

*I.V. Burmistrov V.A., Aleksandriiskii V.V., Koifman O.I.* // Russ. J. Gen. Chem. 2015. Vol. 85. No. 4. P. 827. DOI: 10.1134/S107036321504009X.

[5] *Щелкунов С.А., Абуляисова Л.К., Матаева С.О., Сиволобова О.А., Мулдахметов З.М.* // ЖОХ. 2001. Т. 71. Вып. 7. С. 1197.; *Shchelkunov S.A., Abulyaisova L.K., Mataeva S.O., Sivolobova O.A., Muldakhmetov Z.M.* // Russ. J. Gen. Chem. 2001. Vol. 71. No. 7. P. 1130.

[6] *L.K. Abulyaissova., S.O. Kenzhetaeva, M.T. Alimbayeva., L.Ph. Dyusembayeva* // International Journal of Applied and Fundamental Research. 2013. 2. [www.science-sd.com/455-24241](http://www.science-sd.com/455-24241)

## ПРИМЕНЕНИЕ ТЕОРИИ ФРАКТАЛОВ ДЛЯ ИЗУЧЕНИЯ ПРОЦЕССА КРИСТАЛЛИЗАЦИИ ОКСАЛАТА КАЛЬЦИЯ

Киселев В.М., Голованова О.А.

«Омский государственный университет им. Ф.М. Достоевского»

644077, г. Омск, проспект Мира, д. 55-А

[golovanoa2000@mail.ru](mailto:golovanoa2000@mail.ru)

Известно, что ион кальция является распространенным макроэлементом в организме человека, сопровождающим важнейшие процессы его жизнедеятельности. Этот факт обуславливает актуальность изучения Са-содержащих биоминералов в рамках современных направлений физической химии, биологии и медицины. Несмотря на то, что 98% всего кальция организма входит в состав костной ткани человека в виде кристаллов гидроксилapatита [1], изучение прочих соединений кальция (промежуточных структур, патогенных образований и других) является важной задачей.

В работе обсуждаются результаты исследования кристаллических структур оксалатов кальция. Подходы, представленные в работе, направлены на решение актуальной задачи в области физической химии и медицины: изучение кинетики кристаллизации соединений, составляющих основу патогенных минералообразований.

При решении данной проблемы морфология рассмотрена как количественная интегральная характеристика микроструктуры объекта, коррелирующая с его фактическими размерами. Отмечено, что выбор объектов исследования определялся по принципу наибольшей распространенности соединений среди минералообразований патогенного характера. Так оксалаты кальция, представленные уэвеллитом  $\text{CaC}_2\text{O}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$  и уэдделлитом  $\text{CaC}_2\text{O}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ , являются основными компонентами камней мочеполовой системы, а также входят в состав зубных, желчных камней, и других минеральных отложений. Осаждение оксалатов проводили в слабокислой среде ( $\text{pH} = 5.5-6.5$ ) из растворов солей  $\text{CaCl}_2$  и  $(\text{NH}_4)_2\text{C}_2\text{O}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$  в условиях встречной диффузии веществ при пересыщении по оксалату кальция  $S = 5 \div 25$ . Помимо получения кристаллических порошков, в течение определенного времени с

момента начала синтеза (5-120 минут), на предметное стекло наносили реакционную смесь и высушивали для дальнейшего исследования. Создание макроснимков и наблюдение морфологических изменений высыхающих капель и осадков проводились с использованием микроскопа МБС-10 и цифровой фотокамеры «Canon» при увеличении 10х-40х.

В работе применялся алгоритм анализа фрактальной размерности [1], позволяющий выделить фрактальные структуры на снимке при наличии шумов для последующего расчета по фрактальной зависимости:

$$S = AL^D \quad (1)$$

где  $S$  и  $L$  – площадь поверхности и линейный размер изображения;  $A$  – размерный множитель,  $D$  – фрактальная размерность.

Метод основан на преобразовании исходного снимка в монохромное изображение, представленное в виде бинарной матрицы из точек, которые превышают заданный порог яркости. Для полученных образцов брусита определен порог яркости  $P = 70-90$ , являющийся оптимальным для идентификации фрактальных объектов (наличие плато на графической зависимости  $D(P)$  и минимальные отклонения от фрактального уравнения).

Для исследования кинетических характеристик и стадийности процесса кристаллизации оксалатов кальция по данным кондуктометрического анализа определялась степень полноты протекания реакции ( $\alpha$ ) и скорость осаждения как функция текущего абсолютного пересыщения по формулам (2, 3):

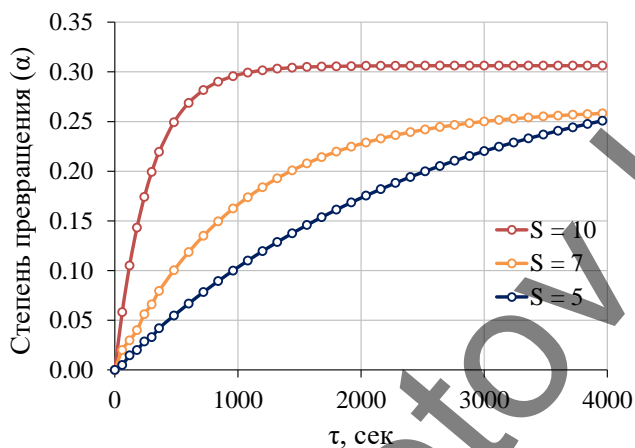
$$\alpha = \frac{C_0 - C_\tau}{C_0 - C_s}, \quad (2) \quad \frac{d\alpha}{d\tau} = f(C_\tau - C_s)^n, \quad (3)$$

где  $\alpha$  – степень превращения;  $C_0$  и  $C_\tau$  – концентрации оксалата кальция в пересыщенном растворе в начальный момент времени и в момент времени  $\tau$ , моль/л;  $C_s$  – растворимость оксалата кальция, моль/л;  $n$  – формальный порядок реакции.

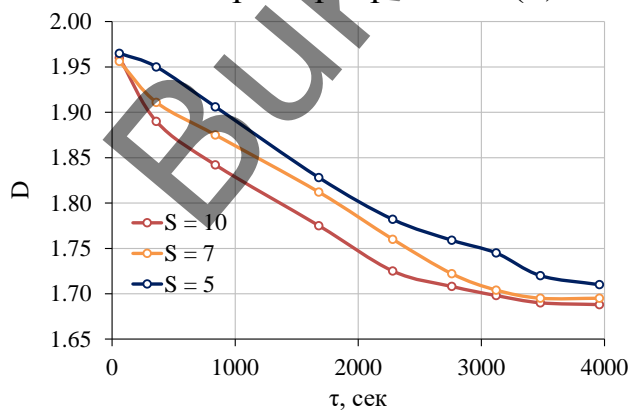
Известно, что значение степени превращения  $\alpha$  непрерывно увеличивается в течение процесса кристаллизации и выходит на плато при достижении максимума ( $\alpha = 0.25 \div 0.30$ , в зависимости от пересыщения  $S$ , рис. 1). Отмечено, что во всех исследуемых системах получено значение  $\alpha \leq 0.4$ , что обусловлено способностью оксалата кальция образовывать устойчивые пересыщенные растворы. Анализ кинетических кривых и зависимостей вида  $\lg(da/d\tau) = \lg k + n \cdot \lg(C_\tau - C_s)$ , полученных из уравнения (1), позволил выделить несколько линейных участков с различным углом наклона относительно оси абсцисс (рис. 2). Соотнесение полученного результата с литературными

данными позволило идентифицировать процессы, отвечающие прямым на графике. Изучено, что фрагмент зависимости I соответствует стадии нуклеации (образование зародышей кристаллизации), элемент II отвечает за рост образовавшихся частиц оксалата кальция без увеличения их количества, участок III описывает зависимость вторичных процессов перекристаллизации и агрегации частиц.

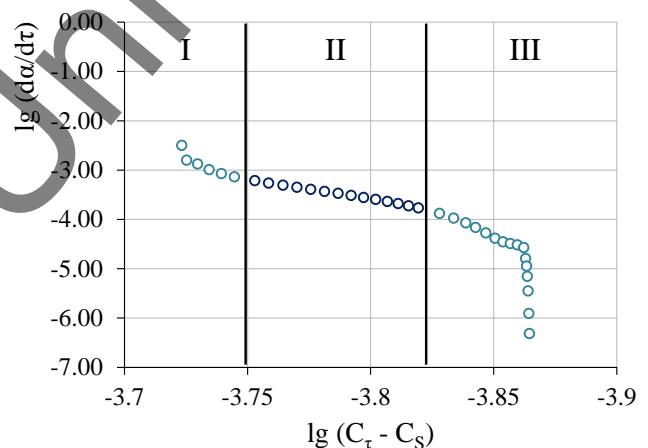
При изучении кристаллических осадков оксалата кальция методом оптической микроскопии и анализе кривых  $D(\tau)$  (рис. 3) установлена зависимость расчетных морфологических параметров образцов от фактической формы образующихся кристаллов. Период нуклеации (5-15 мин) характеризуется высокими значениями  $D$  (~1.95-1.90) ввиду образования мелких, хаотично расположенных кристаллов. По мере роста частиц в течение 1-го часа происходит снижение морфологической размерности по линейной зависимости до значения  $D \sim 1.70$ . На окончательной стадии процесса (> 60 мин) значение морфологической размерности меняется незначительно, ввиду образования осадка устойчивой формы (дипирамидальные кристаллы  $\text{CaC}_2\text{O}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$  и их агломераты).



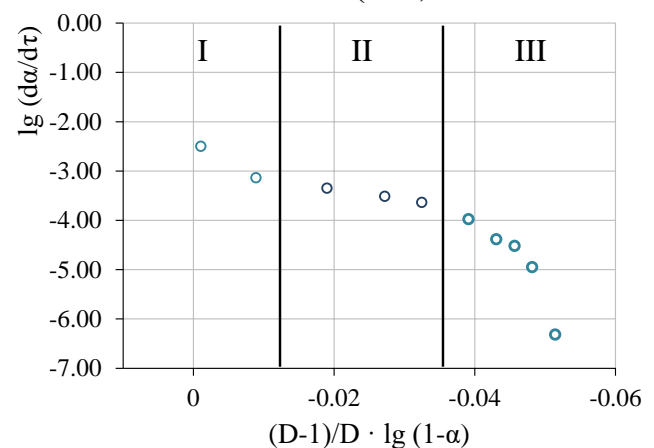
**Рис. 1.** Изменение кинетических кривых кристаллизации оксалата кальция при варьировании ( $S$ ).



**Рис. 3.** Зависимость размерности



**Рис. 2.** Определение кинетических параметров кристаллизации оксалата кальция ( $k, n$ ).



**Рис. 4.** Зависимость кинетических

структур оксалатов кальция от времени осаждения ( $\tau$ ) и пересыщения ( $S$ ). параметров кристаллизации оксалата кальция от  $D = f(\tau)$ .

Отмечено, что градиент снижения морфологической размерности  $\delta D/\delta \tau$  прямо пропорционален пересыщению  $S$ , поскольку при увеличении концентрации ионов скорость реакции кристаллизации увеличивается.

Установлено, что зависимости вида  $\lg(da/d\tau) = (D-1)/D \cdot \lg(1-\alpha)$  (рис. 10) также характеризуются наличием трех линейных участков, отвечающих стадиям процесса кристаллизации.

Работа выполнена в рамках государственного задания Министерства науки и высшего образования Российской Федерации (тема № 075-03-2023-«Фундаментальная теория кристаллизации ОМА и физико-химических методов исследования патогенного минералообразования в организме человека с целью профилактики, блокирования патогенов и создания биомиметических систем доставки лекарств»).

#### Литература

1. Kiselev, V.M. The fractal analysis method for the study of hydroxylapatite crystallization process / V.M. Kiselev, O.A. Golovanova, V.B. Fedoseev // Applied Solid State Chemistry. – 2018. – V. 3(4). – P 46-51.

УДК 577.117: 661.123

### **РАЗРАБОТКА ТЕХНОЛОГИИ ПОЛУЧЕНИЯ ВОДОРАСТВОРИМОЙ ИНКАПСУЛИРОВАННОЙ СУБСТАНЦИИ 20-ГИДРОКСИЭКДИЗОНА**

Кожанова А.М., Темиргазиев Б.С., Нышан А.К.,  
Сейдахметова Р.Б., Тулеуов Б.И., Адекенов С.М.

АО «Международный научно-производственный холдинг «Фитохимия»,  
100009, г. Караганда, Республика Казахстан,  
e-mail: info@phyto.kz

Водорастворимость и биодоступность лекарственных средств обычно являются основными и взаимосвязанными факторами при разработке новых эффективных лекарственных форм. Экдистерон или 20-гидроксиэкдизон (20E) является действующей основой фитопрепаратов «Экдистен» и «Экдифит» [1,2].

К сожалению, крайне низкая растворимость 20E в воде приводит к медленной и неполной его абсорбции в желудочно-кишечном тракте, что значительно уменьшает эффективность действия препаратов на его основе. В этой связи создание водорастворимой лекарственной формы, обладающей высокой биодоступностью, представляет собой востребованную и актуальную задачу.