

УДК 546.553.611.5. 54.05. 546-32

Калыкова Гулзада Сатывалдыевна,
*аспирант Ошского государственного университета
преподаватель Научно – исследовательского
медико – социального института*

Калыкова Гулзада Сатывалдыевна,
*Ош мамлекеттик университетинин аспиранты,
Медициналык-социалдык илимий – изилдөө
институтунун окутуучусу*

Kalykova Gulzada Satyvaldievna,
*postgraduate student of Osh State University
teacher of Scientific research medical social institute*

Абдуллаева Майрам Дукуевна,
*доктор технических наук, профессор
Ошского государственного университета*

Абдуллаева Майрам Дукуевна,
*техника илимдеринин доктору,
Ош Мамлекеттик университетинин профессору*
Abdullaeva Mayram Dukuevna,
*doctor of technical sciences, professor
of Osh State University*

ФИЗИКО – ХИМИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ПОЛУЧЕНИЯ ГЛИНОЗЕМА, СОРБЕНТОВ ИЗ КАОЛИНИТОВЫХ ГЛИН ЮЖНОГО РЕГИОНА КЫРГЫЗСТАНА

Аннотация. В данной статье приведены микрофотографии структуры глин, снятые на сканирующем электронном микроскопе TESCAN Vega 3 SBU, результаты локально энергодисперсионного микроанализа положения спектров, данные исследования азотнокислого разложения и адсорбционных свойств по отношению к тяжёлым металлам природных и химически модифицированных форм каолинитов южного региона Кыргызстана. По результатам сканирующего электронного микроскопа установлены микроструктуры глин, кристаллы которых относятся к минералу каолинит. Установлено, что с повышением концентрации азотной кислоты повышается разлагаемость каолинитовых глин, обработанных при 700°C. Получены смеси нитратов щелочных и щелочно – земельных металлов, которых можно использовать в качестве удобрений. Установлено, что солевая, щелочная, кислотная и обожжённая модификации каолинита приводят к увеличению сорбции ионов меди, по отношению к природному сорбенту.

Ключевые слова: сорбция, природные сорбенты, химическая модификация, коллоидальность, количественная адсорбция, глинозем, сиштоф.

КЫРГЫЗСТАНДЫН ТҮШТҮК АЙМАГЫНДАГЫ КАОЛИНИТ ЧОПОЛОРУНАН ГЛИНОЗЕМДУ, СОРБЕНТТЕРДИ АЛУУНУ ФИЗИКАЛЫК-ХИМИЯЛЫК ИЗИЛДӨӨ

Аннотация. Бул макалада TESCAN Vega 3 SBU сканерлөөчү электрондук микроскопунда алынган чопо структурасынын микрофотографиялары, спектрлердин абалынын локалдык энергетикалык дисперсиялык микроанализинин натыйжалары, азот кислоталык

ажыратуу, табигый жана химиялык жактан байытылган түштүк региондун каолиниттеринин оор металлдарга карата сорбциялык касиеттерин изилдөөнүн маалыматтары берилген. Сканерлөөчү электрондук микроскоптун натыйжалары боюнча чопо микроструктурасынын кристаллдары каолинит минералына таандык. Азот кислотасынын концентрациясынын жогорулашы менен 700°C температурада термикалык иштетилген каолиниттин кислотада ажырашы да жогорулай тургандыгы аныкталган. Жер семирткич катары колдонулуучу щелочтуу жана щелочтуу жер металлдардын нитраттарынын аралашмалары алынган. Каолиниттин туз, щелочтуу, кислоталык жана күйгүзүлгөн модификациялары табигый сорбентке салыштырмалуу жез иондорун сорбциялоосу жогору экендиги аныкталган.

Негизги сөздөр: сорбция, табигый сорбенттер, ион алмашуу, химиялык модификация, коллоиддүүлүк, сандык адсорбция, глинозем, сиштоф.

PHYSICAL AND CHEMICAL STUDIES OF OBTAINING ALUMINA, SORBENTS FROM KAOLINITE CLAYS OF THE SOUTHERN REGION OF KYRGYZSTAN

Annotation. This article presents microphotographs of the clay structure taken on a TESCAN Vega 3 SBU scanning electron microscope, the results of local energy-dispersive microanalysis of the position of the spectra, data from a study of nitric acid decomposition and adsorption properties with respect to heavy metals of natural and chemically modified forms of kaolinites in the southern region of Kyrgyzstan. Based on the results of a scanning electron microscope, clay microstructures were established, the crystals of which belong to the mineral kaolinite. It has been established that with an increase in the concentration of nitric acid, the decomposability of kaolinite clays treated at 700°C increases. Mixtures of nitrates of alkali and alkaline earth metals have been obtained, which can be used as fertilizers. It has been established that salt, alkaline, acid and calcined modifications of kaolinite lead to an increase in the sorption of copper ions in relation to the natural sorbent.

Key words: sorption, natural sorbents, chemical modification, colloiddally, quantitative adsorption, alumina, sistof.

Введение

Одна из острых проблем 21 века – это загрязнение окружающей среды, которое пагубно влияет на живые организмы и в том числе на организм человека. В связи с этим разработка эффективных и экономически дешевых сорбирующих материалов для очистки питьевой воды, масел, нефтепродуктов, почвы и комплексная переработка различных видов минерального сырья с целью извлечения ценных компонентов [1], остаётся актуальной задачей.

Как нам известно, бесконтрольное внесение химических удобрений, увеличение транспортных средств с двигателями внутреннего сгорания, многочисленный выброс углекислого газа в атмосферу при сгорании топлива, сточные и промышленные воды за-

грязнят окружающую среду, в том числе ионами тяжёлых металлов – Fe, Cu, Cr, Pb, Ni, Cd, Hg, Mn.

Существуют различные способы очистки воды от катионов тяжелых металлов. Наиболее распространённой является сорбционная технология очистки. В последнее время в качестве сорбентов широко используются природные глинистые минералы в силу их относительно низкой стоимости и широкого распространения [1,2,3].

Глинистые минералы в связи со своей структурой и очень большой дисперсностью обладают способностью поглощать из окружающей среды катионы и соответственно отдавать свои.

В глинистых минералах ионный обмен протекает по-разному. У каолинитов обменные реакции протекают только по сколам

кристаллической решетки, емкость поглощения небольшая и составляет 3—15 ммоль. В гидрослюдах катионный объем происходит не только по сколам, но и по всей площади базальных поверхностей (внешних), поэтому величина емкости обмена у них выше, чем у каолинитов, и равна 10—40 ммоль. У монтмориллонита, вследствие раздвижной кристаллической решетки, реакции обмена протекают не только по сколам и внешним базальным поверхностям, но также по всем внутренним поверхностям кристаллической решетки; величина емкости обмена монтмориллонита максимальная и достигает 80-150 ммоль.

Обменная способность наряду с высокоразвитой активной поверхностью (адсорбционной способностью) глины создает широкие возможности использования их в качестве сорбентов, катализаторов, пластификаторов и наполнителей в различных отраслях промышленности [4].

Одним из видов минерального сырья является алюминий содержащее сырье – нефелины, алуниты, каолины и глины, минеральная часть углей и т.д., из которых могут быть получены глинозем, соли алюминия, сода, поташ, сернокислый калий, шлам (сиштоф) для получения цемента, а также редкие металлы.

Имеется огромное количество патентных предложений по переработке глины и каолинов кислотными способами [5,6]. Для разложения глины и каолинов могут применяться все минеральные кислоты, но практическое значение имеют серная, соляная, азотная и сернистая кислоты.

Наибольшее применение получил сернокислотный способ [7], где проведено кислотное разложение термически обработанного каолина Чоко-Булакского месторождения.

Активация кислотой должна быть экономически эффективной и предпочтение отдается, по возможности, разбавленным растворам кислот, сравнительно невысоким температурам и времени активации [8].

Многие исследования были посвящены азотнокислым способам переработки каолинов и глины. По схеме предложенной А.А. Яковкиным с сотрудниками [9] обожженная каолиновая глина обрабатывается растворами кислоты концентрации 30-40% при 90°C. Образующиеся азотнокислые растворы алюминия отделяются от твердого остатка и очищаются от примеси железа с помощью пирролизита.

Растворы, очищенные от железа, обрабатываются аммиаком до получения основных солей алюминия и после выпарки поступают на окончательную нейтрализацию. Полученная гидроокись алюминия прокаливается для получения глинозема, а раствор нитрата аммония перерабатывается на удобрение.

Для кислотной обработки целесообразно проводить термическую обработку глины. По литературным данным [10,11] обжиг каолинита при 450 – 650°C приводит к удалению кристаллизационной воды и образованию метакаолинита, который сохраняет упорядоченную структуру, не препятствующую его разложению кислотой.

Обожженный каолинит разлагается с азотной кислотой с образованием нитратов алюминия. Температура обжига оказывает существенное влияние – в интервале 700 - 750°C достигается наиболее высокая степень перехода глинозема в раствор [12].

Химический состав исследуемых природных и прокалённых глины при 750°C опубликованный в работе [13] приведен в таблице 1.

Таблица 1.

Химический состав глин

Пробы	Содержание, масс. %												
	SiO ₂	FeO	Fe ₂ O ₃	TiO ₂	MnO ₂	Al ₂ O ₃	CaO	MgO	K ₂ O	Na ₂ O	ППП	SO ₃	P ₂ O ₅
ТП-2	59,00	5,4	2,20	1,14	0,11	17,78	0,12	1,21	3,34	0,20	8,97	<0,1	0,2
	67,00	<0,72	0,60	1,08	<0,05	24,14	0,59	1,27	3,79	0,14	0,13	<0,1	0,25
ТП-4	78,09	<0,05	0,69	0,62	<0,05	13,14	0,11	0,54	1,75	0,11	4,31	<0,1	0,23
	73,82	<0,05	0,85	0,76	<0,05	18,68	0,66	0,9я	2,31	0,14	1,13	<0,1	0,23
ТП-5	70,55	<0,05	0,94	0,79	<0,05	17,61	0,60	0,82	2,24	0,11	5,89	<0,1	0,23
	69,00	<0,07	1,05	1,01	<0,05	23,75	0,52	0,86	2,80	0,14	0,48	<0,1	0,21
ТП-6	70,45	<0,05	0,87	0,86	<0,05	17,63	0,72	0,91	2,45	0,10	5,53	<0,1	0,22
	69,45	<0,07	0,93	1,03	<0,05	22,21	0,72	1,01	2,95	0,12	0,91	<0,1	0,23

Цель исследования. Физико – химические исследования азотнокислого разложения глин, изучение сорбционных свойств природных и химически модифицированных форм каолинитов южного региона Кыргызстана, установление микроструктуры кристаллов глинистого минерала.

Объектами исследования послужили образцы каолининовых глин трех участков Таш – Кумыр и месторождения Абшыр.

Материалы и методы исследования.

Методом сканирующей электронной микроскопии (СЭМ) исследовали микроструктуру глинистых проб, морфологию поверхности, характер распределения частиц по форме и размерам. В работе использовали сканирующий электронный микроскоп TESCAN Vega 3 SBU. Исследование проводили на пробах изучаемых глин с размером зерна менее 0,5 мм. Получены снимки детектором вторичных электронов и обратно рассеянных электронов. По локально энергодисперсионным микроанализом получены снимки положения спектров и элементный состав.

Методом квартования от технологической пробы подготовлены измельченные и просеянные через сито с диаметром 0,25 мм пробы по массе 100 г ТП-2, ТП-4, ТП-5, ТП-6.

Изучение сорбционной активности природных и модифицированных глин по отношению к катионам меди проводилось по методике, описанной в работе [14].

Были подготовлены следующие пробы природной и химически модифицированных форм каолинита с каждого участка: каолинит в нативной (исходной) форме, отмученный и обожженный при 700°C, Na-форме (обработан 2М раствором NaCl), OH-форме (обработан 2М раствором NaOH), H-форме (обработан 2М раствором HCl). Для исследования использовали фракцию каолинита прошедшей через сито с диаметром 0,24 мкм. Сорбент массой 0,1 г помещали в коническую колбу со 100 мл раствора медного купороса концентрацией 0,02 М. Скорость перемешивания 150 об/мин. Время контакта навесок каолинита с раствором составило 5 суток, после отфильтровывали мутный раствор. Концентрацию ионов меди в растворе определяли комплексонометрическим титрованием с 0,05н трилоном Б в присутствии индикатора мурексиды.

Количественная адсорбция (Г) определяется избытком ионов на границе фаз по сравнению с равновесным количеством данных ионов в растворе. Экспериментально величину адсорбции ионов меди вычисляли по уравнению [15]:

$$\Gamma = \frac{(C_{\text{исх}} - C_{\text{равн}}) \cdot V_{\text{р-ра}}}{m}$$

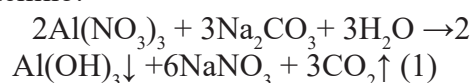
где $C_{\text{исх}}$ и $C_{\text{равн}}$ – исходная и равновесная концентрация ионов меди, ммоль/мл; V – объем раствора, мл; m – масса сорбента.

Для проведения кислотной обработки исследуемых глин использовали метод

азотнокислого разложения опубликованный в работе [16], при концентрации кислоты HNO_3 1н, 2н и 6н в соотношениях 1:5 Т:Ж твердой и жидкой фазы.

Собран аппарат, состоящий из круглодонной химической колбы, который снабжен обратным холодильником и нагревом. Из подготовленной пробы глины взяли навеску 10 г, перевели в круглодонную колбу, добавили 50 мл 1н азотной кислоты, обрабатывали при температуре 98-100°C, в течение 6 часов при умеренном вскипании.

В следующий день содержимое в колбе отфильтровывали и фильтрат, содержащего нитратов алюминия, натрия, калия и избытка азотной кислоты нагрели до температуры 60-70°C, проводили осаждение 1н раствором карбоната натрия Na_2CO_3 в присутствии индикатора метилоранжа до изменение рН=8-9. Химическое взаимодействие азотнокислого алюминия с раствором кальцинированной соды осуществляется по уравнению:



Получили белый, пушистый, осадок гидроксида алюминия $\text{Al}(\text{OH})_3$, но в колбах

с пробами ТП-5, ТП-6 получился осадок с желтоватым оттенком с примесью железа. Отфильтровывали гидроксид алюминия и сушили в сушильном шкафу в течении 3 часов при $t=105-110^\circ\text{C}$ до постоянной массы.

Оставшийся фильтрат, содержащий смесь нитратов калия и натрия $\text{KNO}_3 + \text{NaNO}_3$, нитрата магния $\text{Mg}(\text{NO}_3)_2$, нитрата кальция $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$, выпарили в водяной бане и взвешиванием определили количество нитратов.

После высушивания гидроксида алюминия $\text{Al}(\text{OH})_3$ в сушильном шкафу отделили его от фильтровальной бумаги, перевели в фарфоровые чашки, прокалили при $t=600^\circ\text{C}$ в муфельной печи в течение 20 минут и получили γ -глинозем.

Результаты и обсуждение

Результаты микрофотографий сканирующего электронного микроскопа (СЭМ) глины южного региона Кыргызстана приведены на рис. 1,2,3,4. По локально энергодисперсионному микроанализу получено количественное содержание элементов по спектру 1 (табл.2.)

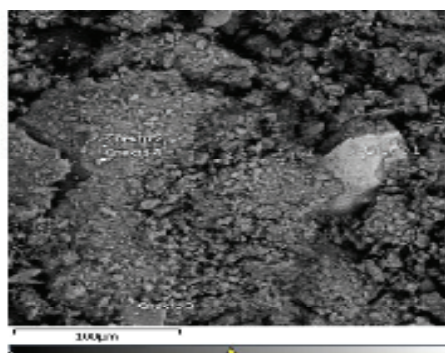
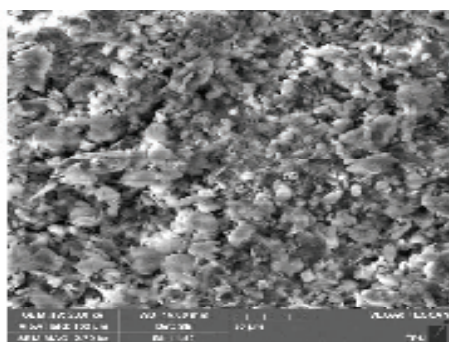


Рис. 1. Микрофотографии СЭМ ТП-2

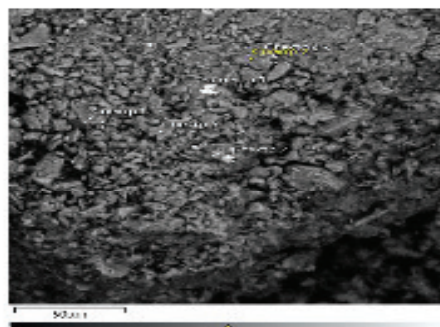
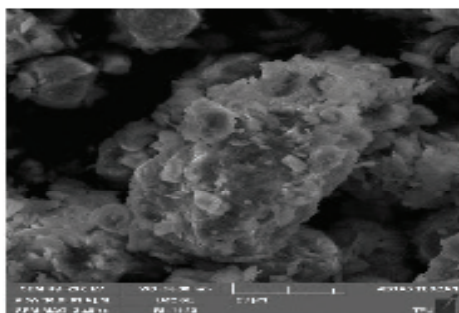


Рис. 2. Микрофотографии СЭМ ТП-4

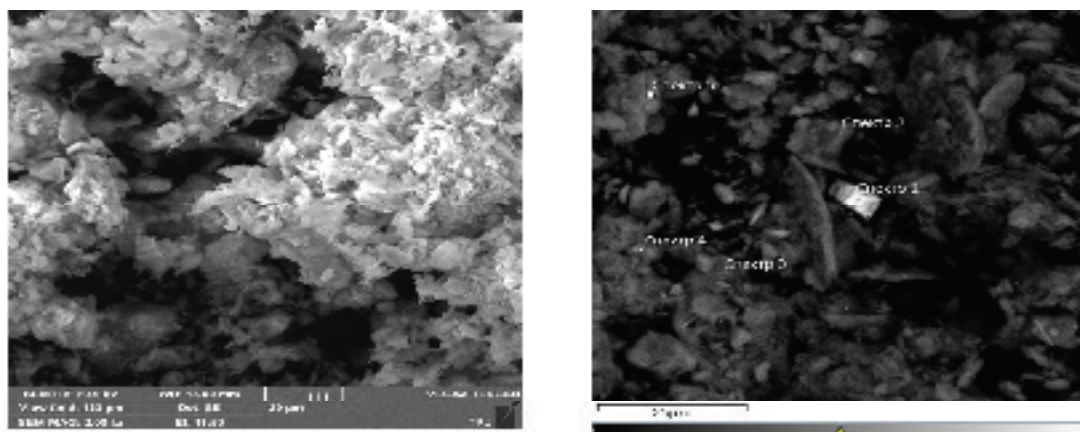


Рис. 3. Микрофотографии СЭМ ТП-5

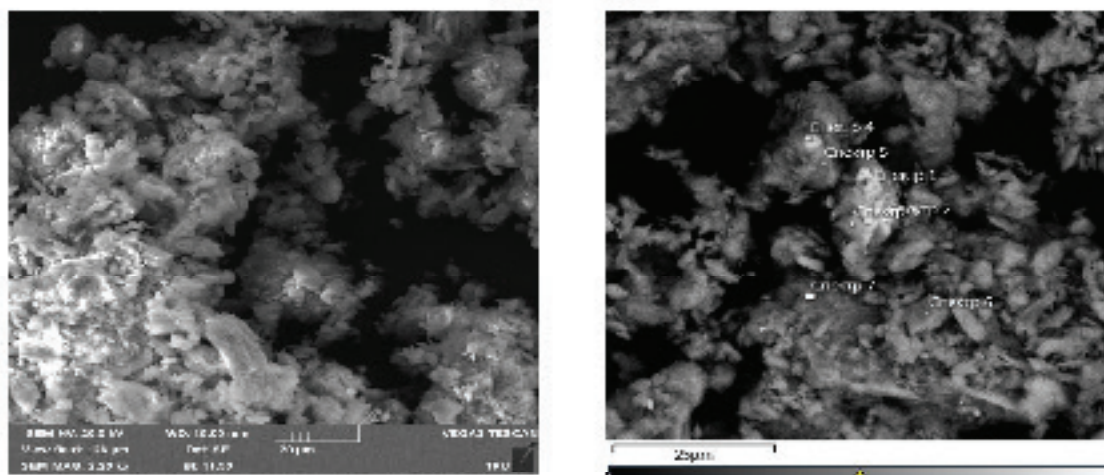


Рис. 4. Микрофотографии СЭМ ТП-6

Таблица 2.

Элементный состав спектра 1

№	Спектр 1										
	O	Mg	Al	Si	Ti	Cr	Fe	Zn	K	P	Ca
ТП-2	45,04	10,12	14,26	0,84	0,25	35,74	8,75	1	-	-	-
ТП-4	15,3	0,52	5,16	12	-	6,18	59,58	-	1,27	-	-
ТП-5	19,75	-	3,43	4,99	-	-	-	-	0,33	9,23	0,33
ТП-6	70,3	1,36	14,22	22,18	8,76	-	0,94	-	4,68	-	-

Результаты сорбции ионов меди в сорбентах

№	сорбенты	Начальная конц. Cu^{2+} C_0 , мг·экв	Конц. Cu^{2+} после сорбции,	Количество сорбированных Cu^{2+} катионов	Сорбция Cu^{2+} в %	Количес- венная адсорбция, Г, мг экв/л
ТП-2						
1.	Na-форме	0,02	0,012	0,008	40	8
2.	ОН-форме	0,02	0,016	0,004	20	4
3.	Н-форме	0,02	0,019	0,001	5	1
4.	нативная	0,02	0,017	0,003	15	3
5.	Обожжённая	0,02	0,02	0	0	0
ТП-4						
1.	Na-форме	0,02	0,018	0,002	10	2
2.	ОН-форме	0,02	0,01	0,01	50	10
3.	Н-форме	0,02	0,017	0,003	15	3
4.	нативная	0,02	0,015	0,005	25	5
5.	Обожжённая	0,02	0,01	0,01	50	10
ТП-5						
1.	Na-форме	0,02	0,017	0,003	15	3
2.	ОН-форме	0,02	0,013	0,007	35	7
3.	Н-форме	0,02	0,015	0,005	25	5
4.	нативная	0,02	0,017	0,003	15	3
5.	обождённая	0,02	0,01	0,01	50	10
ТП-6						
1.	Na-форме	0,02	0,017	0,003	15	3
2.	ОН-форме	0,02	0,015	0,005	35	5
3.	Н-форме	0,02	0,02	0	0	0
4.	нативная	0,02	0,017	0,003	15	3
5.	обождённая	0,02	0,01	0,01	50	10

По микрофотографиям видно, что формы кристаллов в виде гексагональных пластинок близки к каолиниту.

В таблице 3 приведены количественные результаты сорбции ионов меди в нативной и модифицированных формах каолинита-частков.

Из таблицы 3 видно, что сорбционная способность нативной и модифицированной формы каолинита отличаются. Сорбционная способность нативной формы всех проб низкая, количественная адсорбция в пределах 3-5 мг·экв/л. По способности сорбции по отношению к ионам меди сорбенты можно расположить по следующему ряду:

ТП-2: Na – форма > OH-форма > нативная > H- форма,

ТП-4: OH-форма=обожжённая > нативная > H- форма > Na- форма,

ТП-5: обожжённая > OH-форма > Na-форма=нативная

ТП- 6: обожжённая > OH-форма > H-форма > Na- форма=нативная.

Из полученных данных можно сделать вывод, что солевая, щелочная, кислотная и обожжённая модификации каолинита приводят к увеличению сорбируемости ионов меди, по отношению к исходному сорбенту. Показатели сорбции обожжённой формы каолинита трех участков месторождения Таш – Кумыр имеют одинаковые значения. По сорбционной способности пробы располагаются следующим образом: ТП-4 > ТП-5 > ТП-6 > ТП-2.

Результаты кислотного разложения каолиновых глин южного региона представлены в таблице 4.

Таблица 4.

Результаты выхода γ – Al_2O_3 , %

№	Название пробы	Термообработка и конц HNO_3	Масса осадка $\text{Al}(\text{OH})_3$, г	Масса оксида γ – Al_2O_3 , г	выход на 10 г глину, %	Масса смеси нитратов, г
1.	ТП-2	900, 1н	1,7	0,9	9	4,2
2.	ТП-2	900, 2н	2,4	2,0	20	6,3
3.	ТП-4	900, 2н	0,8	0,5	5	9,7
4.	ТП-5	700, 2н	1,1	0,6	6	8,5
5.	ТП-6	700, 2н	1,1	0,6	6	10,2
6.	ТП-2	700, 6н	2,7	2,4	24	18,9
7.	ТП-4	700, 6н	3,3	3	30	27,8
8.	ТП-5	700, 6н	4,9	4,6	46	26
9.	ТП-6	700, 6н	5	4,7	47	32

Как видно из таблицы 3 проба ТП-2 обожжённый при 900°C хорошо разлагается в разбавленных 1 н, 2 н азотной кислоте, а пробы ТП-4, ТП-5, ТП-6 разлагаются плохо. Пробы ТП-4, ТП-5, ТП-6 термически обработанные при 900°C дают меньшее значение оксида алюминия, и тем самым не годятся для кислотного разложения, вследствие перехода метакаолина выше 900°C в кристаллическую форму.

Пробы глины термически обработанные при 700°C начинают разлагаться с увеличением концентрации кислоты. При концентрации азотной кислоты 2 н, в пробах ТП-5, ТП-6 выход оксида алюминия составляет – 0,6 г, а при концентрации 6 н 4,9 – 5 г соответственно. Пробы ТП-2, ТП-4 обожжённые при 900°C дают 2,0 - 0,4 г, а обожжённые при 700°C, с концентрацией кислоты 6 н 2, 4 – 3 г глинозема соответственно.

Выход смеси нитратов также повышается с увеличением концентрации кислоты.

Выводы

1. Изучены микроструктуры кристаллов и элементный состав каолининовых глин южного региона Кыргызстана.

2. С помощью сканирующего электронного микроскопа получены микрофотографии минерала каолинита в виде гексагональных пластинок в различных увеличениях.

3. Установлено, что солевая, щелочная, кислотная и обожжённая модификации као-

линита приводят к увеличению сорбируемости ионов меди, по отношению к исходному сорбенту.

4. Выявлено, что химическая и термическая модификации каолинита повышают его сорбционные свойства.

5. Из полученных данных кислотного разложения следует сделать вывод что в пробе ТП-2 с изменением температуры обжига и концентрации азотной кислоты выход оксида алюминия увеличивается в незначительном количестве, а в пробе ТП-4 повышается в шесть раз. В пробах ТП-5 и ТП-6 с изменением параметров выход глинозёма растет на 8 раз.

6. Из проб ТП-2 и ТП-4 получен глинозем без примесей железа, а из проб ТП-5 и ТП-6 получен глинозем загрязнённый оксидом железа, что требует его очистки.

7. Нерастворимая часть метакаолинита, свободный оксид кремния и другие компоненты могут использоваться в производстве керамики. Полученные нитратные соли щелочных и щелочноземельных металлов могут применяться в качестве азотного удобрения.

8. Полученные результаты позволяют рекомендовать каолиниты южного региона Кыргызстана в качестве сорбентов для очистки воды, почвы, пищевые продукты и организма человека от тяжёлых металлов и других токсинов.

Литература

1. *Большаков А.А., Вялкова Е.И.* Природные минералы Тюменской области: свойства и перспективы использования в процессе очистки воды [Текст]: А.А. Большаков, Е.И. Вялкова. -СПб.: Недра, 2005. – 128 с.
2. *Калюкова Е.Н., Иванская Н.Н.* Адсорбционные свойства некоторых природных сорбентов по отношению к катионам хрома (II) [Текст] / Е.Н Калюкова, Н.Н. Иванская // Сорбционные и хроматографические процессы. – 2011.- Т.11, Вып.4. – С. 496-501.
3. *Тарасевич Ю.И.* Природные сорбенты в процессе очистки воды [Текст]: Ю.И. Тарасевич. – Киев.: Наукова Думка, 1981. – 208 с.
4. *Овчаренко Ф.Д.* Гидрофильность глины и глинистых минералов [Текст]: Ф.Д. Овчаренко. Киев. – Академия наук Украинской ССР, 1961. – С. 120-121.
5. *Шварцман Б.Х.* Кислотные методы переработки глинозёмсодержащего сырья. М.: Цветмет. информация, 1964. 130 с.

6. Пустильник Г.Л., Нестерова Т.Е. Комплексная переработка бокситов и другого алюминий содержащего сырья за рубежом. М.: Цветмет. информация, 1972. 79 с.
7. Мурзубраимов Б.М., Кочкорова З.Б., Шаршенбек кызы А., Калчаева Б.Ш. Кислотное разложение термически обработанной каолиновой глины Чоко–Булакского месторождения. Наука, новые технологии и инновации Кыргызстана №7, 2017., с. 137-139.
8. Кислотная активация бентонитовой глины Л.В. Мосталыгина, Е.А. Чернова, О.И. Бухтояров Вестник ЮУрГУ, № 24, 2012. с. 57-61
9. Яковкин А.А. – Природа, 1936, №12, с.30-39.
10. Сажин В.С., Запольский А.К. – Цв. Металлы, 1969, №2, с. 47-53.
11. Шахтактинский Г.Б., Халилов А.Н., Асланов Г.А. Получение алюминиевых солей из бедноалунитизированных пород Загликского месторождения. Баку: Элм, 1972. 126 с.
12. Лайнер Ю.А. Комплексная переработка алюминий содержащего сырья кислотными способами. М.: Наука, 1982. 207 с.
13. Абдуллаева М.Д., Каримов А., Калыкова Г.С. Анализ химического состава обожжённых и природных глин юга Кыргызстана. Глины и глинистые минералы - 2022. VII Российская Школа по глинистым минералам «Argilla Studium» и V Российское Совещание по глинам и глинистым минералам «ГЛИНЫ», посвященные 100- летию со дня рождения Б.Б. Звягина. Материалы докладов М.: ИГЕМ РАН, 2022. с. 150-152
14. Пимнева Л.А., Андреев О.В. Модифицированные формы каолинита для извлечения ионов меди из природных и сточных вод [Текст] / Л.А. Пимнева, О.В. Андреев // Фундаментальные исследования. – 2018. – № 5. – С. 13-17.
15. Полещук И.Н., Малышкина В.В. Сорбционная активность каолинита по отношению к ионам цинка [Текст] / И.Н. Полещук, В.В. Малышкина // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. – 2015. №9. – С. 272-274.
16. Пат. 2132 KG. МКИ С 01F 7/02. Способ получения глинозема из нефелиновых сиенитов /Б.М.Мурзубраимов, А.Каримов, М.Д. Абдуллаева (Кыргызстан). 2132; Заявл.24.01.2018 Оpubл. 28.02.2019, Бюл. №3.