



Сушильные свойства и формирование конденсационной структуры керамических изделий на основе вскрышных пород угледобычи

¹***ВЫШАРЬ Ольга Викторовна**, докторант, leya.stn@mail.ru,

¹**РАХИМОВА Галия Мухамедиевна**, к.т.н., ассоциированный профессор, g.rakhimova@kstu.kz,

²**СТОЛБОУШКИН Андрей Юрьевич**, д.т.н., профессор, stanyr@list.ru,

³**СТАНЕВИЧ Виктор Тадеушевич**, к.т.н., профессор, svt_18@mail.ru,

¹**РАХИМОВ Мурат Аманжолович**, к.т.н., ассоциированный профессор, m.rakhimov@kstu.kz,

¹НАО «Карагандинский технический университет имени Абылкаса Сагинова», Казахстан, Караганда, пр. Н. Назарбаева, 56,

²Сибирский государственный индустриальный университет, Россия, Новокузнецк, ул. Кирова, 42,

³НАО «Торайгыров университет», Казахстан, Павлодар, ул. Ломова, 64,

*автор-корреспондент.

Аннотация. В статье отражены результаты исследований сушильных свойств и процессов формирования конденсационной структуры керамических изделий на основе вскрышных пород угледобычи Экибастузского угольного бассейна различных литологических типов и горизонтов залегания. Выявлены особенности формирования конденсационной структуры керамических строительных изделий на основе оптимальных фракционных составов. Проведено сравнение свойств керамических образцов из этих составов, отформованных на прессе с вакуумированием и без него. Определены значения воздушной усадки, предела прочности на излом, кажущейся пористости и плотности. Установлено, что вскрышные породы угледобычи по сушильным, физико-механическим свойствам являются малочувствительными к сушке сырьем, близким к традиционным глинам, и при специальной технологической подготовке могут использоваться для производства керамических изделий.

Ключевые слова: керамические изделия, вскрышные породы угледобычи, химический состав, водные свойства, сушильные свойства.

Введение

На крупнейшем в мире Экибастузском месторождении при открытой добыче угля образуется огромное количество отходов – вскрышных пород, удаляемых в отвалы. В настоящее время в отвалах накоплено около 4 млрд м³ вскрышных пород. Отвалы вскрышных пород угледобычи занимают большие площади и имеют высоту до 100 метров. Отходы угледобычи ухудшают экологическую обстановку в регионе и являются источниками пыльных бурь, возгораний и загазованности.

Вскрышные породы угледобычи представлены в основном аргиллитами и алевролитами. Они отличаются от других видов минерального сырья содержанием органических веществ. Отходы угледобычи имеют особенности физико-механических и физико-химических свойств в результате углефикации и метаморфизации пород [1, 2].

Широкомасштабному использованию угольных отходов препятствует недостаточная изученность их свойств. Отсутствуют научно обоснованные технологии переработки угольных отходов и методики оценки показателей их технологических свойств [3].

В настоящее время отходы угледобычи применяются на кирпичных заводах в качестве добавок при производстве стеновой керамики [4].

Основным технологическим требованием к сушке при производстве керамики является отсутствие трещин на поверхности изделий и искажения их формы (коробления).

Процесс формирования конденсационной структуры при сушке изделий является промежуточной стадией между коагуляционной и кристаллизационной структурами керамического материала. Коагуляционная структура формируется при формовании сырца, а кристаллизационная структура при обжиге керамики. Основные положения теории и практики при сушке керамики изложены в работе [5].

Образование трещин является основным дефектом при сушке. Эти дефекты связаны с деформациями материала из-за неравномерных полей влагосодержания и температуры. Также установлено, что образование трещин вызывает избыточное давление паров влаги внутри изделия при интенсивном внутреннем парообразовании. Наиболее опасными при этом являются напряжения, вызванные перепадами влагосодержания [6].

При поверхностном испарении влаги сушка изделий по всему объему будет происходить в том случае, если влага перемещается от центра к поверхности материала. Перемещение влаги в изделиях протекает под действием различных факторов. Их интенсивность зависит от структуры сформованного изделия, формы связи влаги с массой и основных параметров сушки: температуры, относительной влажности и скорости движения теплоносителя [7, 8].

В настоящее время мало изучены процессы формирования конденсационной структуры ке-

рамики на основе вскрышных пород угледобычи в зависимости от режимов и параметров сушки сырцовых изделий. Проведение исследований в этой области является актуальным.

Цель работы заключается в комплексном исследовании процессов структурообразования при сушке изделий из вскрышных пород угледобычи.

Задачи исследования:

- исследование химического, гранулометрического и минерального составов вскрышных пород угледобычи;

- определение и анализ степени влияния фракционного состава масс на сушильные свойства образцов, отформованных на прессе с вакуумированием;

- определение значений воздушной усадки, газопроницаемости, предела прочности на излом, кажущейся пористости и плотности.

Методы исследования

В работе использовались современные методы физико-механических испытаний и прецизионные методы исследований: рентгеновская порошковая дифрактометрия, инфракрасная спектроскопия поглощения, сканирующая электронная микроскопия, кварцевая dilatометрия и др. [9].

Данные химического анализа вскрышных пород различного литологического приведены в таблице 1.

Содержание оксида кремния SiO₂ составляет 56,7-61,3%. Он находится в связанном и свободном состояниях. Связанный кремнезем входит в состав глинообразующих минералов, свободный кремнезем находится в виде примесей тонкодисперсного кварца, его содержание в пробах составляет 16-25%. По содержанию свободного кварца отходы угледобычи относятся к группе сырья со средним содержанием кварца.

Оксид алюминия Al₂O₃ преимущественно входит в состав глинообразующих минералов и слюдяных примесей. Его содержание для аргиллитов составляет 17,6-18,4%, для алевролитов – 17,6-18,5%. Следует отметить, что количество глинозема снижается со снижением горизонта залегания вскрыши от +50 до +150 м для аргиллитовой составляющей проб. По его содержанию в прокаленном состоянии все исследуемые породы относятся к группе полукислого сырья.

Содержание оксидов железа в исследуемых пробах составляет для аргиллитов 5,6-6,4%, для алевролитов 3,4-4,18%. Соединения железа представлены в основном пиритом и сидеритом. Вскрышные породы по содержанию оксидов железа относятся к группе сырья с высоким содержанием красящих оксидов.

Оксиды щелочноземельных металлов входят в состав глинистых минералов и карбонатов. Суммарное содержание оксидов кальция и магния составляет для аргиллитов 1,67-2,3%, для алевролитов 1,09-1,84%.

Общее количество оксидов натрия и калия в литологических типах различных горизонтов залегания вскрышных пород колеблется от 2,96 до 3,36%. Содержание оксида серы SO_3 не превышает 0,28%, что характерно для низкосернистого экологически безопасного сырья. Кроме того, вскрышные породы содержат органический углерод.

По минералогическому составу вскрышные породы относятся к сырью каолинит-гидрослюдистого типа. Из неглинистых минералов исследуемые пробы содержат примеси кварца, полевого шпата, смешаннослойных минералов, а также органических веществ [10].

Петрографические исследования изучаемых пород показали, что они в основном сложены глинистыми минералами: каолинитом и гидрослюдой; обломочными породами в виде кварца и полевых шпатов, железистыми минералами и карбонатными включениями. Во всех пробах присутствует органическое вещество в виде вытянутых стяжений неправильной формы, количество

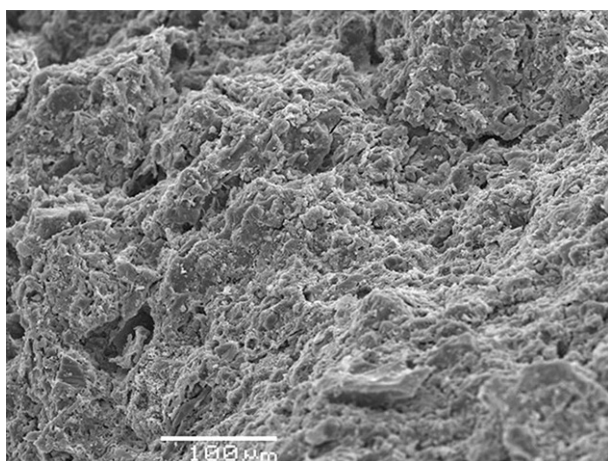
включений органического вещества колеблется от 5 до 10% для алевролитов и от 10 до 12% для аргиллитов. Исследование характерных участков микроструктуры вскрышных пород проводилось при помощи сканирующего электронного микроскопа (рисунок 1).

С учетом гранулометрического состава углеотходов и на основе ранее подобранных оптимальных фракционных составов вскрышных пород были отформованы серии образцов диаметром 50 мм и высотой 45-55 мм.

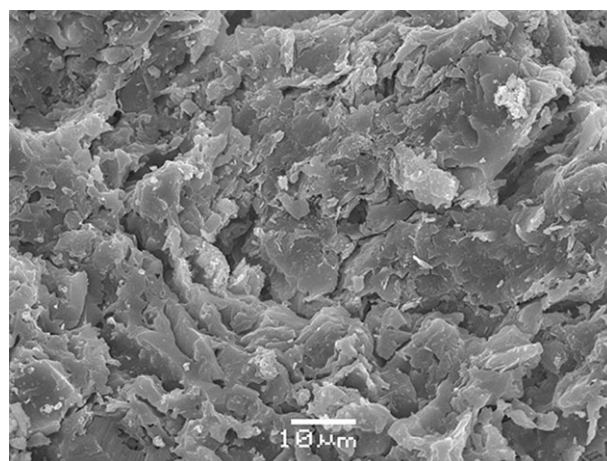
Отформованные образцы выдерживали в сушильном шкафу 24 часа при максимальной температуре $90 \pm 5^\circ\text{C}$. После сушки определяли воздушную усадку и другие характеристики. Обжиг производили в лабораторной печи при автоматическом управлении режима обжига со средней скоростью подъема температуры 1-3 град/мин и выдержкой при максимальной температуре 1,5-2 часа по установленному режиму при температуре 1000°C .

Таблица 1 – Химический состав исследуемых проб

Наименование сырья	Массовое содержание, % (после прокаливании)											
	SiO_2	TiO_2	Al_2O_3	$\text{Fe}_2\text{O}_3 + \text{FeO}$	MgO	MnO	CaO	Na_2O	K_2O	P_2O_5	SO_3	п.п.п.
Горизонт +50 м												
Аргиллит	56,7	0,9	17,6	5,6	1,1	0,1	0,2	1,2	1,9	0,25	0,15	12,05
Алевролит	61,1	1,03	18,5	3,4	0,9	0,12	0,85	1,32	2,06	0,25	0,21	10,4
Горизонт +100 м												
Аргиллит	57,7	0,85	17,7	6,4	1,2	0,1	0,77	0,57	2,39	0,3	0,10	11,0
Алевролит	59,9	0,93	17,96	4,18	1,1	0,09	0,74	1,06	2,24	0,25	0,22	10,9
Горизонт +150 м												
Аргиллит	57,7	0,86	18,4	5,6	0,94	0,12	0,73	0,47	2,54	0,38	0,19	11,6
Алевролит	61,3	0,93	17,6	4,02	0,03	0,08	0,56	1,38	2,11	0,28	0,28	10,06



a



b

Рисунок 1 – Микрофотографии структуры аргиллита горизонта +100 м, увеличение соответственно: 150× (a); 750× (b), сканирующий электронный микроскоп

Результаты и обсуждение

В процессе сушки коагуляционная структура отформованного изделия переходит в конденсационную структуру сухих изделий. Формирование конденсационной структуры происходит в условиях постоянного изменения размеров изделий при удалении из них воды. Величина напряжений, возникающих в результате усадочных деформаций, не должна превышать предела прочности изделия.

Для определения возможности регулирования сушильных свойств отходов угледобычи проведены исследования зависимости изменения конденсационной структуры образцов от фракционного состава пород.

При планировании и проведении экспериментов разработаны трехкомпонентные фракционные составы, в которых за X_1 , X_2 и X_3 приняты следующие интервалы фракций: $X_1 = 0,5-0,25$ мм; $X_2 = 0,25-0,125$ мм; $X_3 \leq 0,125$ мм.

Результаты исследования сушильных свойств вскрышных пород угледобычи Экибастузского угольного бассейна приведены в таблице 2.

При изменении горизонта залегания пород от +50 до –150 м характерно уменьшение коэффициента чувствительности к сушке, воздушной усадке и увеличение периода облучения до появления трещин.

Анализ полученных результатов (таблицы 3, 4) показал, что при увеличении содержания

Таблица 2 – Сушильные свойства вскрышных пород

Порядковый номер состава	Критическая влажность, $W_{кр}$, %	Коэффициент чувствительности к сушке, $\frac{W_{ф} - W_{кр}}{W_{кр}}$	Период облучения до появления трещин, Z_0 , с	Воздушная линейная усадка, %
Горизонт +50 м				
1	7,8	1,31	129	3,8
2	8,9	1,41	125	5,6
3	8,8	1,44	103	7,0
Горизонт +100 м				
1	8,2	1,11	151	3,2
2	8,5	1,21	140	5,1
3	9,4	1,31	128	6,3
Горизонт +150 м				
1	7,3	1,03	159	2,8
2	8,4	1,12	151	4,7
3	9,1	1,25	141	5,5

Таблица 3 – Зависимость физико-механических свойств высушенных образцов от фракционного состава отходов угледобычи

Порядковый номер состава	Формовочная влажность, $W_{отн}$	Критическая влажность, $W_{кр}$	Воздушная усадка, %	Кажущаяся пористость, %	Предел прочности на излом, МПа
Горизонт +50 м					
1	17,4	8,0	4,3	10,0	1,8
2	18,2	5,1	2,3	16,5	1,4
3	18,5	4,7	2,4	16,4	1,1
Горизонт +100 м					
1	17,6	7,2	3,3	13,1	3,3
2	18,2	3,2	0,8	16,2	1,6
3	18,6	2,2	0,7	18,0	1,2
Горизонт +150 м					
1	16,8	8,7	5,8	19,8	2,6
2	17,4	8,1	3,4	10,9	2,2
3	18,2	4,1	2,4	12,4	3,3

фракции 0,125 мм до 50% и фракции 0,5 мм до 30% отмечается снижение воздушной усадки образцов на 4-5%.

По коэффициенту чувствительности к сушке массы из отходов угледобычи относятся к малочувствительным к сушке. При этом выявлено, что при ограничении содержания фракции 0,125 мм до 45-70% в процессе сушки происходит снижение усадочных деформаций образцов. С учетом результатов исследований коагуляционных структур аргиллитов-алевролитовых масс были подобраны оптимальные соотношения фракций (рисунок 2), обеспечивающие образование бездефектных конденсационных структур.

Таким образом, изменение фракционного состава измельченных отходов угледобычи дает возможность регулировать не только сушильные свойства, но и газопроницаемость образцов, которая является важным условием выгорания орга-

нического вещества при обжиге.

При увеличении содержания фракции 0,5 мм до 30-50% и фракции 0,25 мм до 25-30% в измельченных отходах угледобычи газопроницаемость образцов повышается по сравнению с образцами с преобладанием фракции 0,125 мм. В области этих составов образуется наиболее плотная упаковка частиц измельченных пород угледобычи.

С учетом полученных результатов исследований были скорректированы ограниченные ранее области фракционных составов угледобычи, обеспечивающие формирование керамических масс с оптимальными формовочными свойствами.

Следует отметить, что при формовании образцов с вакуумированием прочность на излом высушенных изделий в 1,5-2 раза выше за счет уплотнения изделий. При этом газопроницаемость образцов уменьшается в большей мере, чем кажущаяся пористость, что обусловлено измене-

Таблица 4 – Зависимость физико-механических свойств от условий формования на прессе					
Условия формования на прессе	Воздушная усадка, %	Предел прочности на излом, МПа	Кажущаяся пористость, %	Газопроницаемость, $K_a \cdot 10^{-15} \text{ м}^2$	Кажущаяся плотность, кг/м^3
Горизонт +50 м					
без вакуума	2,5	1,9	15,9	18,1	1840
с вакуумом	1,6	3,5	14,3	1,4	1833
Горизонт +100 м					
без вакуума	1,1	2,1	16,0	24,4	1898
с вакуумом	0,8	2,8	15,4	2,0	1835
Горизонт +150 м					
без вакуума	3,4	1,9	9,9	8,1	1869
с вакуумом	3,0	3,4	9,7	1,1	1828

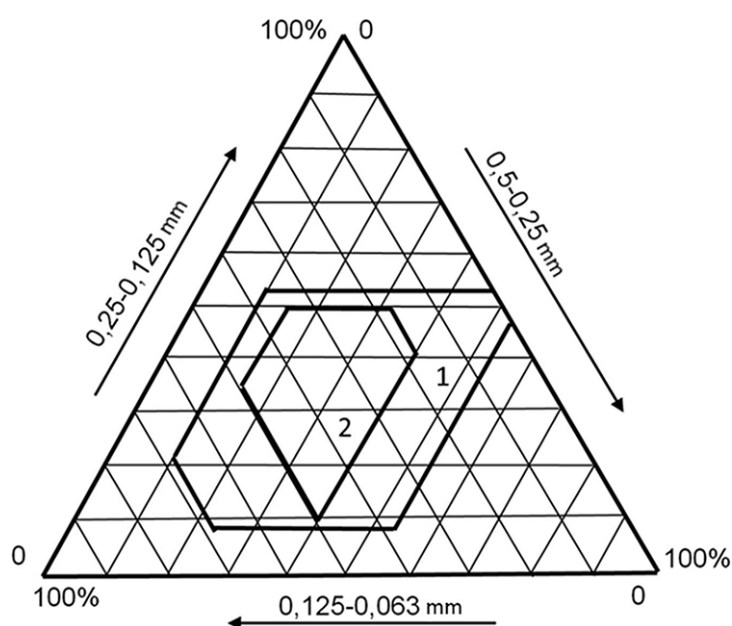


Рисунок 2 – Диаграмма области фракционного состава вскрышных пород угледобычи оптимальных по структурно-механическим (1) и сушильным (2) свойствам

нием количества и формы пор.

Выводы

По результатам исследований можно сделать следующие выводы:

- с изменением степени измельчения пород от 0,5 мм до 0,125 мм происходит увеличение воздушной усадки образцов в 1,5-2 раза;
- газопроницаемость высушенных образцов из отходов угледобычи уменьшается при увеличении содержания в них фракции менее 0,125 мм;
- использование процесса вакуумирования

увеличивает прочность на излом высушенных изделий в 1,5-2 раза за счет их уплотнения;

- определены области фракционных составов, оптимальные по сушильным свойствам керамических изделий: 0,5-0,25 мм – 5-50%; 0,25-0,125 мм – 5-60%; менее 0,125 мм – 45-70%;

- вскрышные породы угледобычи по физико-механическим, технологическим свойствам близки к традиционному глинистому сырью и могут при соответствующей технологической подготовке использоваться для производства керамических изделий.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Рахимов Р.З. Магдеев У.Х., Ярмаковский В.Н. Экология, научные достижения и инновации в производстве строительных материалов на основе и с применением техногенного сырья // Строительные материалы. – 2009. – № 12. – С. 8-11.
2. Бурученко А.Е. Возможности использования вторичного сырья для получения строительной керамики и ситаллов // Вестник Тувинского государственного университета. – 2013. – Вып. № 3 (18). – С. 7-14.
3. Котляр А.В., Каргин Н.С., Борисенко О.Г. Клинкерный кирпич на основе аргиллитоподобных глин и карбонатных добавок // Современное состояние и перспективы развития инженерно-экологических систем, строительных технологий, материалов и качества в строительстве. – 2015. – № 4. – С. 312-315.
4. Абдрахимов В.З., Хасаев Г.Р., Абдрахимова Е.С. и др. Экологические, теоретические и практические аспекты использования алюмосодержащих отходов в производстве керамических материалов различного назначения без применения природного традиционного сырья // Экология и промышленность России. – 2013. – № 5. – С. 28-32.
5. Станевич В.Т., Кудрышова Б.Ч., Смаилова Б.О., Станевич О.В. Использование отходов промышленности для производства керамических дренажных труб // Научный журнал ПГУ им. С.Торайгырова «Наука и техника Казахстана». – 2010. – № 1. – С. 97-104.
6. Столбоушкин А.Ю. Теоретические основы формирования керамических матричных композитов на основе техногенного и природного сырья // Строительные материалы. – 2011. – № 2. – С. 10-13.
7. Ткачев А.Г., Яценко Е.А., Смолий В.А. Влияние углепромышленных отходов на формовочные, сушильные и обжиговые свойства керамической массы // Техника и технология силикатов. – 2013. – № 2. – С. 17-21.
8. Гайшун Е.С., Рогочая М.В., Явруян Х.С. Техногенное сырьё угольного ряда в производстве стеновой керамики // Строительство и архитектура. – 2015. – С. 266-268.
9. Столбоушкин А.Ю. Стеновые керамические материалы матричной структуры на основе обогащения отходов углистых аргиллитов // Известия вузов. Строительство. – 2013. – № 2-3. – С. 28-36.
10. Котляр В.Д., Устинов А.В., Ковалёв В.Ю. и др. Керамические камни компрессионного формования на основе опок и отходов углеобогащения // Строительные материалы. – 2013. – № 4. – С. 44-48.

Көмір өндірудің аршылған жыныстары негізінде керамикалық бұйымдардың кептіру қасиеттері және конденсациялық құрылымын қалыптастыру

¹***ВЫШАРЬ Ольга Викторовна**, докторант, lelya.stn@mail.ru,

¹**РАХИМОВА Галия Мухамедиевна**, т.ғ.к., қауымдастырылған профессор, g.rakhimova@kstu.kz,

²**СТОЛБОУШКИН Андрей Юрьевич**, т.ғ.д., профессор, stanyr@list.ru,

³**СТАНЕВИЧ Виктор Тадеушевич**, т.ғ.к., профессор, svt_18@mail.ru,

¹**РАХИМОВ Мурат Аманжолович**, т.ғ.к., қауымдастырылған профессор, m.rakhimov@kstu.kz,

¹«Әбілқас Сағынов атындағы Қарағанды техникалық университеті» КеАҚ, Қазақстан, Қарағанды, Н. Назарбаев даңғылы, 56,

²Сібір мемлекеттік индустриалды университеті, Ресей, Новокузнецк, Киров көшесі, 42,

³«Торайғыров университеті» КеАҚ, Қазақстан, Павлодар, Ломов көшесі, 64,

*автор-корреспондент.

Аңдатпа. Мақалада әр түрлі литологиялық типтегі Екібастұз көмір бассейнінің көмір өндірудің аршылған жыныстары негізінде керамикалық бұйымдардың конденсациялық құрылымын қалыптастыру процестері мен кептіру қасиеттерін зерттеу нәтижелері көрсетілген. Оңтайлы фракциялық құрамдар негізінде керамикалық құрылыс бұйымдарының конденсациялық құрылымын қалыптастыру ерекшеліктері анықталды. Осы композициялардан алынған керамикалық үлгілердің қасиеттері вакууммен және онсыз баспасөзде қалыпталанған. Ауаның шөгудің мандері, сынықтағы беріктік шегі, көрінетін кеуектілік пен тығыздық анықталды. Кептіру, физика-механикалық қасиеттері бойынша көмір өндірудің аршылған жыныстары дәстүрлі саздарға жақын кептіруге сезімталдығы төмен шикізат болып табылатыны және арнайы технологиялық дайын-

дықта керамикалық бұйымдарды өндіру үшін пайдаланылуы мүмкін екендігі анықталды.

Кілт сөздер: керамикалық бұйымдар, көмір өндірудің аршылған жыныстары, химиялық құрамы, су қасиеттері, кептіру қасиеттері.

Drying Properties and Formation of Condensation Structure of Ceramic Products Based on Overburden from Coal Mining

¹***VYSHAR Olga**, Doctoral Student, lelya.stn@mail.ru,

¹**RAKHIMOVA Galiya**, Cand. of Tech. Sci., Associate Professor, g.rakhimova@kstu.kz,

²**STOLBOUSHKIN Andrey**, Dr. of Tech. Sci., Professor, stanyr@list.ru,

³**STANEVICH Victor**, Cand. of Tech. Sci., Professor, svt_18@mail.ru,

¹**RAKHIMOV Murat**, Cand. of Tech. Sci., Associate Professor, m.rakhimov@kstu.kz,

¹NPJSC «Abylkas Saginov Karaganda Technical University», Kazakhstan, Karaganda, N. Nazarbayev Avenue, 56,

²Siberian State Industrial University, Russia, Novokuznetsk, Kirov Street, 42,

³NCJSC «Toraighyrov University», Kazakhstan, Pavlodar, Lomov Street, 64,

*corresponding author.

Abstract. In the article results of research on drying properties and processes of formation of condensation structure of ceramic products based on overburden rocks of coal mining of Ekibastuzsky coal basin of various lithological types and horizons of occurrence are reflected. Features of the formation of condensation structure of ceramic building products based on optimum fractional compositions are revealed. Comparison of properties of ceramic samples from these compositions, molded on the press with vacuumization and without it is carried out. The values of air shrinkage, fracture strength, apparent porosity, and density have been determined. It is established that overburdened rocks of coal mining by drying, physical and mechanical properties are the raw materials close to the traditional clays and with special technological preparation can be used for the production of ceramic products.

Keywords: ceramics, overburden rocks of coal mining, chemical composition, water properties, drying properties.

REFERENCES

1. Rakhimov R.Z. Magdeev U.H., Yarmakovskiy V.N. Ecology, scientific achievements and innovations in the production of building materials based on and with the use of anthropogenic raw materials // Building materials. – 2009. – No. 12. – Pp. 8-11.
2. Buruchenko A.E. Possibilities of Using Secondary Raw Materials for Production of Building Ceramics and Cytals // Bulletin of Tuva State University. – 2013. – Vol. 3 (18). – Pp. 7-14.
3. Kotlyar A.V., Kargin N.S., Borisenko O.G. Clinker brick based on argillite-like clays and carbonate additives // Modern state and prospects for the development of engineering and environmental systems, building technologies, materials and quality in construction. – 2015. – No. 4. – Pp. 312-315.
4. Abdrakhimov V.Z., Khasaev G.R., Abdrakhimova E.S. et al. Ecological, theoretical and practical aspects of the use of alumina-containing waste in the production of ceramic materials for various purposes without the use of natural traditional raw materials // Ecology and Industry of Russia. – 2013. – No. 5. – Pp. 28-32.
5. Stanevich V.T., Kudrishova B.Ch., Smailova B.O., Stanevich O.V. The use of industrial waste for the production of ceramic drainage pipes // Scientific Journal of PSU named after S. Toraighyrov «Science and Technology of Kazakhstan». – 2010. – No. 1. – Pp. 97-104.
6. Stolboushkin A.Y. Theoretical bases of formation of ceramic matrix composites on the basis of technogenic and natural raw materials // Building materials. – 2011. – No. 2. – Pp. 10-13.
7. Tkachev A.G., Yatsenko E.A., Smoliy V.A. Influence of coal industry wastes on forming, drying and firing properties of ceramic mass // Silicate engineering and technology. – 2013. – No. 2. – Pp. 17-21.
8. Gaishun E.S., Rogochaya M.V., Yavruyan H.S. Technogenic raw coal in the production of wall ceramics // Construction and architecture. – 2015. – Pp. 266-268.
9. Stolboushkin A.Yu. Wall ceramic materials of matrix structure based on the enrichment of waste carbonaceous argillites // Izvestia vuzov. Construction. – 2013. – No. 2-3. – Pp. 28-36.
10. Kotlyar V.D., Ustinov A.V., Kovalev V.Yu. Compression-forming ceramic stones based on flakes and wastes of coal enrichment // Construction materials. – 2013. – No. 4. – Pp. 44-48.