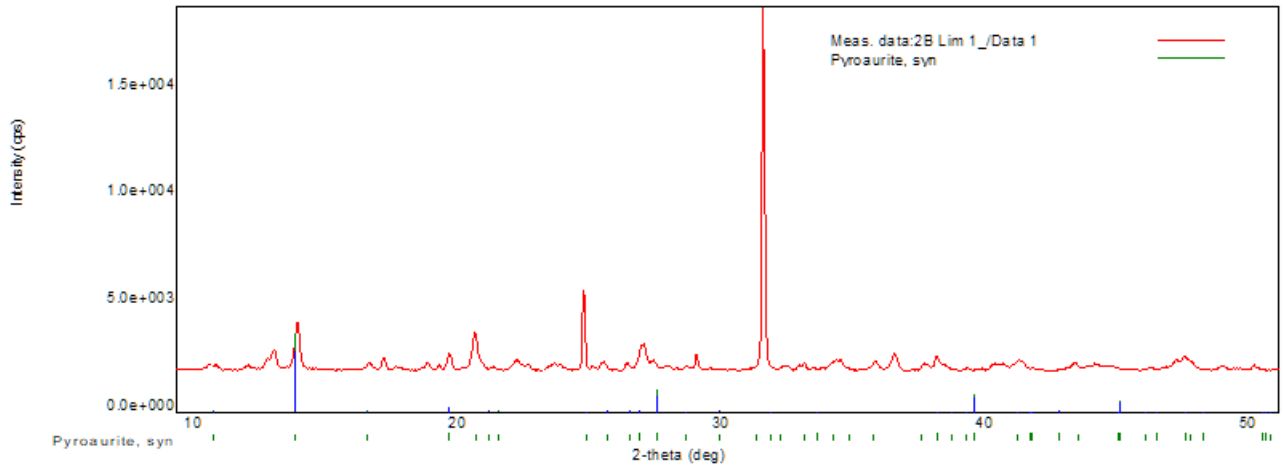

Рисунок 9 Взаимодействие с 1% лимонной кислотой — образец 2Б. Piroaurite

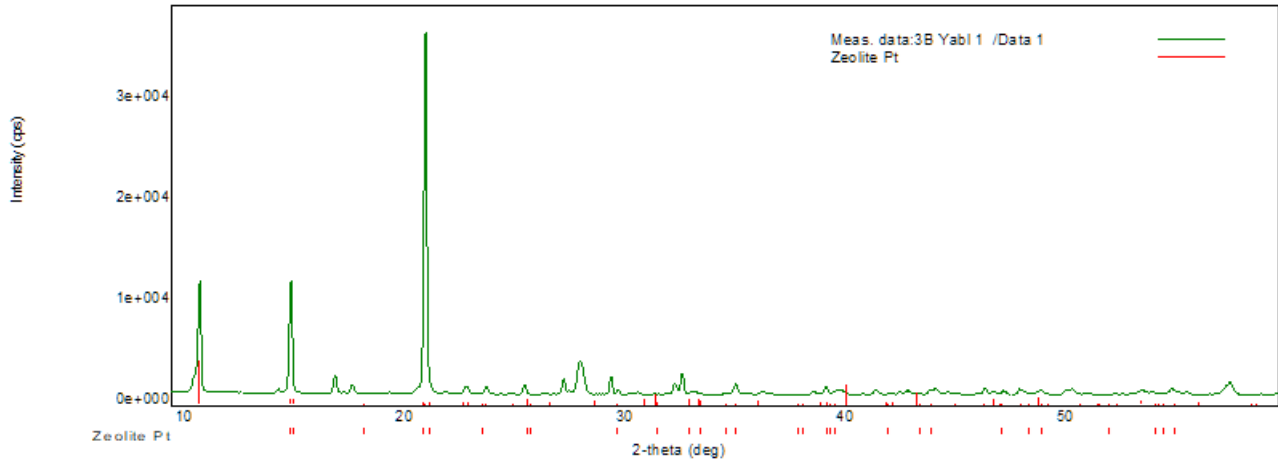

Рисунок 10 Взаимодействие с 1 % раствором яблочной кислоты — образец 3Б. Zeolite

При взаимодействии субстрата с 5% раствором яблочной кислоты на рентгенограмме обнаружен *Hydrotalcite* $((Mg_4Al_2)(OH)_{12}(CO_3)(H_2O)_3)_{0,5}$ (Рис. 11) — слюда, пластинчатый минерал, принадлежащий по классификации Международной ассоциации минералов к классу карбонатов, образовавшийся ввиду присутствия в составе субстрата минерала *Vaterit* (Рис. 3).

При расшифровке рентгенограммы образца 5Б были обнаружены следы минерала,

относящегося к органическим соединениям — *Humboldtine* $C_2Fe + 2O_2 * 2H_2O$ (Рис. 12).

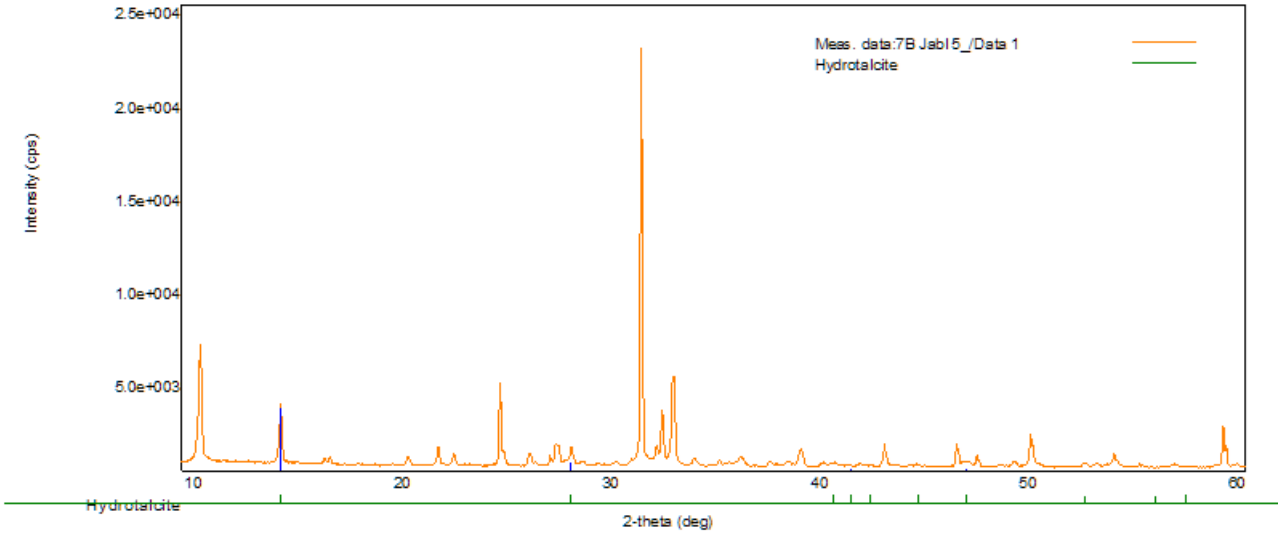

Рисунок 11 Взаимодействие с 5% раствором яблочной кислоты — образец 7Б. Hydrotalcite

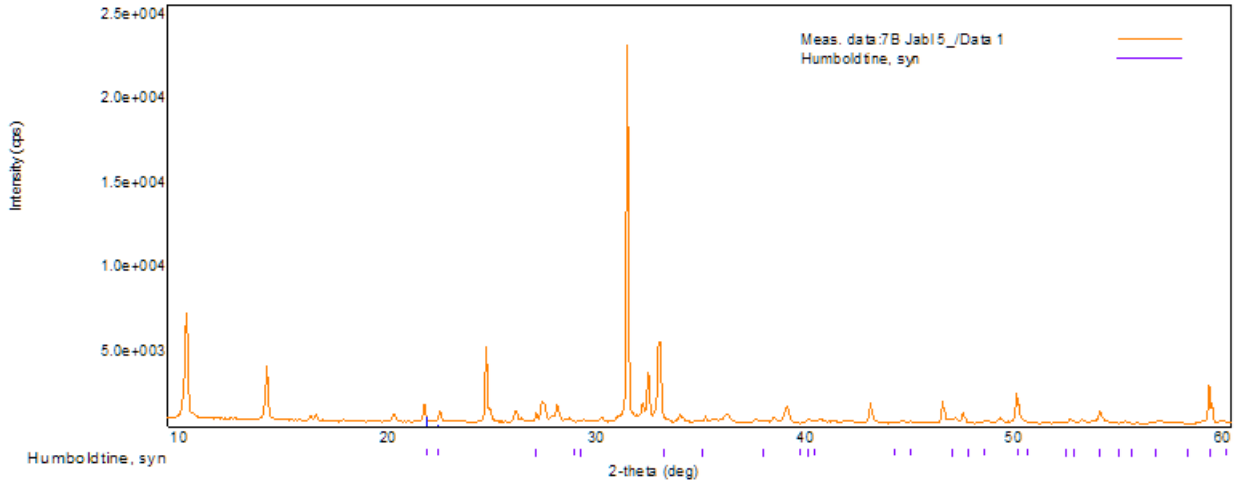

Рисунок 12 Взаимодействие с 5% раствором яблочной кислоты — образец 7Б. Humboldtine

При проведении фазового анализа образца 5Б, снятого с субстрата после взаимодействия с 10% щавелевой кислотой, был обнаружен оксалат кальция *Whewellite* (Рис. 13). В данном случае вторичная кристаллизация или взаимодействие субстрата с кислотой происходит с образованием *Whewellite*, следовательно этот минерал является продуктом реакции — прямым доказательством явления «вымывания» катионов кальция из структуры строительного материала. В таком случае, появляется доказательство агрессивного воздействия щавелевой кислоты на тяжелый бетон.

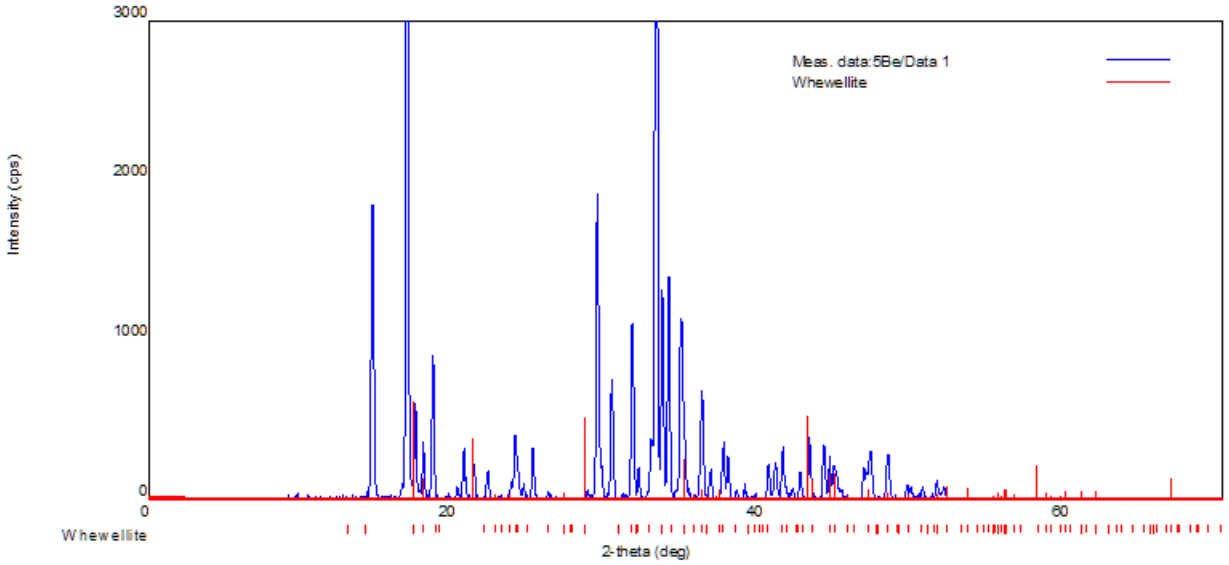

Рисунок 13 Взаимодействие субстрата с 10% щавелевой кислотой — образец 5Б. Whewellite

Литература

1. Кашников А.М., Васильев А.В., Каддо К.П., Штейман Б.И. Защита строительных материалов от биоповреждений // Журнал Технологии строительства. 2011. № 6-7 С.18-22.

2. К. В. Баринова, Д. Ю. Власов, С. М. Щипарев, М. С. Зеленская, А. В. Русаков, О. В. Франк-Каменецкая Органические кислоты микромицетов, изолированные с каменистых субстратов, 2010 // Микология и фитопатология. 2010. Т. 44. № 2. С. 137–142.