УДК: 7642:(666.9.045; 666)

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ХИМИЧЕСКОГО СОСТАВА И ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК α- И β-МОДИФИКАЦИЙ ГИПСОВЫХ МИНЕРАЛОВ КАРАКАЛПАКСТАНА

Абылова Амина Жанабаевна

Каракалпакский научно-исследовательский институт естественных наук Каракалпакского отделения Академии наук Республики Узбекистан, г. Нукус

Аннотация. В ходе исследования изучены минеральный и фазовый состав гипсового камня до и после термической обработки, определены условия получения α- и β-полугидрата с заданными свойствами. Проведены испытания по прочности, водопоглащению, плотности, а также термической и микроструктурной устойчивости полученных модификаций. Особое внимание уделено влиянию примесей и кристалломорфологических особенностей на формирование структуры и прочностных характеристик готового материала.

Ключевые слова: гипс, вяжущие, минерал, α-модификация, β-модификация, образец, гипсовый камень.

Annotatsiya. Ilmiy izlanishlar davomida gips toshining termik ishlov berishdan oldingi va keyingi mineral va fazaviy tarkibi o‘rganildi, belgilangan xossalarga ega bo‘lgan α- va β-yarimgidrat olish sharoitlari aniqlandi. Olingan modifikatsiyalarning mustahkamligi, suv shimuvchanligi, zichligi hamda termik va mikrostrukturaviy barqarorligi bo‘yicha sinovlar o‘tkazildi.Ko’shichalar va kristallomorfologik xususiyatlarning tayyor materialning tuzilishi va mustahkamlik xususiyatlarini shakllantirishga ta’siri alohida e’tibor qaratilgan.

Kalit so‘zlar: gips, bog‘lovchilar, mineral, α-modifikatsiya, β-modifikatsiya, namuna, gips toshi.

Abstract. During the research, the mineral and phase composition of gypsum stone before and after heat treatment were studied, and the conditions for obtaining α- and β-half-hydrate with specified properties were determined. Tests for strength, water absorption, density, as well as thermal and microstructural stability of the obtained modifications were conducted. Special attention was paid to the influence of impurities and crystallomorphological features on the formation of the structure and strength characteristics of the finished material.

Keywords: gypsum, binders, mineral, α-modification, β-modification, sample, gypsum stone.

Введение.

ISSN 3030-3907

В настоящее время во всем мире особое внимание в строительстве уделяется внедрению концепции экологической оценки и рациональному выбору строительных материалов с точки зрения экологической безопасности для окружающей среды и для всего человечества. Эффективные композиционные материалы на основе гипса должны соответствовать современным требованиям всемирной концепции «устойчивого развития» и «устойчивого строительства» [1, 8-12].

В последнее время в Каракалпакстане широко ведутся работы по исследованию местных минеральных сырьевых ресурсов для изыскания путей использования их в различных отраслях промышленности. Решение использования дешевого, доступного местного сырья и промышленных отходов актуальна с научной точки зрения, а также экологически и экономически выгодно. В настоящее время в Каракалпакстане выявлено 9 месторождений гипсовых минералов. К числу разведенных месторождений относятся: Белтауское месторождение, запасы которого составляют около 14 млн. тонн, Худжакульское месторождение, запасы которого составляет около 10 млн. тонн, а также в Шуманайском, Кунградском, Муйнакском районах и плато Устюрт в виде двуводного сульфата кальция. В Устюртском плато гипс прослеживается в виде пласта с мощности до 4 метров. Породы Устюртского региона по внешнему виду различаются на прозрачный кристаллический гипс, гипсовый шпат, тонковолокнистый гипс с шелковистым отливом (селенит) и зернистый гипс [2].

Объекты и методы исследования. Анализ химического, химико-минералогического состава, а также физико-химических и физико-механических свойств гипсовых минералов позволяет определить рациональные методы получения на их основе вяжущих веществ различного назначения. В результате проведённых исследований для дальнейшего изучения были отобраны три пробы гипсовых минералов из месторождений Каракалпакстана, характеризующихся высоким содержанием двуводного сернокислого кальция и выгодным географическим расположением.

Комплексное исследование минералогического состава гипсовых минералов выполнялось с применением современных методов: рентгенографического анализа (РГА), термогравиметрического анализа (ТГА), оптической микроскопии, спектрального анализа и сканирующей электронной микроскопии (СЭМ). Перечисленные методы являются универсальными и на сегодняшний день считаются одними из наиболее точных и информативных для изучения состава и структуры твёрдых материалов.

ISSN 3030-3907

Результаты и их обсуждение. Лабораторные химические испытания природного гипсового камня проведены по ГОСТ 4013-2019 [3]. Как показывают результаты химического анализа (табл. 1), образец гипса, из месторождения Каракалпакстан - образец № 1, содержит малое количества примесей и является более чистым по сравнению с остальными изучаемыми объектами. Количества CaO, SO_3, H_2O близки к теоретическому, содержание двуводной сернокислой соли достигает 96 %, что соответствует характеристикам гипса 1-сорта, на основе которой возможно производство гипсовых вяжущих веществ с повышенными физико-механическими свойствами для фарфорофаянсовой, керамической и медицинской промышленности.

Таблица 1

Химический состав гипсовых минералов

Оксиды		Образцы		
		№1	№2	№3
Массовое содержание в % на воздушно сухое вещество	SiO_2	1,37	4,85	6,33
	TiO_2	<0,01	0,035	0,051
	Al_2O_3	<0,10	0,53	0,82
	Fe_2O_3	0,17	0,31	0,40
	MgO	0,65	0,70	0,60
	MnO	<0,01	<0,01	<0,01
	CaO	31,66	31,40	29,16
	Na_2O	0,07	0,18	0,24
	K_2O	0,03	0,36	0,21
	P_2O_5	0,053	0,048	0,05
	$SO_{3,\ общ}$	44,7	44,90	41,70
	$SO_{3,\ сульфат}$	44,52	41,52	41,18
	П.П.П.	21,86	20,06	20,52
	H_2O,320°C	20,1	16,89	18,76
	CO_2	1,76	3,14	1,21

Образец № 2 почти не имеет примесей, количества содержащихся в нем CaO, SO_3, H_2O близки к теоретическому и достигает 93 %, что соответствует характеристикам гипса 2-сорта.

Образец гипса № 3 содержит большое количество примесей глинистых минералов, поэтому отличается от первого объекта малыми содержаниями CaO и SO_3. Общее содержание двуводной сернокислой соли $CaSO_4 \cdot 2H_2O$ составляет 89 %, соответствует характеристикам гипса 2-сорта. На основе таких минералов возможно получение гипсовых и строительных материалов

ISSN 3030-3907

с повышенными физико-механическими свойствами для строительной промышленности.

Минеральный состав гипсовых минералов приведен в таблице 2.

Таблица 2

Минеральный состав гипсовых минералов

Образцы	Содержание, %			
	$CaSO_4 \cdot 2H_2O$ двуводный гипс	$CaSO_4$ ангидрит	$CaMgC_2O_6$ доломит	SiO_2 кварц и глинистые минералы
№1	96	4,5	1,0	0,6
№2	93	4,2	1,1	1,0
№3	89	4,0	1,6	1,8

Съемку рентгенограмм проводили с помощью рентгеновского порошкового дифрактометре XRD – 6100 (Shimadzu, Japan). Применили CuK_α – излучение (β-фильтр, Ni, 1,54178 режим тока и напряжение трубки 30 mA, kV) и постоянную скорость вращения детектора 4 град/мин с шагом 0,02 град, а угол сканирования изменялся от 4 до 80°.

Перед съемкой на порошковом дифрактометре образцы прошли подготовительный этап. Исследуемый порошок гипса плотно набивается в стандартную кювету, дно кюветы предварительно смазывается чистым вазелином.

Сравнительный анализ три образцов №1, №2 и №3 гипса показал, что они отличаются между собой как по количеству двуводного гипса и по его модификациям, так и по количеству примесей, в частности кварца, глины, доломита и кальцита. Дифрактограммы исследуемых образцов представлены на рис. 1.

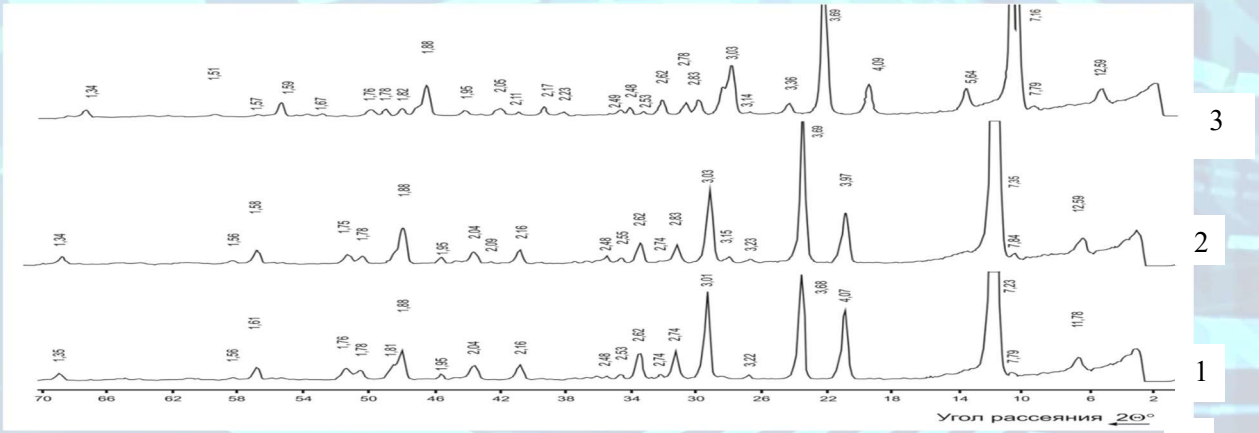


Рис. 1. Дифрактограммы исследуемых образцов:1 – № 1; 2 – № 2; 3 - 3;

ISSN 3030-3907

Дифрактограмма образца № 1 показывает, что данный образец представлен более однородным составом гипса (7,35; 4,07; 3,68; 3,03; 2,83; 1,88; 1,52; 1,34 Å) с примесными минералами в виде кварца (3,38; 2,67; 2,13 Å), каолина (7,10; 3,53; 2,58 Å), кальцита (3,01; 1,86 Å).

Образец № 2 содержит в основном гипс (7,35; 3,97; 3,68; 3,03; 2,83; 1,88; 1,52; 1,34 Å). Линии, характерные для двуводного гипса, весьма интенсивны, т.к. он в данном случае является основным породообразующим минералом. Кроме линии двуводного гипса, существуют также линии, характерные для каолинита (7,161; 2,592; 1,502 Å), гидрослюды (4,566; 3,607; 2,592; 1,767; 1,559 Å) и полевого шпата (3,236; 2,330; 1,731 Å).

1. Рентгеновские дифрактограммы воздушно-сухой формы образца № 3 содержат линии, характерные для двуводного гипса (7,35; 3,97; 3,68; 3,03; 2,83; 1,88; 1,52; 1,34 Å), каолинита (7,14; 4,493; 2,58; 1,512 Å), гидрослюды (5,953; 3,236; 2,607; 1,915; 1,740 Å), прослеживается наличие полевого шпата в форме ортоклаза и кварца. Кроме того, дифрактограмма содержит еще ряд линий, характерных для кальцита (3,037; 2,13; 2,019; 1,619 Å). Однако, интенсивность этих линий сравнительно низкая.

Полученные дифрактограммы (рис. 1) характеризуются серией базальных отражений, типичных для известных модификаций двуводного гипса – селенит [5-8].

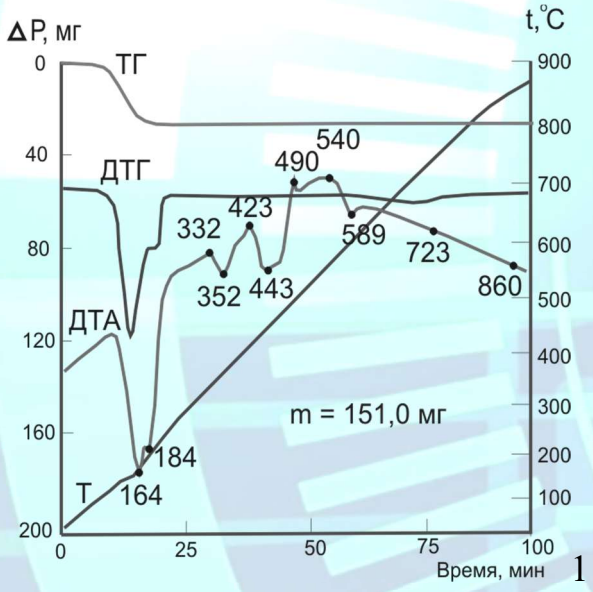
На сегодняшний день различные методы термических анализов являются весьма востребованными для определения термической стабильности, окислительной устойчивости, изменения энтальпии фазовых переходов (плавления, кристаллизации, термодеструкции, окислительного разложения, полимеризации и т. д.) различных веществ в т. ч. строительных материалов. Следует отметить, то что подобные исследования необходимы наряду при идентификации различных веществ при проведении пожарно-технической экспертизы, при разработке новых строительных материалов меньшей пожарной опасности и др.

Дифференциально-термический анализ образцов гипсовых минералов проводился на дериватографе системы Паулик-Паулик-Эрдей со скоростью 9-10 град/мин и навеской 0,1 г. При чувствительности гальванометров Т – 900, ТГ – 100, ДТА 1/10, ДТА 1/10. Запись проводили при атмосферных условиях. Держателем служил платиновый тигель диаметром 7 мм без крышки. В качестве эталона использовали Al_2O_3.

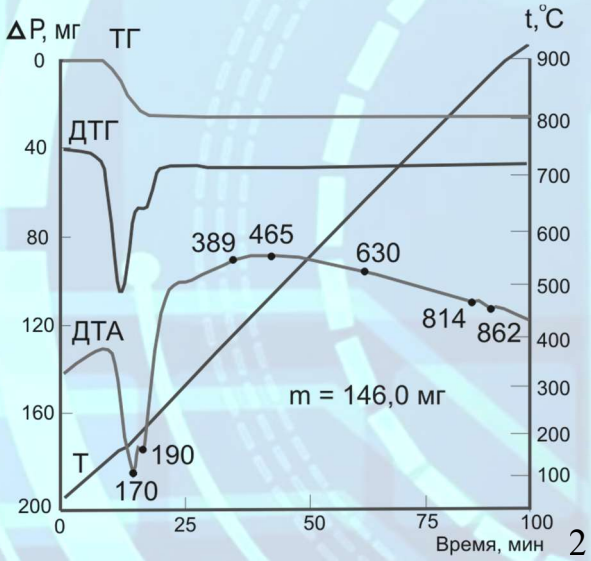
Анализ термогравиметрической кривой (ТГ) позволил выделить несколько стадий термического разложения гипса, оценить изменения массы на каждой стадии и остаточную массу образца для каждого образца №1 - 75,03;

ISSN 3030-3907

№ 2 - 79,87; № 3 - 76,04. Наибольшая потеря массы (до 12 %) происходят на первой стадии термического разложения гипса, температурный интервал которых различается для каждого образца (от 52 °C до 148 °C). Вероятно, это связано с количеством основной породы образующего гипса в составе природного минерала. Именно на этой же стадии наблюдаются максимальная скорость потери массы (5,34-5,48 %/мин) и согласно данным дифференциальной термогравиметрии (ДТГ), приходятся на температуру 151,2 °C; 156,8 °C; 113,4 °C для образцов № 1, 2 и 3 соответственно. Температура начала потери массы гипсового минерала составила 121 °C; 124 °C; 98 °C для образцов № 1; 2; и 3, соответственно. Следовательно, данные температуры могут быть приняты за температуры термической стабильности гипсовых изделий на их основе. Термогравиметрический анализ (рис. 2) подтверждает чистоту образцов № 1 и 2 и расчет по массе потерянной гидратной воды показывает 96,7 и 93,1 % $CaSO_4 \cdot 2H_2O$, соответственно для № 1 и 2 образцов. Содержание двуводного гипса в составе остальных образцов 89 % соответственно для № 3 образца.



1



2

ISSN 3030-3907

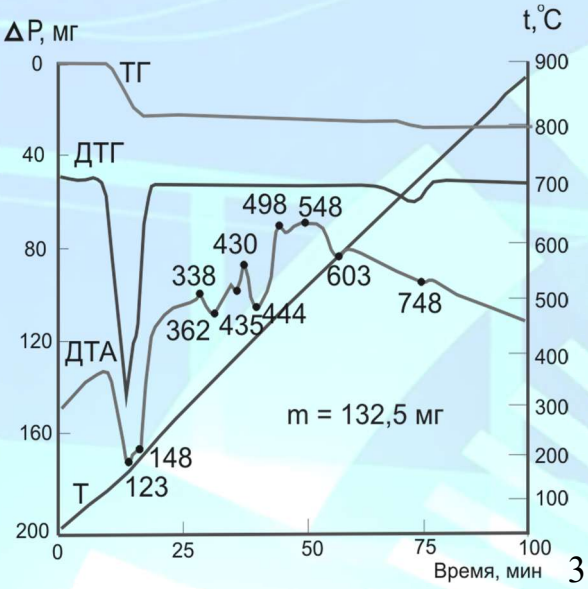


Рис. 2. Термограммы исследуемых образцов:1 – № 1; 2 – № 2; 3 - № 3;

Результаты дифференциально-термического анализа гипсовых минералов показывают, что термограммы образцов отличаются расположениями и глубиной эндотермических эффектов (рис. 2). При температурах 123-170 °С у образца № 1 наблюдается интенсивный эндотермический эффект, обусловленный выделением свободной молекулярной воды. Наличие дополнительного эффекта при температурах с максимумом 184-200 °С вызвано удалением кристаллизационной воды. Третий самый слабый эффект при температуре 352 °С соответствует удалению остаточной кристаллизационной воды и образованию смеси растворимого и нерастворимого гипса. Четвертый эндоэффект при температуре 443 °С соответствует разрушению безводной модификации гипса и образованию нерастворимого продукта. Пятый эндоэффект эффект при температуре более 800 °С соответствует разложению безводной модификации гипса и образованию извести.

Первый эндотермический эффект образца № 2 обнаруживается при температурах 123-140 °С и их интенсивность значительно меньше по сравнению с интенсивностью образца № 1, что связано гидрофильностью гипса за счет различного преобладания той или иной модификации двуводного гипса в составе минерала. Интенсивность эндоэффектов при температурах 350-450 °С также заметно меньше. Вероятно, это связано более высоким содержание других веществ (кварца, кальцита и др.) в составе этого образца.

На термограмме образца № 3 также выделяется несколько эндоэффектов, очень схожих по нахождению и интенсивности, что свидетельствует о сходстве вещественного состава образцов № 1 и 2.

ISSN 3030-3907

ИК-спектры поглощения записывали на спектрофотометрах, IRTracer-100 фирмы «Shimadzu». IRTracer-100 (400-4000 см$^{-1}$) РУЕ и NiCAM (400-4000 см$^{-1}$) с применением методики прессования образцов с KBr (рис.3).

ИК-спектроскопический анализ показал, что спектры гипсовых минералов различных месторождений характеризуются набором линий поглощения колебательного спектра в области 3700-3400 см$^{-1}$, характерных для деформационных и валентных колебаний воды и OH^- групп. В области частот 1140-1000 см$^{-1}$ проявляются полосы поглощения характерные связи *S-O* для SO_4^{2-} группы. На спектрах образца № 2 наблюдаются небольшие сдвиги в области полос воды (3602-3404 см$^{-1}$) и SO_4^{2-} ионов (1151-1113 см$^{-1}$), что обусловлено различной длиной связи в этих группах.

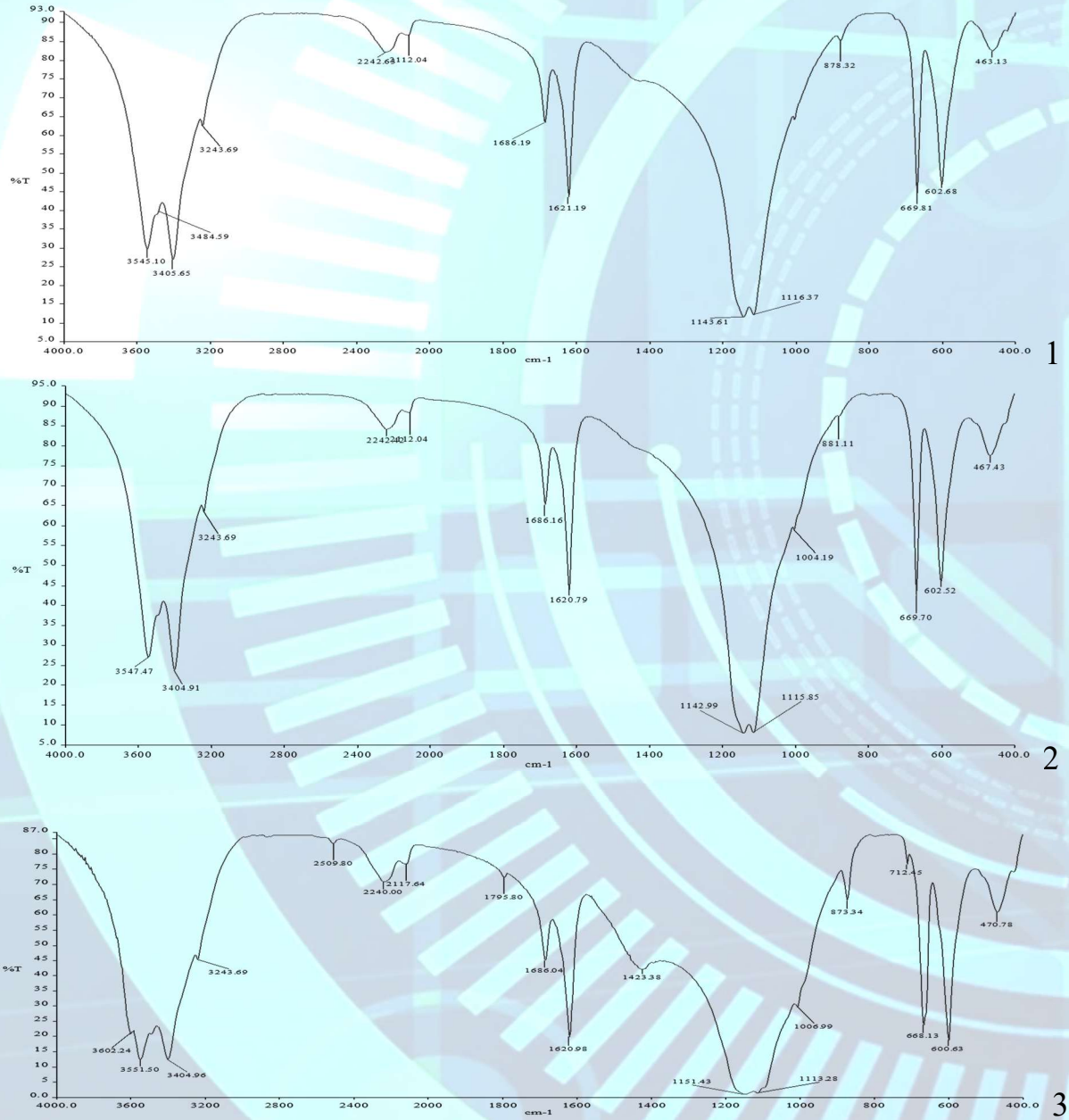


Рис. 3. ИК – спектры поглощения исследуемых образцов:1 – № 1; 2 – № 2; 3 - № 3;

ISSN 3030-3907

Высокая диффузность линий в области валентных и деформационных колебаний в структуре гидроксид иона и молекулы воды свидетельствует о наличии как адсорбционной, так и химической связанной кристаллизационной воды в составах гипсовых минералов.

2. В исследовании были проанализированы образцы гипса с помощью сканирующего электронного микроскопа (СЭМ) типа JEOL JSM-IT210. Образцы были подготовлены в вакуумных условиях и сканированы с высокой точностью. С помощью СЭМ-анализа были проанализированы морфология и микроструктура минеральных частиц. Каждый образец сканировали при разных увеличениях от 100х до 10 000х, а микроструктуру анализировали на основе изображений, полученных с помощью электронных лучей (рис. 4).

По результатам сканирующей электронной микроскопии обнаружены включения цирконов, сульфидов и значительные включения глинистых минералов. Глинистые минералы часто недостаточно кристаллизованы или частично аморфны, поэтому такие примеси не различимы при рентгеноструктурном анализе.

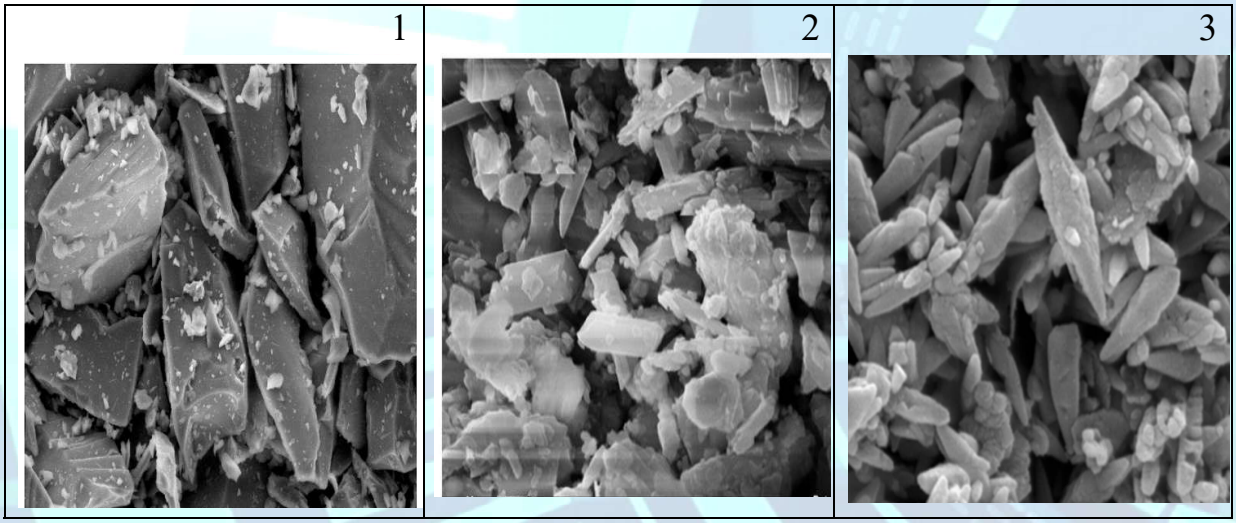


Рис. 4. Результаты анализа образцов гипса сканирующим электронным микроскопом (СЭМ): (1) – кристаллы минерального гипса №1; (2) – кристаллы минерального гипса №2; (3) – кристаллы минерального гипса №3;

3. По результатам изучения кристаллов природного гипса из различных месторождений методами СЭМ можно отметить, что при больших увеличениях в них наблюдаются включения горных пород и минералов, захваченных и запечатанных в процессе роста кристаллов. Результаты анализа СЭМ для которых образцов представлены на рисунке 4 показали, что в чистейшем гипсе (образец №1) по данным рентгеноструктурного анализа по характерным сигналам установлены сульфиды свинца и цинка (галенит и сфалерит). Что говорит о наличии этих минералов во время образования

ISSN 3030-3907

гипса. В гипсе (№2) сульфид стронция (минерал целестин) обнаружен во включениях. Совокупность микрокристаллов целестина, очевидно, образовалась раньше и была запечатана в кристалл гипса.

По результатам микроскопии глинистые компоненты были обнаружены в значительных количествах в образцах №1, №2 и №3. Включения примесных минералов и фаз, которые не регистрируются с помощью рентгеноструктурного анализа, влияют как на скорость разложения ангидрита, так и на термостойкие свойства гипса.

Обжиг гипса проводили в лабораторных условиях с использованием муфельных печей для получения полуводного (строительного гипса) гипса β-модификации. Процесс обжига длился 1 час, температура находилась в пределах 160-180 °С, обжигали измельченный гипсовый камень с размерами фракций 05-10 мм.

Обожженную крупку размалывают до остатка на сите № 02 не более 1,5 – 2,3 %. Измельчают чаще всего с использованием одно - или двухкамерных шаровых мельниц. Технологические процессы производства гипса с обжигом его во вращающихся печах непрерывные и поэтому легко осуществить их автоматическое управление. Этот способ получения гипса очень экономичен. Расход топлива колеблется в пределах 43-51 кг, электроэнергии – 13-25 кВт/ч на 1 т.

Испытания физико-химических и физико-механических свойств полученных гипсовых вяжущих (ГВ) проведены по ГОСТу 23789-2018 (табл. 3-4) [4].

Таблица 3

Физико-механические показатели β-модификации гипсовых вяжущих веществ

№	Наименование показателя	Показатели ГВ №1	Показатели ГВ №2	Показатели ГВ №3
1	Тонкость помола, остаток на сите №02, %	1,5	1,7	2,3
2	Нормальная густота В/Г, %	52	55	57
3	Сроки схватывания начало, мин. конец, мин.	5 12	7 17	8 19
4	Предел прочности на сжатие, в возрасте 2 ч, МПа	94,0	72,0	53,0

ISSN 3030-3907

5	Предел прочности на растяжение при изгибе, в возрасте 2 ч, МПа	44	32	29
6	Марка вяжущего	Г-9	Г-7	Г-5
7	Содержание метало примесей, мг	2	3	4
8	Объемное расширение, % не более	0,1	0,2	0,15
9	Примеси, нерастворимые в соляной кислоте, %	0,1	0,1	0,1

Испытания физико-химических свойств гипсовых вяжущих показывают возможность их использования в производстве вяжущих веществ, таких, как строительный, высокопрочный и эстрих гипсы, а также ангидритовый цемент [13].

Гипсовые вяжущие материалы, полученные на основе гипсовых минералов Каракалпакстана, по всем показателям соответствуют требованиям, предъявляемым ГОСТом 125-2018 [7].

Результаты исследования свойств вяжущих материалов показали, что исследуемый образец №1 соответствует марки Г-9БIII, характеризующейся нормально твердеющими свойствами и с тонким помолом, а образец №2 марки Г-7БII характеризуется с нормально твердеющими свойствами и средним помолом.

Из образца 33 получены гипсовые вяжущие марки Г-5БII, характеризующиеся с нормальными твердеющими свойствами и средним помолом.

Полученные экспериментальные результаты дают возможность рекомендовать гипсовые минералы №1 и №2 для получения строительного гипса, применяемых главным образом для производства гипсовых и гипсобетонных строительных изделий, предназначенных для внутренней части сооружений, а также для изготовления известково-гипсовых штукатурных растворов. На основе других гипсовых минералов также возможно получение строительного гипса с удовлетворительными технологическими характеристиками [11].

Высокопрочный гипс отличается от строительного гипса более крупными кристаллами не волокнистого строения, вследствие чего обладает меньшей водопотребностью.

Для получения данного вида, вяжущего производилась термообработка гипсового щебня в автоклаве-самозапарнике при температурах 120-130°С в

ISSN 3030-3907

течение 4 часов. Затем проводилось испарение при давлении 0,4-1,1 кг/см^2 в течение 5 часов и стабильное понижение температуры до 90-110°С. Процесс сушки и охлаждения проводится при атмосферном давлении до 50-60°С. При такой обработке происходит перекристаллизация двуводного гипса в крупнокристаллический полуводный α-модификацию, состоящий из длинных игольчатых прозрачных кристаллов. После окончания пропаривания щебень выгружается из автоклава и подвергается сушке, затем помолу. Полученные в результате этих операций высокопрочный гипс имеет следующие характеристики (табл. 4).

Таблица 4

Результаты испытаний α-модификации полуводного гипсовых вяжущих (ГВ)

№	Наименование показателей	Показатели ГВ №1	Показатели ГВ №2	Показатели ГВ №3
1	Тонкость помола, остаток на сите №02, %	1,2	1,6	2,0
2	Нормальная густота В/Г, %	39	41	38
3	Сроки схватывания начало, мин. конец, мин.	 4,5 20	 5 22	 5 19
4	Предел прочности на сжатие, в возрасте 2 ч, МПа	164,2	192,0	131,0
5	Предел прочности на растяжение при изгибе, в возрасте 2 ч, МПа	58	62	54
6	Марка, вяжущего	Г-16	Г-19	Г-13
7	Содержание метало примесей, мг	2 мгр.	4 мгр.	2,5 мгр.
8	Объемное расширение, % не более	0,1	0,2	0,15
9	Примеси, нерастворимые в соляной кислоте, %	0,1	0,1	0,1

Таким образом по результатам проведенных исследований установлены, что из пробы №1 получен гипс марки Г-16АIII — быстротвердеющий, тонкого помола, высокопрочный; проба №2: получен гипс марки Г-19АIII — быстротвердеющий, тонкого помола, высокопрочный; проба №3: получен гипс марки Г-13АIII — быстротвердеющий, тонкого помола, высокопрочный.

ISSN 3030-3907

Эксперименты показали, что на основе гипсовых минералов №2 возможно получение высокопрочных гипсовых вяжущих вышеприведенным способом без дополнительных расходов химических реагентов стабилизаторов схватывания и др.

4. **Заключение.** На основании вышеприведенных данных по химико-минералогическому составу можно сделать вывод о том, что гипсовые минералы Каракалпакстана могут быть рассмотрены в качестве основы для получения вяжущих веществ различного назначения.

В результате проведенных исследований предложены оптимальные параметры получения полуводного β-модификации (строительного) и полуводного α-модификации (высокопрочного) вяжущих на основе подобранных образцов. Согласно которым на производственной базе были получены строительные гипсы марок Г-19, Г-16, Г-13, Г-9, Г-7 и Г-5.

Результаты исследования установили на возможность получения всех указанных видов, форм и модификаций гипсовых вяжущих систем на основе гипсовых минералов Республики Каракалпакстан.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Глекель Ф.Л., Копп Р.З., Ахмедов К.С. Регулирование гидратационного структурообразования поверхностно-активными веществами / Ташкент: изд-во «Фан», УзССР, - 1986. - 224 с.
2. Аимбетов Н.К., Тлеумуратова Б.С., Мамбетуллаева С.М. Динамика и потенциал природной среды Каракалпакстана / КНИИЕН Каракалпакское отделение Академии наук Республики Узбекистан. - Нукус: Илим, 2017.- С. 191-200.
3. ГОСТ 4013-2019. Камень гипсовый и гипсоангидритовый для производства вяжущих материалов. Технические условия. – М.: 01.06.2020.
4. ГОСТ 23789-2018. Вяжущие гипсовые. Методы испытаний. – М.: 01.05.2019.
5. Справочник. Гипсовые материалы и изделия (производство и применение) / Под общ.ред. проф., д-ра техн. наук А.В. Ферронской. – М.: Изд-во АВС, 2004. – 485 с.
6. Dvorkin L.I., Dvorkin O.L. Building mineral binders // - Moscow: Infra-Engineering, 2011. pp. 36-37.
7. ГОСТ 125-2018. Вяжущие гипсовые. Технические условия. – М.: 01.05.2019.
8. Tokarev Y., Ginchitsky E., Sychugov S. Modification of gypsum binders by using carbon nanotubes and mineral additives // Procedia Engineering 12. Cep. «Modern Building Materials, Structures and Techniques» - 2017. - P. 1161-1168.

ISSN 3030-3907

9. Lanzón M., Garcia-Ruiz P.A. Effect of citric acid on setting inhibition and mechanical performance of gypsum plasters. Construction and Building Materials, 2012.
10. Туремуратов Ш.Н, Абылова А.Ж., Бекбосынова Р.Ж, Мнажов А.Н Изучение механизма и кинетики процесса дегидратации двуводного гипса // Вестник ККО АН РУз., 2024., №3., С. 32-41.
11. Mahmoud M.H.H., Rashad M.M., Ibrahim I.A., Abdel-Aal E.A. Crystal modification of calcium sulfate dihydrate in the presence of surface-active agents. Journal of Colloid and Interface Science, 2004, 270 (1), pp. 99–105.
12. Туремуратов Ш.Н. Минерально-сырьевые ресурсы Каракалпакстана для производства вяжущих и строительных материалов // Физиологически - активные соединения на основе растительных ресурсов и технология неорганических веществ: Материалы республиканской научно-практической конференции. - Нукус, 2008. - С. 3-9.
13. Абылова А.Ж., Туремуратов Ш.Н., Хамраев С.С. Низкообжиговые гипсовые вяжущие на основе гипсовых минералов Устюртского месторождения // Композиционные материалы. - 2014. -№2. – С. 75-81.

ISSN 3030-3907