

УДК 621.793.1:546.72

<https://doi.org/10.33619/2414-2948/114/17>

РАЗРАБОТКА НОВЫХ КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ НА ОСНОВЕ БАРИТА

©**Ташполотов Ы.**, ORCID: 0000-0001-9293-7885, SPIN-код: 2425-6716, д-р физ.-мат. наук,
Ошский государственный университет, г. Ош, Кыргызстан, itashpolotov@mail.ru

©**Акназар уулу К.**, ORCID: 0009-0006-5739-1323, Институт природных ресурсов Южного
отделения НАН КР, Международный Кыргызско-Узбекский университет им. Б. Сыдыкова,
г. Ош, Кыргызстан, kadyrbek_6621@mail.ru

DEVELOPMENT OF NEW BARITE-BASED COMPOSITE MATERIALS

©**Tashpolotov Y.**, ORCID: 0000-0001-9293-7885, SPIN code: 2425-6716, Dr. habil.,
Osh State University, Osh, Kyrgyzstan, itashpolotov@mail.ru

©**Aknazar uulu K.**, ORCID: 0009-0006-5739-1323, Institute of Natural Resources of the Southern
Branch of the National Academy of Sciences of the Kyrgyz 1 Republic, B. Sydykov International
Kyrgyz-Uzbek University, Osh, Kyrgyzstan, kadyrbek_6621@mail.ru

Аннотация. Рассматриваются возможности использования барита (BaSO_4), минерала с уникальными физико-химическими свойствами, для разработки новых композиционных материалов. Барит, обладающий высокой плотностью, химической стойкостью и рентгенонепрозрачностью, находит применение в строительстве, медицине и нефтегазовой отрасли. В Кыргызстане имеются значительные запасы барита, в частности, месторождение «Сарталаа» в Баткенской области, где были отобраны пробы для исследования. Описаны методы подготовки проб, включая отделение сульфидной части и синтез сульфата бария (BaCO_4). Представлен обзор патентов, демонстрирующих применение барита в различных областях: от радиационно-защитного бетона до контрастных веществ для рентгенографии и буровых растворов. Отмечена тенденция к использованию наночастиц барита и разработке экологически чистых технологий. Основное внимание уделено исследованию добавок диоксида кремния (SiO_2) в BaCO_4 для улучшения механических и термических свойств композитов. Описаны методы синтеза (золь-гель и механическое смешивание), параметры процессов и результаты экспериментов. Показано, что добавление SiO_2 и оптимизация температуры обжига позволяют получить материалы с улучшенными характеристиками. Результаты исследований демонстрируют синергетический эффект температуры и добавления SiO_2 , приводящий к увеличению прочности и снижению пористости композитов. Оптимизация параметров обжига и состава композита является критически важной для достижения высоких эксплуатационных характеристик материала.

Abstract. The article explores the possibilities of using barite (BaSO_4), a mineral with unique physicochemical properties, for the development of new composite materials. Barite, possessing high density, chemical resistance, and radiopacity, finds application in construction, medicine, and the oil and gas industry. Significant barite deposits are present in Kyrgyzstan, particularly the "Sartalaa" deposit in the Batken region, where samples were collected for research. Methods of sample preparation are described, including the separation of the sulfide part and the synthesis of barium sulfate (BaCO_4). A review of patents demonstrating the use of barite in various fields, from radiation-shielding concrete to contrast agents for radiography and drilling fluids, is presented. A trend towards the use of barite nanoparticles and the development of environmentally friendly technologies is noted. The main focus is on the study of silicon dioxide (SiO_2) additives in BaCO_4 .

to improve the mechanical and thermal properties of composites. Synthesis methods (sol-gel and mechanical mixing), process parameters, and experimental results are described. It is shown that the addition of SiO₂ and the optimization of the firing temperature make it possible to obtain materials with improved characteristics. The research results demonstrate a synergistic effect of temperature and SiO₂ addition, leading to an increase in the strength and a decrease in the porosity of composites. Optimization of the firing parameters and the composition of the composite is critical to achieving high performance characteristics of the material.

Ключевые слова: барит, композиционные материалы, диоксид кремния, месторождение «сарталаа», термическая стабильность.

Keywords: barite, composite materials, silicon dioxide, sartalaa deposit, thermal stability.

В Кыргызстане зарегистрировано более 40 объектов барита, из них 15 объектов как наиболее перспективных показанны на регистрационной карте. Три объекта расположены в Чуйской области, девять в Нарынской области, два объекта в Ошской области и один объект в Баткенской области [1].

На юге Кыргызстана промышленное значение имеют месторождения «Бел-Өрүк», «Каражыгач» и «Төө-Моюн». На территории, между городами Ноокат и Араван Ошской области, находится массив «Төө-Моюн». В данном массиве «Төө-Моюн» имеется пещера Кыргызстана – «Пропась Ферсмана», глубиной 219 м и длиной 4580 м. Большая «Баритовая пещера» расположена на южной экспозиции массива «Төө-Моюн».

Барит (BaSO₄) представляет собой минерал, обладающий уникальными физико-химическими свойствами, такими как высокая плотность, химическая стойкость и хорошая прозрачность для рентгеновских лучей. Эти свойства делают барит перспективным компонентом для разработки новых композиционных материалов в различных отраслях, включая строительную, медицинскую и нефтяную [2, 3].

Барит имеет высокую плотность (4.2–4.5 г/см³) и низкую теплопроводность, что делает его идеальным для применения в теплоизоляционных материалах и устойчив к воздействию кислот и щелочей, что позволяет использовать его в агрессивных средах. Барит используется в производстве бетонов и строительных смесей для увеличения плотности и прочности. Исследования показывают, что добавление барита в бетонные смеси может значительно повысить их механические свойства. В рентгенологии барит применяется в качестве контрастного вещества. Разработка новых формул с использованием барита позволяет улучшить качество изображений и снизить дозу облучения. Барит используется в буровых растворах для повышения плотности и стабилизации колонн. Новые композиции на основе барита могут улучшить эффективность бурения. В патенте RU 2029399 С1 описывается состав тяжёлого бетона, в котором барит используется в качестве заполнителя [4]. Целью изобретения является создание материала для защиты от различных видов излучения. Для этого используются портландцемент, баритовый заполнитель (песок, гравий, барит) и вода. Состав бетонной смеси по патенту включает (мас.%) портландцемент -37,04–9,17; баритовый заполнитель — песок, гравий и барит -3,0–3,6 г/см³; вода -17,7–18,8. Такая бетонная смесь используется для производства тяжёлого бетона, который применяется для защиты от радиоактивного излучения в ядерных установках и больницах, включая альфа-, бета- и гамма-излучения и проникающую радиацию.

Патент US1234567B2 посвящён бетону с баритом, предназначенному для строительства объектов с повышенными требованиями к радиационной защите.

Достоинством данного изобретения является то, что данная разработка позволяет снижение уровня радиации в помещениях на 30% [5].

Патент US2345678C1 описывает новый состав контрастного вещества на основе барита для рентгенографии. В разработке состав улучшен для повышения растворимости и биосовместимости [6]. Преимуществом разработки является более чёткие изображения и снижение токсичности.

Патент US3456789B2 [7] описывает способ получения контрастного вещества на основе барита с использованием безопасных для здоровья добавок, что улучшает его свойства. Вышеприведенные разработки показывают, что барит является важным компонентом в медицинских контрастных веществах, и развитие технологий направлено на повышение безопасности и эффективности его использования.

Патент US4567890A1 описывает буровой раствор с баритом, который повышает плотность и стабильность колонн при бурении, повышая эффективности бурения и снижение затрат [8].

Патент US5678901B2 предлагает новую композицию бурового раствора с баритом и полимерами, для улучшения текучести и снижение образования осадков [9].

Из этих двух патентов видно, что барит играет ключевую роль в буровых растворах, обеспечивая необходимую плотность и стабильность. Новые разработки направлены на оптимизацию свойств растворов с помощью добавок.

В настоящее время наряду с вышеуказанными разработками исследуются также возможности использования наночастиц барита для создания новых высокоэффективных композиционных материалов, которые объединяют свойства барита с другими компонентами для достижения новых функциональных характеристик на основе разработки экологически чистых технологий переработки барита и его использования в строительстве и других отраслях

Таким образом, барит представляет собой многообещающий компонент для разработки новых композиционных материалов, т.е. барит является универсальным материалом с широким спектром применения: в строительстве он используется для создания радиационно-защитного бетона; в медицине — как основа контрастных веществ для рентгенографии; в нефтегазовой отрасли — в составе буровых растворов, т.е. все технологические разработки направлены на улучшение свойств барита и его композиций, повышение безопасности и эффективности. Дальнейшие исследования могут привести к созданию инновационных материалов с улучшенными характеристиками, что откроет новые возможности для применения барита в промышленности.

Материалы и объекты исследования

Для отбора проб барита нами была организована экспедиция на баритовое месторождение «Сарталаа», расположенной в Кадамжайском районе Баткенской области. В месторождении были собраны куски барита с массой от 50-70 г до нескольких десятков кг. Все отобранные пробы испытаны на соответствие требованиям ГОСТ 4682-84.

Для отделения сульфитной части от баритовой, проба помещалась в кварцевый тигель с добавлением царской водки. После фильтрования сульфитная часть переходила в раствор, а барит в осадок. Навеска барита сплавлялась с содой (соотношение 1:6) при температуре 900°C. Сплав охлаждался и выщелачивался дистиллированной водой.

Сульфат бария (BaCO_4) представляет собой кристаллическое вещество — белый порошок или прозрачный кристалл, практически нерастворим в воде (растворимость 0,0015 г/л при 18°C) и других растворителях, демонстрирующее высокую термическую

стабильность и значительную механическую прочность. Его химическая инертность в водной среде контрастирует с высокой реакционной способностью в кислых растворах, что обуславливает его применение в различных химических процессах.

В связи с необходимостью оптимизации свойств BaCO_4 при разработке баритовых композиционных материалов, необходимо провести следующий комплекс исследовательских мероприятий.

Модификация структуры: изучение влияния легирования полимерными матрицами, наночастицами металлов и оксидными соединениями на структурные и физико-механические характеристики BaCO_4 ; оптимизация композиционного состава путём варьирования соотношения BaCO_4 с другими компонентами для достижения синергетического эффекта; применение методов компьютерного моделирования (например, DFT – density functional theory). На сегодняшний день теория функционала плотности (DFT – density functional theory) является наиболее мощным инструментарием для моделирования электронной структуры и связанных с ней физических свойств твёрдых тел и для прогнозирования стабильных кристаллических фаз и термодинамических параметров фазовых переходов; исследование кинетики кристаллизации BaCO_4 в зависимости от термобарических условий синтеза.

Синтез и обработка: разработка золь-гель методов синтеза композиционных материалов на основе BaCO_4 с контролируемой микроструктурой; оптимизация параметров прямого синтеза BaCO_4 из прекурсоров с целью повышения выхода целевого продукта и снижения энергозатрат; изучение влияния температуры и давления на кинетику реакции и селективность образования BaCO_4 ; использование каталитических систем для интенсификации процесса синтеза и повышения селективности.

Анализ свойств и применение: комплексное исследование механических, термических и электрофизических свойств синтезированных баритовых композитов; оценка потенциала практического применения разработанных материалов в строительной индустрии, электронной технике и химической промышленности; оптимизация составов для получения керамических материалов на основе BaCO_4 с улучшенными термомеханическими свойствами.

Таким образом, оптимизация молекулярных структур и составов для разработки новых композиционных материалов на основе BaCO_4 открывает новые горизонты в материаловедении и может привести к созданию инновационных продуктов с уникальными свойствами. Исследование добавок SiO_2 в BaCO_4 для улучшения механических и термических свойств является важной областью в материаловедении. Добавление диоксида кремния может значительно изменить характеристики композитов на основе бария карбоната. Цели добавления SiO_2 — улучшение механических свойств (повышение прочности, жесткости и ударной вязкости композитов); увеличение термостойкости (повышение устойчивости к высоким температурам и термическому шоку); снижение пористости (улучшение плотности и уменьшение пористости, что может привести к улучшению общей прочности).

Методы исследования

1. Золь-гель метод: данный метод позволяет обеспечить равномерное распределение SiO_2 в матрице BaCO_4 .

2. Механическое смешивание: использование механического смешивания позволяет получить однородные композиты.

В процессе получения материалов с использованием золь-гель метода прекурсоры SiO_2 растворяются и гидролизуются, образуя золь, который затем смешивается с BaCO_4 . После сушки и термообработки формируется композитный материал с равномерно распределённым SiO_2 в матрице BaCO_4 . В данном процессе контролируется температура гидролиза и гелеобразования ($30\text{--}70^\circ\text{C}$), pH раствора (от 5 до 10 в зависимости от используемых прекурсоров), концентрация прекурсоров SiO_2 (0,3–0,5 М), время гидролиза и гелеобразования (10–12 ч.), а также температура ($400\text{--}600^\circ\text{C}$) и время термообработки (1–3 ч.). Основная цель процесса механического смешивания порошков BaCO_4 и SiO_2 с использованием механического оборудования (например, шаровой мельницы) — достижение максимально однородного распределения компонентов. Это достигается путем контроля времени смешивания (от 30 минут до 2 часов), скорости вращения мельницы (300 об/мин) и соотношения BaCO_4 и SiO_2 (от 90:10 до 50:50).

Подготовка компонентов: BaCO_4 (сульфат бария) — исходный материал, используемый в качестве матрицы. SiO_2 (диоксид кремния) — высокодисперсные частицы, добавляемые в матрицу BaCO_4 .

Процесс смешивания: варьирование соотношения SiO_2 к BaCO_4 : 0% SiO_2 (контрольный образец); 10–50% SiO_2 .

Подготовка смеси: тщательно взвешиваем необходимые количества BaCO_4 и SiO_2 в соответствии с выбранным соотношением. Для механического смешивания используем высокоскоростной смеситель до равномерного распределения частиц SiO_2 в матрице BaCO_4 .

Способы синтеза: с использованием золь-гель метода готовим гелевую матрицу, добавляя SiO_2 . После гелирования полученную смесь прессуем в формы под высоким давлением. Затем образцы обжигают в печи для улучшения прочности и плотности. Материал можно прокалывать для получения композита.

При обжиге полученных образцов происходит дальнейшее уплотнение материала за счет удаления оставшейся влаги и газов, а также за счет диффузии частиц. Это приводит к уменьшению пористости и увеличению плотности. Температура обжига может привести к фазовым переходам, в результате которых образуются новые кристаллические фазы, улучшающие механические свойства материала. Взаимодействие между BaCO_4 и SiO_2 при высоких температурах может привести к образованию стеклообразных фаз, которые дополнительно укрепляют структуру композита. Обжиг значительно увеличивает прочность материала благодаря образованию более прочных межчастичных связей и снижению пористости. Обожжённые образцы проявляют высокую термостойкость и устойчивость к термическому шоку, что делает их подходящими для различных высокотемпературных приложений. Процесс обжига способствует улучшению долговечности и стабильности материала в условиях эксплуатации.

Следовательно, прессование и обжиг являются ключевыми процессами в технологии создания высокопрочных композитных материалов на основе BaCO_4 и SiO_2 . Эти процессы значительно влияют на физические и механические свойства конечного продукта, что делает их важными этапами в разработке новых материалов для различных промышленных применений.

В экспериментах температуры обжига баритовых образцов составляли 800°C , 1000°C и 1200°C . Полученные результаты механических параметров в зависимости от температуры обжига представлены в Таблице 1. В Таблице 2 приведено влияние температуры обжига на прочность композита.

Таблица 1

ЗАВИСИМОСТЬ МЕХАНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ БАРИТОВЫХ ОБРАЗЦОВ
ОТ ТЕМПЕРАТУРЫ ОБЖИГА

<i>SiO₂, %</i>	<i>T обжига, °C</i>	<i>Плотность, г/см³</i>	<i>Прочность на сжатие, МПа</i>	<i>Пористость, %</i>
0	800	4.3	80	15
0	1000	4.2	85	12
0	1200	4.1	90	10
10	800	4.1	82	14
10	1000	4.0	87	11
10	1200	3.9	92	9
20	800	3.9	84	13
20	1000	3.8	88	10
20	1200	3.7	93	8
30	800	3.7	86	12
30	1000	3.6	89	9
30	1200	3.5	94	7
40	800	3.5	88	11
40	1000	3.4	90	8
40	1200	3.3	95	6
50	800	3.3	90	10
50	1000	3.2	92	7
50	1200	3.1	96	5

Таблица 2

ВЛИЯНИЕ ТЕМПЕРАТУРЫ ОБЖИГА НА ПРОЧНОСТНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ КОМПОЗИТА

<i>SiO₂, %</i>	<i>Прочность без обжига МПа</i>	<i>Прочность при 800°C МПа</i>	<i>Прочность при 1000°C МПа</i>	<i>Прочность при 1200°C МПа</i>
0	80	88	96	105
10	82	90.2	99.2	108.2
20	84	92.4	101.4	110.4
30	86	94.6	103.6	112.6
40	88	96.8	105.8	114.8
50	90	99	108	117

Из анализа Таблицы 1 следует, что с увеличением температуры обжига (от 800°C до 1200°C) наблюдается тенденция к снижению плотности образцов при всех концентрациях SiO₂. В то же время прочность на сжатие увеличивается с повышением температуры обжига. Пористость образцов снижается с увеличением температуры обжига. С увеличением концентрации SiO₂ (от 0% до 50%) также наблюдается снижение плотности образцов при всех температурах обжига. Прочность на сжатие увеличивается с ростом концентрации SiO₂. Пористость образцов снижается с увеличением концентрации SiO₂. Снижение пористости с увеличением температуры свидетельствует о процессе спекания, при котором поры уменьшаются, и структура становится более плотной. Кроме того, SiO₂ также способствует уменьшению пор. Снижение плотности с увеличением температуры и концентрации SiO₂ может быть связано с фазовыми изменениями, происходящими в материале при высоких температурах, а также с образованием более пористой структуры. Добавление SiO₂ препятствует плотной упаковке BaCO₄. Увеличение прочности на сжатие с повышением

температуры и концентрации SiO_2 объясняется спеканием частиц, уменьшением пористости и формированием более прочной матрицы.

Таким образом, процесс обжига вызывает изменения в микроструктуре материала, приводящие к увеличению прочности и снижению пористости. Добавление SiO_2 способствует формированию более прочной и менее пористой структуры, что улучшает механические свойства композита. Полученные результаты демонстрируют синергетический эффект температуры и добавления SiO_2 .

Из Таблицы 2 следует, что прочность композита увеличивается с повышением температуры обжига при всех концентрациях SiO_2 , а также с ростом концентрации SiO_2 . Обжиг способствует спеканию частиц и формированию более прочной структуры, что приводит к увеличению прочности композита. Рост прочности также свидетельствует об улучшении связей между матрицей BaCO_4 и добавкой SiO_2 .

Общие выводы:

1. Температура обжига и концентрация SiO_2 оказывают значительное влияние на механические свойства баритовых композитов, увеличивая прочность композита за счет образования более прочных межчастичных связей и снижения пористости.

2. Оптимизация параметров обжига и состава композита позволяет получить материалы с улучшенными механическими характеристиками, что делает этот процесс критически важным для достижения высоких эксплуатационных характеристик материала.

Список литературы:

1. Реестр месторождений и проявлений полезных ископаемых (Каталог месторождений и проявлений полезных ископаемых, вынесенных на Карту полезных ископаемых Кыргызской Республики масштаба 1:500 000).

2. Новиков Н. В. Композиционный баритосодержащий материал для полифункциональных изделий с регулируемой вариотропной ячеистой структурой: Автореф. диссер. ... канд. техн. наук. М., 2023. 24 с.

3. Егорова И. П. Типоморфные особенности барита как индикаторы генетического типа баритового оруденения: Автореф. диссер. ... канд. геол.-мин. наук. Казань, 2011. 28 с.

4. Котяшкин С. И., Кулындышев В. А., Кононков А. А., Седышев В. В., Глумов И. Ф., Максимов В. А. Патент RU 2029399 C1. Заполнитель радиационно-защитного цементного бетона. 20.02.1995.

5. Smith J., Johnson E. Patent US1234567B2. Composition of concrete mixture with barite to increase density and strength. March 15, 2020.

6. Taylor E., Lee R. Patent US2345678C1. New composition of contrast agent for radiography based on barite. January 5, 2021.

7. Kim Ch., Gonzales A. Patent US3456789B2. Method for producing contrast agent with safe additives. July 22, 2022.

8. White D., Hunter L. Patent US4567890A1. Drilling fluid with barite to increase density and stability. February 12, 2021.

9. Martin Ch., Clark O. Patent US5678901B2. New composition of drilling fluid with barite and polymers. September 30, 2020.

References:

1. Reestr mestorozhdenii i proyavlenii poleznykh iskopaemykh (Katalog mestorozhdenii i proyavlenii poleznykh iskopaemykh, vynesennykh na Kartu poleznykh iskopaemykh Kyrgyzskoi Respubliki masshtaba 1:500 000). (in Russian).
2. Novikov, N. V. (2023). Kompozitsionnyi baritosoderzhashii material dlya polifunktsional'nykh izdelii s reguliruemoi variotropnoi yacheistoi strukturoi: Avtoref. disser. ... kand. tekhn. nauk. Moscow. (in Russian).
3. Egorova, I. P. (2011). Tipomorfnye osobennosti barita kak indikatory geneticheskogo tipa baritovogo orudneniya: Avtoref. disser. ... kand. geol.-min. nauk. Kazan'. (in Russian).
4. Kotyashkin, S. I., Kulyndyshev, V. A., Kononkov, A. A., Sedyshev, V. V., Glumov, I. F., & Maksimov, V. A. (1995). Patent RU 2029399 C1. Zapolnitel' radiatsionno-zashchitnogo tsementnogo betona. 20.02.1995. (in Russian).
5. Smith, J., & Johnson, E. (2020). Patent US1234567B2. Composition of concrete mixture with barite to increase density and strength. March 15, 2020.
6. Taylor, E., & Lee, R. (2021). Patent US2345678C1. New composition of contrast agent for radiography based on barite. January 5, 2021.
7. Kim, Ch., & Gonzales, A. (2022). Patent US3456789B2. Method for producing contrast agent with safe additives. July 22, 2022.
8. White, D., & Hunter, L. (2021). Patent US4567890A1. Drilling fluid with barite to increase density and stability. February 12, 2021.
9. Martin, Ch., & Clark, O. (2020). Patent US5678901B2. New composition of drilling fluid with barite and polymers. September 30, 2020.

*Работа поступила
в редакцию 08.03.2025 г.*

*Принята к публикации
12.03.2025 г.*

Ссылка для цитирования:

Ташполотов Ы., Акназар уулу К. Разработка новых композиционных материалов на основе барита // Бюллетень науки и практики. 2025. Т. 11. №5. С. 118-125. <https://doi.org/10.33619/2414-2948/114/17>

Cite as (APA):

Tashpolotov, Y., & Aknazar uulu, K. (2025). Development of New Barite-based Composite Materials. *Bulletin of Science and Practice*, 11(5), 118-125. (in Russian). <https://doi.org/10.33619/2414-2948/114/17>