

УДК 546.623÷591.272

**Маймеков З.К.**

д.т.н., профессор, зав.отделением КТУ «Манас»

**Шаршенбек к.А.,**

н.с. ИХФТ НАН КР

**Самбаева Д.А.**

д.т.н., профессор, зав.каф. КГТУ им.И.Раззакова МОН КР

**Кочкорова З.Б.**

к.х.н.,с.н.с., ИХФТ НАН КР

**Мурзубраимов Б.М.**

д.х.н., академик, зав.лаб.ИХФТ НАН КР

**ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИЕ И ТЕРМОДИНАМИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ  
КАОЛИНОВОЙ ГЛИНЫ ЧОКО-БУЛАКСКОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ ПРИ  
РАЗЛИЧНЫХ ТЕМПЕРАТУРАХ ЕЕ ДЕСТРУКЦИИ**

**ЧОКО-БУЛАК КАОЛИНДИК ТОПУРАГЫНЫН АР КАНДАЙ ТЕМПЕРАТУРАДА  
АЖЫРООСУ ЖАНА ФИЗИКА-ХИМИЯЛЫК ТЕРМОДИНАМИКАЛЫК  
МҮНӨЗДӨМӨЛӨРҮ**

**PHYSICAL-CHEMICAL AND THERMODYNAMIC CHARACTERISTICS  
OF KAOLIN CLAY OF THE CHOKO-BULAK DEPOSIT AT DIFFERENT  
TEMPERATURES DESTRUCTION**

**Аннотация.** Составлена химическая матрица необожженной каолиновой глины Чоко-Булакского месторождения и осуществлено термодинамическое моделирование ее деструкции при широких пределах изменения температуры. Рассчитаны физико-химические и термодинамические параметры многокомпонентной сложной глинистой системы. Установлено концентрационное распределение Al, Si, Fe, Ca, Mg, H, O-содержащих компонентов, активных частиц и конденсированных фаз при максимуме энтропии системы. Выявлены температурные пределы образования и превращения различных алюминий содержащих веществ.

**Ключевые слова:** каолин, глина, деструкция, оксид, гидроксид, алюминий.

**Аннотация.** Күйгүзүлбөгөн Чоко-Булак каолиндик топурагынын химиялык матрицасы түзүлүп, температуранын өзгөрүшүнүн кеңири маанисинде анын ажыроосу термодинамикалык моделдештирилди. Көп компоненттүү татаал каолиндик топурак системасынын физика-химиялык жана термодинамикалык параметрлери эсептелди. Системанын максималдуу энтропиясында: Al, Si, Fe, Ca, Mg, H, O камтыган компоненттердин, активдүү бөлүкчөлөрдүн жана конденсирленген фазалардын концентрациялык таралышы табылды. Курамында алюминийди камтыган ар түрдүү заттардын пайда болушу жана алардын өз ара айланыштарынын температуралык чектери аныкталды.

**Негизги сөздөр:** каолин, топурак, ажыроо, оксид, гидроксид, алюминий.

**Abstract.** The chemical matrix of unfired kaolin clay from the Choko-Bulak deposit was compiled and thermodynamic modeling of its destruction was carried out over a wide range of temperature changes. The physicochemical and thermodynamic parameters of a multicomponent

complex clay system were calculated. The concentration distribution of Al, Si, Fe, Ca, Mg, H, O-containing components, active particles and condensed phases at the maximum entropy of the system has been established. Temperature limits for the formation and transformation of various aluminum-containing substances have been identified.

**Keywords:** kaolin, clay, destruction, oxide, hydroxide, aluminum.

**Введение.** В последние годы активно начато изучение свойств каолина с целью установления его адсорбционных характеристик, а также использование сульфатных солей на его основе в качестве коагулянтов при очистке сточных вод. Отмечается, что использование каолина для улавливания токсичных металлов – эффективная и перспективная технология. Однако взаимодействие отдельных металлов с каолином до конца не изучено [1]. В работе [2] продемонстрировано, что эндогликаны могут быть эффективно иммобилизованы на каолине. Каолин является потенциальным коагулянтом для удаления наночастиц [3]. Реакция меди с каолином предопределяет состояние меди в окружающей среде [4]. Гуминовая кислота повышает способность адсорбции металлов минеральными поверхностями, в частности каолином. Адсорбционное и десорбционное поведение Pb(II) было исследовано на природном китайском каолине. При этом установлено, что последний демонстрирует удовлетворительные характеристики адсорбции металла из водного раствора [5,6]. В процессе прокаливания и разложения каолина обнаружено образование новой слоистой структуры и выявлено соединение метакаолина при температуре от 600 до 900°C [7]. Отмечено влияние сухого помола на морфологию и структуру частиц каолина, обработанных ацетатом калия и диметилсульфоксидом [8]. Отсутствует ясное понимание механизма адсорбции полимеров на поверхности гетерогенно заряженных частиц, таких как каолин. Установлено, что между полиэлектролитом и поверхностью частиц оксида алюминия и каолина существуют специфические взаимодействия [9, 10]. В связи с изложенным выше процесс получения глинозема из каолиновых глин всегда представляет

практический интерес. При этом обычно используется восстановительная плавка руды в присутствии известняка, а также кислотные методы [11-13]. В основе спекания руды с известняком лежит перевод глинозема в алюминат кальция, а кремнезема – в двухкальциевый силикат. При этом основным преимуществом кислотных способов перед щелочными является возможность вывода кремнезема в начале процесса [12]. Следовательно, применение кислотных способов целесообразно для переработки высококремнистого сырья. На практике используются еще кислотно-щелочные способы, состоящие из двух ветвей – кислотной и щелочной [12]. В кислотной ветви обработкой руды раствором кислоты выводится кремнезем, из раствора соли алюминия выделяется сырой оксид алюминия, загрязненный соединениями железа. Последний перерабатывается на чистый глинозем щелочным способом Байера [12].

Основное преимущество кислотно-щелочных способов перед кислотными – устранение специальной операции очистки соли алюминия от соединений железа, основной недостаток – сложность технологической схемы [12,13]. Соответственно, требуется разделение оксидов из каолина на основе различных физико-химических и термодинамических методов [14] путем осуществления химической диагностики и анализа концепций наилучших доступных технологий и зеленой химии [15].

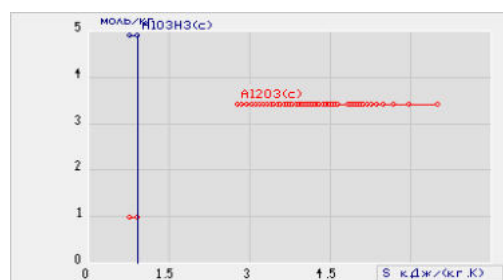
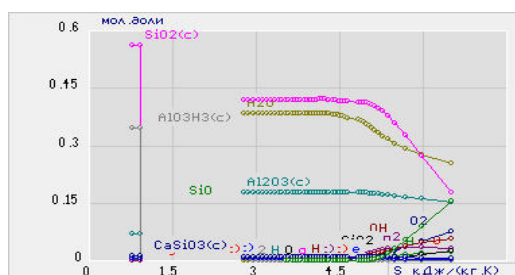
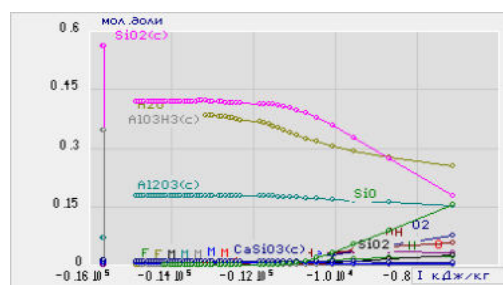
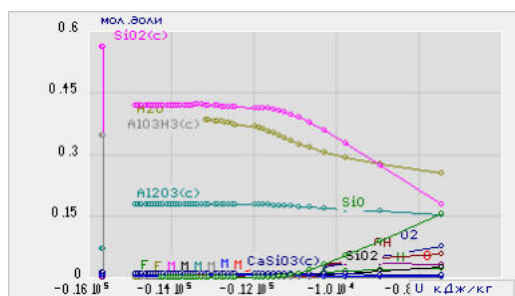
Материалы и методы исследования. Изучен химический состав необожженной каолиновой глины Чоко-Булакского месторождения [16]. С использованием химической матрицы каолиновой глины осуществлено термодинамическое моделирование многокомпонентной системы при максимуме энтропии [17,18]. Методическую

основу алгоритма расчетов составили возможность образования в равновесии газообразных, конденсированных веществ, электронейтральных и ионизированных компонентов, чистых фаз и их растворов. В расчетных экспериментах заданы фазовые и элементные составы каолиновой глины с учетом гидратной воды на 1 кг носителя (моль/кг). Температурные пределы деструкции твердой фазы изменялись в пределах от 298 до 3000К (с шагом 50, 500, 1000К) с учетом температуры плавления исходных твердых веществ (тпл.оС:  $Al_2O_3$  – 2072;  $SiO_2$  – 1710;  $Fe_2O_3$  – 1565;  $CaO$  – 2572;  $MgO$  – 2852).

**Результаты и обсуждение.** Каолиновая глина Чоко-Булакского месторождения состоит из химической матрицы (%): ( $SiO_2$  – 49.63) + ( $Al_2O_3$  – 34.87) + ( $CaO$  – 0.95) + ( $MgO$  – 0.45) + ( $Fe_2O_3$  – 0.86) + ( $H_2O$  – 13.24) [15]; состав, моль/кг: Si – 8.260; O – 34.572; Al – 6.840; Ca – 0.169; Mg – 0.112; Fe – 0.108; H – 14.699, где основная часть представляется в виде силикатной фракции. В процессе термодеструкции каолиновой глины выявлено образование различных компонентов в частицах конденсированных фаз и в газовой фазе (рис.1-3, табл.1-3). С целью установления направления процесса деструкции каоли-

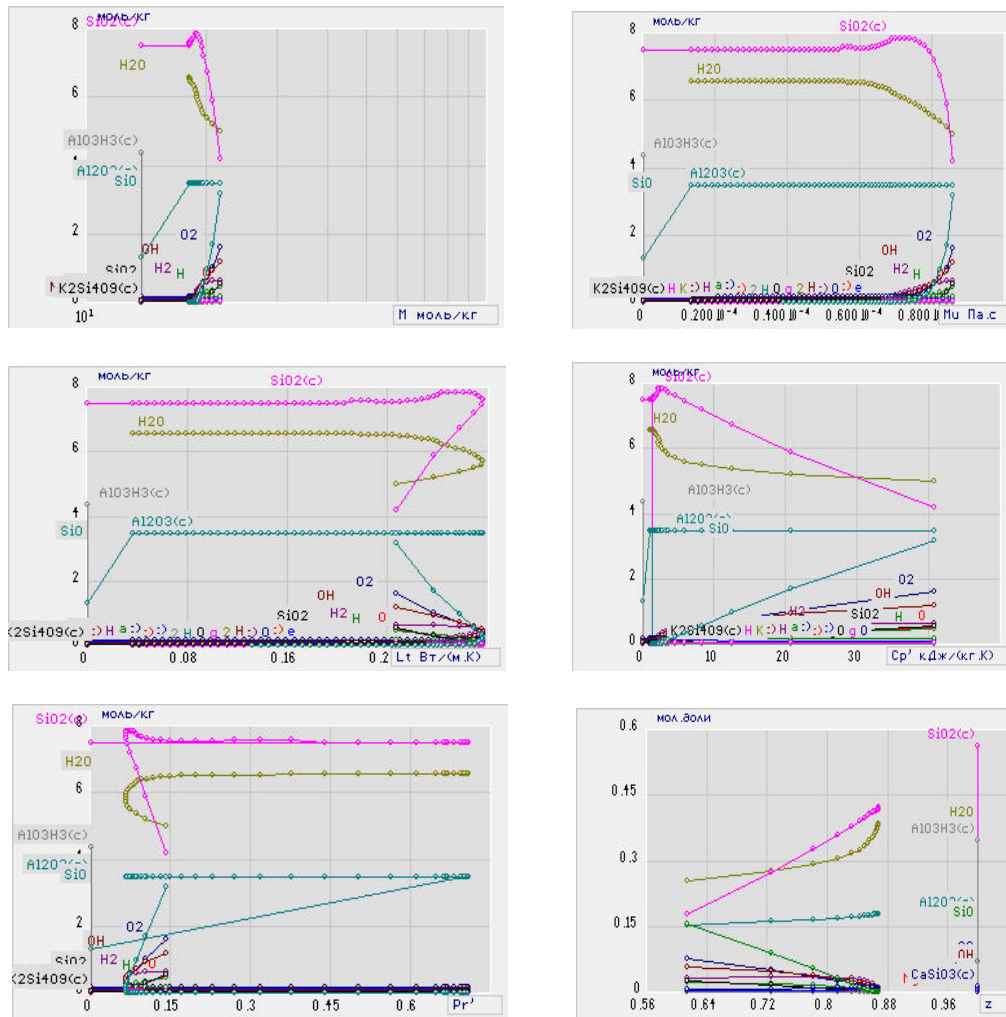
на рассчитаны термодинамические параметры (рис.1) – энтропия ( $S$ , кДж/(кг К)); энтальпия ( $I$ , кДж/кг); внутренняя энергия ( $U$ , кДж/кг) – а также установлены физико-химические характеристики системы (рис.2): динамическая вязкость ( $\mu$ , Па с); теплоемкость ( $C_p$ , кДж/(кг К)), теплопроводность ( $L_t$ , Вт/(м К)), безразмерное число Прандтля ( $Pr$ ), массовая доля конденсированных фаз ( $z$ ) в пределах изменения температуры  $T=298$ -3000 К,  $P=0,1$  МПа. Величины энтальпии и внутренней энергии ( $I$  и  $U$ ) каолиновой глины, в том числе конденсированной фазы  $Al_2O_3(c)$ , были отрицательными, что и свидетельствовало о протекании процесса деструкции исходной смеси (табл.1-3).

Термодинамические параметры ( $S$ ,  $I$ ,  $U$ ) необожженной каолиновой глины (в том числе конденсированных соединений алюминия), представленные на рис. 1, показали устойчивый характер образования конденсированных оксидов и гидроксидов алюминия в пределах 3-4 моль/кг и переход их из расплавленной твердой фазы в газовую при деструкции каолиновой глины. Такое положение наблюдалось и в зависимостях по изменению физико-химических параметров ( $M$ ,  $\mu$ ,  $L_t$ ,  $C_p$ ,  $Pr$ ,  $Z$ ) необожженной каолиновой глины, приведенных на рис.2.





**Рис.1.** Изменение термодинамических параметров (S,I,U) необожженной каолиновой глины (в том числе конденсированных соединений алюминия) Чоко-Булакского месторождения в процессе ее термодеструкции (873-973К)



**Рис.2.** Изменение физико-химических параметров (M, Mu, Lt, Cp, Pr, Z) необожженной каолиновой глины Чоко-Булакского месторождения в процессе ее термодеструкции (873-973К)

Изменение количества молей (M), динамической вязкости (Mu), теплопроводности (L), теплоемкости (Cp), и диффузионно-вязкостных характеристик (число Прандтля, Pr), а также числа конденсированных фаз (Z) в зависимости от со-

держания компонентов в глине (моль/кг) показало ступенчатый характер деструкции твердой фазы.

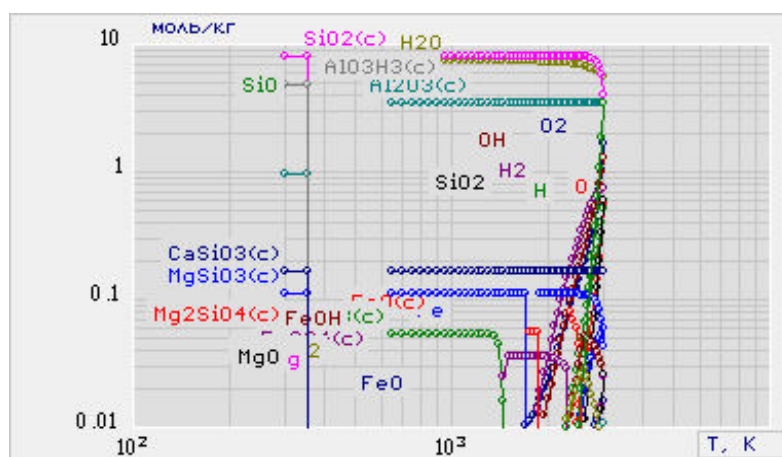
Конденсированные фазы, образованные при деструкции каолиновой глины, их превращения и переход в оксидные и

гидроксидные фракции представлены в таблицах 1 и 2. Из данных видно, что при высокотемпературной термодеструкции (2998К) каолиновая глина разлагается с образованием кислород-, водород-, кремний-, алюминий-, железо-, магний-, кальций-, натрий-, калийсодержащих компонентов и активных частиц: O, O<sub>2</sub>, H, H<sub>2</sub>, OH, HO<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>O, O<sub>3</sub>, H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>; Si, Si<sub>2</sub>, SiO, SiO<sub>2</sub>, SiH, SiH<sub>2</sub>, SiH<sub>3</sub>; Al, Al<sub>2</sub>, AlO<sub>2</sub>, Al<sub>2</sub>O, Al<sub>2</sub>O<sub>2</sub>, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, AlH, AlH<sub>2</sub>, AlOH, HAlO, HAlO<sub>2</sub>, AlO<sub>2</sub>H<sub>2</sub>, AlO, AlO<sub>3</sub>H<sub>3</sub>; Fe, FeO, FeO<sub>2</sub>, FeOH, FeO<sub>2</sub>H, FeO<sub>2</sub>H<sub>2</sub>; Mg, Mg<sub>2</sub>, MgO, MgH, MgOH, MgO<sub>2</sub>H<sub>2</sub>; CaCaO, CaH, CaOH, CaO<sub>2</sub>H<sub>2</sub>; Na,

Na<sub>2</sub>, NaO, Na<sub>2</sub>O, Na<sub>2</sub>O, NaH, NaOH, Na<sub>2</sub>O<sub>2</sub>H<sub>2</sub>; K, KO, K<sub>2</sub>O, K<sub>2</sub>O<sub>2</sub>, KH, KOH, K<sub>2</sub>O<sub>2</sub>H<sub>2</sub>, NaK; заряженных частиц типа: O<sup>-</sup>, O<sub>2</sub><sup>-</sup>, H<sup>-</sup>, OH<sup>-</sup>, HO<sub>2</sub><sup>-</sup>, H<sub>3</sub>O<sup>+</sup>, Al<sup>+</sup>, AlO<sup>-</sup>, AlO<sub>2</sub><sup>-</sup>, Fe<sup>+</sup>, Mg<sup>+</sup>, Ca<sup>+</sup>, CaO<sup>+</sup>, CaOH<sup>+</sup>, Na<sup>+</sup>, Na<sub>2</sub>O<sup>+</sup>, K<sup>+</sup>, K<sub>2</sub><sup>+</sup>, K<sub>2</sub>O<sup>+</sup> и конденсированных фаз: SiO<sub>2(c)</sub>, Al<sub>2</sub>O<sub>3(c)</sub>, MgSiO<sub>3(c)</sub>; CaSiO<sub>3(c)</sub> (рис.3). Образование оксидных и гидроксидных фракций обусловлено появлением конденсированных фаз, в частности для соединений алюминия процесс деструкции начинается от 873-973К, что полезно для осуществления кислотных разложений твердой фазы при указанных выше температурах (рис.3, табл.1).

**Таблица 1.** - Образование конденсированного оксида алюминия на основе каолиновой глины и перенос гидроксида алюминия (моль/кг) из каолиновой глины в газовую фазу

T, K	Al <sub>2</sub> O <sub>3(c)</sub>	Al(OH) <sub>3</sub>	T, K	Al <sub>2</sub> O <sub>3(c)</sub>	Al(OH) <sub>3</sub>	T, K	Al <sub>2</sub> O <sub>3(c)</sub>	Al(OH) <sub>3</sub>
298	0.970	0	1248	3.41	0.31e-11	2198	3.41	0.57e-6
348	0.970	0	1298	3.41	0.92e-11	2248	3.41	0.81e-6
648	3.41	0	1598	3.41	0.14e-8	2548	3.41	0.35e-5
698	3.41	0	1648	3.41	0.28e-8	2598	3.4199	0.43e-5
748	3.41	0.24e-19	1698	3.41	0.53e-8	2648	3.4198	0.51e-5
798	3.41	0.44e-18	1748	3.41	0.97e-8	2698	3.4198	0.60e-5
848	3.41	0.58e-17	1798	3.41	0.16e-7	2748	3.4197	0.69e-5
898	3.41	0.57e-16	1848	3.41	0.28e-7	2798	3.4196	0.79e-5
948	3.41	0.44e-15	1898	3.41	0.47e-7	2848	3.4194	0.88e-5
998	3.41	0.28e-14	1948	3.41	0.76e-7	2898	3.4191	0.96e-5
1048	3.41	0.14e-13	1998	3.41	0.11e-6	2948	3.4187	0.10e-4
1098	3.41	0.68e-13	2048	3.41	0.18e-6	2998	3.4178	0.10e-4



**Рис.3.** Концентрационное распределение конденсированных фаз и частиц при деструкции необожженной каолиновой глины в зависимости от температуры



Из таблицы 1 видно, что содержание конденсированного вещества ( $Al_2O_{3(c)}$ ) стабильно при широких пределах изменения температуры разложения каолиновой глины и составляет 3,42 моль/кг. Содержание остальных конденсированных веществ подробно приведено в табл.3.

Из полученных результатов видно, что при термодеструкции каолиновой глины образуются различные алюминий-содержащие компоненты и частицы (моль/

кг):  $Al = 0.5107e-4$ ;  $Al_2 = 0.1958e-11$ ;  $AlO_2 = 0.1009e-3$ ;  $Al_2O = 0.4226e-5$ ;  $Al_2O_2 = 0.4042e-5$ ;  $Al_2O_3(c) = 3.4178$ ;  $Al_2O_3 = 0.2931e-6$ ;  $AlH = 0.1144e-5$ ;  $AlH_2 = 0.1325e-8$ ;  $AlOH = 0.00182$ ;  $HAIO = 0.1698e-6$ ;  $HAIO_2 = 0.2670e-3$ ;  $AlO_2H_2 = 0.4329e-3$ ;  $AlO_3H_3 = 0.1001e-4$ . Соединение метакаолинита ( $Al_2Si_2O_7$ ) и муллита ( $3Al_2O_3 \cdot 2SiO_2$ ) не обнаружены. Отмечено, что в процессе термодеструкции химически связанная вода из состава каолинита удаляется незначительно.

**Таблица 3.** - Концентрационное распределение компонентов, активных частиц и конденсированных фаз, образующихся при деструкции необожженной каолиновой глины Чоко-Булакского месторождения (равновесные концентрации, моль/кг) при  $P=0.1$  МПа).

<b>T=298 K</b>			
$SiO_{2(c)} = 7.97$	$Al_2O_{3(c)} = 0.97$	$AlO_3H_{3(c)} = 4.89$	$Fe_2O_{3(c)} = 0.05$
$Fe_3O_{4(c)} = 0.56e-4$	$MgSiO_{3(c)} = 0.11$	$CaSiO_{3(c)} = 0.16$	-
<b>T=748 K</b>			
$H_2 = 0.72e-6$	$OH = 0.11e-11$	$H_2O = 7.34$	$SiO_{2(c)} = 7.97$
$Al_2O_{3(c)} = 3.41$	$Fe_2O_{3(c)} = 0.05$	$MgSiO_{3(c)} = 0.11$	$CaSiO_{3(c)} = 0.16$
<b>T=948 K</b>			
$O_2 = 0.12e-6$	$H = 0.14e-11$	$H_2 = 0.97e-6$	$OH = 0.15e-7$
$H_2O = 7.34$	$H_2O_2 = 0.13e-11$	$SiO_{2(c)} = 7.97$	$Al_2O_{3(c)} = 3.41$
$Fe_2O_{3(c)} = 0.05$	$FeO_2H_2 = 0.17-10$	$MgSiO_{3(c)} = 0.11$	$CaSiO_{3(c)} = 0.16$
<b>T=1298 K</b>			
$O = 0.42e-8$	$O_2 = 0.84e-4$	$H = 0.39e-7$	$H_2 = 0.18e-3$
$OH = 0.20e-4$	$HO_2 = 0.71e-9$	$H_2O = 7.34$	$H_2O_2 = 0.13e-8$
$SiO_{2(c)} = 7.97$	$Al_2O_{3(c)} = 3.41$	$AlO_3H_3 = 0.92e-11$	$Fe_2O_{3(c)} = 0.05$
$FeOH = 0.11e-8$	$FeO_2H_2 = 0.39e-6$	$MgO_2H_2 = 0.10e-8$	$MgSiO_{3(c)} = 0.11$
$CaO_2H_2 = 0.51e-10$	$CaSiO_{3(c)} = 0.16$	-	-
<b>T=2998 K</b>			
$O = 0.56$	$O_2 = 1.69$	$H = 0.51$	$H_2 = 0.73$
$OH = 1.30$	$HO_2 = 0.86e-3$	$H_2O = 5.66$	$H_2O_2 = 0.33e-4$
$Si = 0.65e-5$	$Si_2 = 0.43e-11$	$SiO_{2(c)} = 4.0$	$SiO_2 = 0.60$
$SiH = 0.29e-6$	$SiH_2 = 0.14e-7$	$SiH_3 = 0.58e-11$	$Al = 0.51e-4$
$Al_2 = 0.19e-11$	$AlO_2 = 0.10e-3$	$Al_2O = 0.42e-5$	$Al_2O_2 = 0.4e-5$
$Al_2O_{3(c)} = 3.41$	$Al_2O_3 = 0.29e-6$	$AlH = 0.11e-5$	$AlH_2 = 0.13e-8$
$AlOH = 0.001$	$HAIO = 0.16e-6$	$HAIO_2 = 0.26e-3$	$AlO_2H_2 = 0.4e-3$
$AlO_3H_3 = 0.10e-4$	$Fe = 0.05$	$FeO = 0.01$	$FeO_2 = 0.5e-3$
$FeOH = 0.025$	$FeO_2H = 0.61e-5$	$FeO_2H_2 = 0.005$	$O_3 = 0.40e-8$
$Mg = 0.02$	$Mg_2 = 0.22e-8$	$MgO = 0.02$	$MgH = 0.11e-4$
$MgOH = 0.01$	$MgO_2H_2 = 0.007$	$MgSiO_{3(c)} = 0.04$	$Ca = 0.39e-4$
$CaO = 0.32e-4$	$CaH = 0.91e-7$	$CaOH = 0.19e-3$	$CaO_2H_2 = 0.9e-3$
$CaSiO_{3(c)} = 0.16$	$O^- = 0.57e-6$	$O_2^+ = 0.15e-11$	$O_2^- = 0.10e-6$
$H^- = 0.25e-7$	$OH^- = 0.20e-5$	$HO_2^- = 0.23e-8$	$H_2O^+ = 0.16e-11$
$H_3O^+ = 0.20e-9$	$Si^+ = 0.15e-10$	$Al^+ = 0.14e-6$	$AlO^- = 0.17e-5$
$AlO_2^- = 0.36e-6$	$Fe^+ = 0.10e-5$	$Mg^+ = 0.13e-5$	$Ca^+ = 0.78e-6$
$CaO^+ = 0.41e-6$	$CaOH^+ = 0.26e-4$	$AlO = 0.001$	$SiO = 3.44$

### Выводы

Осуществлено термодинамическое моделирование процесса термодеструкции необожженной каолиновой глины, состоящей из оксидов кремния, алюминия, железа, кальция, и магния, а также воды. Рассчитаны физико-химические и термодинамические параметры системы. Установлено концентрационное распределение компонентов в частицах конденсированных фаз и в газовой фазе.

Отмечено образование конденсированных фаз типа:  $\text{SiO}_{2(c)}$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_{3(c)}$ ,  $\text{MgSiO}_{3(c)}$ ,  $\text{CaSiO}_{3(c)}$ . При термодеструкции каолиновой глины образуются различные алюминийсодержащие компоненты и частицы; в продуктах труднорастворимые соединения метакаолинита ( $\text{Al}_2\text{Si}_2\text{O}_7$ ) и муллита ( $3\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2$ ) не обнаружены. Стабильное содержание оксида и гидроксида алюминия отмечено в пределах изменения температуры деструкции каолина от 873К до 973К.

### Литература

1. Liu, C., Huang, Y., Wang, X., Zhu, Z., Yu, M., Bu, C., & Zhang, J. Interactions of PbCl<sub>2</sub> capture and CdCl<sub>2</sub> capture by kaolin in the high-temperature PbCl<sub>2</sub>-CdCl<sub>2</sub>-Kaolin reaction system. *Fuel*, 2021, 286, 119346. doi:10.1016/j.fuel.2020.119346
2. De Souza Lima, J., Boemo, A. P. S. I., de Araújo, P. H. H., & de Oliveira, D. Immobilization of endoglucanase on kaolin by adsorption and covalent bonding. *Bioprocess and Biosystems Eng.* 2021, doi:10.1007/s00449-021-02545-3
3. Wang, H., Dong, Y., Zhu, M., Li, X., Keller, A. A., Wang, T., & Li, F. Heteroaggregation of engineered nanoparticles and kaolin clays in aqueous environments. *Water Research*, 2015, 80, 130–138. doi:10.1016/j.watres.2015.05.023
4. Wang, S., Nan, Z., Li, Y., & Zhao, Z. The chemical bonding of copper ions on kaolin from Suzhou, China. *Desalination*, 2009, 249(3), 991–995. doi:10.1016/j.desal.2009.09.017
5. Arias, M., Barral, M. T., & Mejuto, J. C. Enhancement of copper and cadmium adsorption on kaolin by the presence of humic acids. *Chemosphere*, 2002, 48(10), 1081–1088. doi:10.1016/s0045-6535(02)00169-8
6. Tang, Q., Tang, X., Li, Z., Chen, Y., Kou, N., & Sun, Z. Adsorption and desorption behaviour of Pb(II) on a natural kaolin: equilibrium, kinetic and thermodynamic studies. *Journal of Chemical Technology & Biotechnology*, 2009, 84(9), 1371–1380. doi:10.1002/jctb.2192
7. Wang, H., Li, C., Peng, Z., & Zhang, S. Characterization and thermal behavior of kaolin. *Journal of Thermal Analysis and Calorimetry*, 2011, 105(1), 157–160. doi:10.1007/s10973-011-1385-0
8. Shahverdi-Shahraki, K., Ghosh, T., Mahajan, K., Aji, A., & Carreau, P. J. Effect of dry grinding on chemically modified kaolin. *Applied Clay Science*, 2015, 105-106, 100–106. doi:10.1016/j.clay.2014.12.026
9. Zaman, A. A., Tsuchiya, R., & Moudgil, B. M. Adsorption of a Low-Molecular-Weight Polyacrylic Acid on Silica, Alumina, and Kaolin. *Journal of Colloid and Interface Science*, 2002, 256(1), 73–78. doi:10.1006/jcis.2001.7941
10. Yanik, G. Mineralogical, crystallographic and technological characteristics of Yaylayolu kaolin (Kütahya, Turkey). *Clay Minerals*, 2011, 46(03), 397–410. doi:10.1180/claymin.2011.046.3.397
11. Кенжаев М.Э., Исламова М.Ш., Мирзакулов Х.Ч. Исследование влияния процесса прокаливания на извлечение окиси алюминия из ангренских каолинов-Universum: технические науки- электрон. науч.журн. 2017, №4(37)
12. Лайнер Ю. А. «Комплексная переработка алюминийсодержащего сырья кислотными методами». Москва: Наука, 1982. – 208 с.
13. Панов А.А. «Состояние и перспективы развития кислотных способов получения глинозема». Материалы международной конференции «Цветные металлы – 2012». Красноярск, 2012. – С. 272-277.