

March 2024

## INFLUENCE OF CHEMICAL COMPOSITION VARIATIONS OF CLAY SHALE DHERDANAK DEPOSIT ON SOME OF ITS PROPERTIES

Ripsime MKRTCHYAN

*Tashkent Institute of Chemical Technology, Tashkent, Uzbekistan, assori@yandex.com*

Mastura ARIPOVA

*Tashkent Institute of Chemical Technology, Tashkent, Uzbekistan, aripova1957@yandex.ru*

Follow this and additional works at: <https://cce.researchcommons.org/journal>

---

### Recommended Citation

MKRTCHYAN, Ripsime and ARIPOVA, Mastura (2024) "INFLUENCE OF CHEMICAL COMPOSITION VARIATIONS OF CLAY SHALE DHERDANAK DEPOSIT ON SOME OF ITS PROPERTIES," *CHEMISTRY AND CHEMICAL ENGINEERING*: Vol. 2023: No. 3, Article 6.

DOI: 10.34920/cce202336

Available at: <https://cce.researchcommons.org/journal/vol2023/iss3/6>

This Article is brought to you for free and open access by Chemistry and Chemical Engineering. It has been accepted for inclusion in CHEMISTRY AND CHEMICAL ENGINEERING by an authorized editor of Chemistry and Chemical Engineering. For more information, please contact [zuchra\\_kadirova@yahoo.com](mailto:zuchra_kadirova@yahoo.com).

## INFLUENCE OF CHEMICAL COMPOSITION VARIATIONS OF CLAY SHALE DHERDANAK DEPOSIT ON SOME OF ITS PROPERTIES

Ripsime MKRTCHYAN (assory@yandex.com)  
Mastura ARIPOVA (aripova1957@yandex.com)  
Tashkent Institute of Chemical Technology, Tashkent, Uzbekistan

*The purpose of the study is to determine the effect of changes in the chemical composition of the rock at the Dzherdanak deposit on its phase composition and thermal properties. Samples from different points of the deposit were studied by X-ray fluorescence, X-ray diffraction and thermography. The study of the chemical and mineralogical composition of various samples of shale from the Dzherdanak deposit showed that the main components can be sericite/muscovite type hydromica, kaolinite, and quartz. Halloysite is often present, less often sillimanite. Individual features of shale samples from the Dzherdanak deposit show the complex nature of rock structural transformations under thermal exposure. A common property of all varieties of shale is the final phase composition of samples fired at 1400 °C, consisting of mullite, quartz and cristobalite.*

Keywords: shale, chemical composition, phase composition, firing

## ВЛИЯНИЕ КОЛЕБАНИЯ ХИМИЧЕСКОГО СОСТАВА ГЛИНИСТЫХ СЛАНЦЕВ МЕСТОРОЖДЕНИЯ ДЖЕРДАНАК НА НЕКОТОРЫЕ ЕГО СВОЙСТВА

Рипсима МКРТЧЯН (assory@yandex.com)  
Мастура АРИПОВА (aripova1957@yandex.com)  
Ташкентский химико-технологический институт, Ташкент, Узбекистан

*Целью исследования является определение влияния изменения химического состава породы по месторождению Джерданак на его фазовый состав и термические свойства. Образцы проб с различных точек месторождения исследовали методами рентгеновской флуоресценции, рентгенографии и термографии. Исследование химического и минералогического состава различных проб глинистого сланца месторождения Джерданак показало, что основными составляющими могут быть гидрослюда серицит/мусковитового типа, каолинит, кварц. Часто присутствует галлуазит, реже силлиманит. Индивидуальные особенности проб глинистого сланца по месторождению Джерданак показывают сложный характер структурных преобразований породы при термическом воздействии. Общим свойством всех разновидностей глинистого сланца является конечный фазовый состав образцов обожженных при 1400 °C, состоящий из муллита, кварца и кристобалита.*

Ключевые слова: глинистый сланец, химический состав, фазовый состав, обжиг

## DJERDANAK KONI TUPROQLI SLANESLARINING KIMYOVIY TARKIBI O'ZGARISHLARINING UNING BA'ZI XUSUSIYATLARIGA TA'SIRI

Ripsime MKRTCHYAN (assory@yandex.com),  
Mastura ARIPOVA (aripova1957@yandex.com)  
Toshkent kimyo-texnologiya instituti, Toshkent, O'zbekiston

*Tadqiqotdan maqsad Jerdanak konida tog' jinslarining kimyoviy tarkibi o'zgarishining uning fazaviy tarkibi va issiqlik xossalari ta'sirini aniqlashdan iborat. Konning turli nuqtalaridan olingan namunalar rentgen-fluoresans, rentgen nurlari diffraksiyasi va termografiya usullari bilan o'rganildi. Jerdanak konidan olingan slanetsning turli namunalarining kimyoviy va mineralogik tarkibini o'rganish shuni ko'rsatdiki, asosiy komponentlar serisit/muskovit tipidagi gidroslyuda, kaolinit va kvarts bo'lishi mumkin. Halloysit ko'pincha, kamroq - sillimanit mavjud. Jerdanak konidan olingan slanets namunalarining individual xususiyatlari issiqlik ta'sirida tog' jinslarining strukturaviy o'zgarishlarining murakkab xarakterini ko'rsatadi. Slanetsning barcha navlarining umumiy xususiyati mullit, kvarts va kristobalitan tashkil topgan 1400 °C da pishirilgan namunalarining yakuniy fazali tarkibidir.*

Kalit so'zlar: slanets, kimyoviy tarkib, fazaviy tarkib, kuydirish

DOI: 10.34920/cee202336

### Введение

Свойство природного сырья, используемого для получения керамических изделий, зависит от условий его образования [1-4] и может колебаться на протяжении одного месторождения. Исследование колебаний химического состава природного сырья и его влияния на свойства важно с точки зрения их технологического применения. Глинистые сланцы в зависимости от состава используются для получения различных керамических изделий [5-9]. Глинистые сланцы месторождения Джерданак исследовались для определения возможности получения на их основе тонкой керамики и огнеупоров [10-

13]. На стадии промышленного внедрения разработанных технологий важнейшей задачей является изучение влияния изменения химического состава породы по всему месторождению на основные технологические свойства, в том числе на поведение при обжиге. Целью исследования является определение влияния изменения химического состава породы по месторождению Джерданак на его фазовый состав и термические свойства.

### Методы исследования

Химический анализ природных образцов глинистого сланца произведен на энергодиспер-

сионном рентгенфлуоресцентном спектрометре Rigaku NEX CG EDXRF (США).

Минералогический состав природных и обожженных образцов определен на основе рентгенографических данных, полученных на аппарате XRD-6100 (Shimadzu, Япония), Применяли  $\text{CuK}_\alpha$ -излучение ( $\beta$ -фильтр, Ni, 1.54178 режим тока и напряжения трубки 30 mA, 30 kV) и постоянную скорость вращения детектора 4 град/мин с шагом 0,02 град. ( $\omega/2\theta$ -сцепление), а угол сканирования изменялся от 4 до 80°.

Расшифровка осуществлена на основе данных, представленных в справочниках [14-16]

Термографический анализ выполнен на синхронном термоанализаторе STA PT 1600 производства Linsize, Германия, измерения проводились в окислительной среде со скоростью 20 град/мин.

### Результаты и обсуждение

Результаты химического анализа проб с различных точек месторождения представлены в таблице 1.

Химический анализ пород показал такой разброс по содержанию основных компонентов от среднеарифметического значения: максимальное отклонение  $\text{SiO}_2$  в большую сторону от средней величины составило 12,51%, а

в меньшую – 4,29%;  $\text{Al}_2\text{O}_3$  – 4,04% и 4,76%;  $\text{K}_2\text{O}$  – 1,98% и 2,06%;  $\text{TiO}_2$  – 0,673% и 0,657%;  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  – 0,272% и 0,269% соответственно.

Для анализа фазового состава и поведения породы при высокотемпературном воздействии отобраны образцы: № 2, характеризующийся минимальным содержанием оксида кремния при высоком содержании оксида алюминия и близким к среднему содержанию оксида калия; № 5, содержащий близкое к среднеарифметическому содержание основных оксидов; № 7, характеризующийся минимальным содержанием оксида алюминия и высоким содержанием оксида кремния и оксида калия и № 8, содержащий минимальное содержание оксида калия при высоком содержании оксида алюминия.

Образцы этих же проб подвергнуты термогравиметрическому анализу. Результаты рентгенографических данных природных образцов представлены в таблице 2, а обожженных в таблице 3.

Анализ рефлексов глинистого сланца природной разновидности – проба № 2 (табл. 2), выявил наличие рефлексов, которые отнесены к следующим минералам: гидрослюда (иллит) ( $d = 10,44; 10,10; 4,48; 3,89; 3,74; 3,66; 3,50; 3,20; 3,00; 2,867; 2,800; 2,587; 2,562; 2,396; 2,382; 2,131; 2,005; 1,649; 1,498 \text{ \AA}$ ); галлуазит ( $d = 5,02; 3,06 \text{ \AA}$ ), и кварц ( $d = 3,34 \text{ \AA}$ ). Сохранение

Таблица 1

Химический анализ различных проб глинистого сланца

№ пробы	Массовое содержание оксидов, %										П.п.п.
	$\text{SiO}_2$	$\text{TiO}_2$	$\text{Al}_2\text{O}_3$	$\text{Fe}_2\text{O}_3$	CaO	$\text{K}_2\text{O}$	$\text{ZrO}_2$	$\text{V}_2\text{O}_5$	Rb <sub>2</sub> O	$\text{Cr}_2\text{O}_3$	
1	49,60	1,020	37,20	0,387	0,166	5,03	0,180	0,031	0,021	0,012	6,353
2	<b>49,60</b>	<b>0,957</b>	<b>38,30</b>	<b>0,682</b>	<b>0,184</b>	<b>4,44</b>	<b>0,166</b>	<b>0,043</b>	<b>0,023</b>	<b>0,017</b>	<b>5,588</b>
3	49,80	0,761	37,50	0,653	0,104	3,73	0,174	0,017	0,018	0,006	7,237
4	50,20	1,460	35,50	0,292	0,481	6,51	0,187	0,018	0,026	0,009	5,317
5	<b>52,10</b>	<b>1,270</b>	<b>35,80</b>	<b>0,616</b>	<b>0,138</b>	<b>5,25</b>	<b>0,181</b>	<b>0,037</b>	<b>0,026</b>	<b>0,017</b>	<b>4,565</b>
6	50,30	1,230	36,60	0,786	0,123	4,43	0,177	0,031	0,021	0,010	6,292
7	<b>66,40</b>	<b>0,268</b>	<b>30,50</b>	<b>0,490</b>	<b>0,115</b>	<b>1,39</b>	<b>0,177</b>	<b>0,010</b>	<b>0,026</b>	-	<b>0,624</b>
8	<b>52,00</b>	<b>0,652</b>	<b>38,00</b>	<b>0,689</b>	<b>0,195</b>	<b>2,95</b>	<b>0,160</b>	<b>0,014</b>	<b>0,015</b>	<b>0,007</b>	<b>5,318</b>
9	58,50	1,180	33,60	0,495	0,289	2,47	0,146	0,017	0,014	0,007	3,282
10	50,40	0,130	39,30	0,402	0,118	4,60	0,143	0,003	0,023	-	4,881
11	58,10	0,373	34,40	0,435	0,146	4,20	0,150	-	0,018	0,005	2,177
12	59,70	0,149	31,40	0,245	0,120	4,37	0,175	0,004	0,018	0,001	3,818
Средний	53,89	0,787	35,26	0,514	0,181	4,53	0,168	0,020	0,021	0,009	4,621

Таблица 2

Рентгенографические данные исследованных проб глинистого сланца в природном состоянии

Индекс пробы							
2		5		7		8	
d, Å	I	d, Å	I	d, Å	I	d, Å	I
10.77381	8	10.394	5	10.111	20	10.467	8
10.44328	24	9.985	33	5.026	11	10.050	47
10.09975	100	7.369	6	4.480	6	5.011	25
5.02550	52	7.145	100	4.269	12	4.466	17
4.48004	39	6.997	4	3.511	3	4.388	3
4.35412	5	4.997	15	3.350	100	4.266	6
4.28753	4	4.454	10	3.207	4	3.878	5
4.11068	5	4.257	4	2.998	5	3.727	6
3.88781	10	3.576	58	2.590	4	3.657	4
3.73786	13	3.503	5	2.562	8	3.492	8
3.66298	11	3.484	5	2.461	6	3.368	15
3.50580	18	3.335	53	2.284	5	3.342	100
3.40372	3	3.304	5	2.130	6	3.198	9
3.34560	98	3.195	6	2.006	7	3.061	4
3.20587	17	2.987	7	1.819	8	2.991	12
3.06785	9	2.857	4	1.673	4	2.862	7
2.99703	22	2.792	4	1.542	6	2.795	6
2.86682	14	2.581	6	1.498	4	2.583	11
2.80009	11	2.556	13	1.382	4	2.557	24
2.68725	4	2.501	4	1.375	4	2.505	4
2.58743	25	2.453	4	1.256	4	2.456	5
2.56197	50	2.382	6			2.392	4
2.51012	9	2.125	4			2.377	5
2.46104	8	2.001	10			2.239	4
2.44422	7	1.6473	4			2.146	4
2.39641	8	1.496	6			2.128	8
2.38172	12					2.012	5
2.24611	7					2.004	18
2.14947	10					1.817	5
2.13147	12					1.648	6
2.01970	5					1.541	10
2.00527	36					1.496	13
1.97297	8					1.354	4
1.95616	4						
1.94902	5						
1.89568	5						
1.73417	4						
1.66670	7						
1.64956	12						
1.52729	5						
1.49836	22						
1.35563	9						

пиков гидромусковита выше 950 °С (табл. 3) свидетельствует о присутствии минерала серицит/мусковита [17-19]. После обжига при 1000

°С все еще присутствуют несколько расширенные основные рефлексы гидрослюда (10,13 Å) и галлуазита (5,05 Å) В образцах, обожженных

Таблица 3

Рентгенографические данные исследованных проб глинистого сланца после высокотемпературного обжига

Индекс пробы															
2		5				7				8					
1000 °C		1400 °C		1100 °C		1400 °C		1100 °C		1400 °C		1100 °C		1400 °C	
d, Å	I	d, Å	I	d, Å	I	d, Å	I	d, Å	I	d, Å	I	d, Å	I	d, Å	I
10.135	9	5.404	7	10.315	7	5.383	45	10.176	4	5.394	10	10.142	14	5.534	7
5.052	9	4.263	19	9.481	4	4.291	6	5.069	4	4.259	15	5.412	9	5.426	41
4.507	18	4.092	8	6.646	4	4.256	22	4.516	7	4.084	6	5.060	18	4.278	28
4.259	19	4.060	22	5.469	21	4.125	6	4.299	4	4.054	14	4.503	43	4.211	5
3.786	4	4.022	5	5.115	6	4.068	20	4.271	15	3.429	12	4.337	4	4.133	9
3.521	5	3.430	10	4.542	31	3.780	4	3.528	5	3.393	21	4.260	25	4.067	65
3.401	5	3.396	16	4.306	26	3.725	5	3.419	5	3.343	100	3.908	10	4.011	8
3.346	100	3.346	100	3.951	10	3.460	6	3.401	7	2.886	5	3.790	14	3.947	6
2.588	7	2.697	7	3.811	14	3.422	63	3.354	100	2.697	8	3.741	7	3.856	5
2.521	4	2.547	10	3.542	25	3.387	91	2.461	5	2.546	12	3.523	13	3.821	5
2.458	5	2.488	3	3.399	36	3.343	100	2.286	5	2.455	6	3.424	19	3.789	6
2.281	5	2.459	5	3.346	100	3.087	4	2.131	4	2.280	5	3.358	100	3.686	6
2.237	4	2.281	6	3.259	10	3.041	4	1.820	11	2.207	14	3.227	10	3.492	23
2.128	3	2.237	3	3.050	7	2.885	20	1.673	3	2.129	6	3.086	4	3.437	49
2.016	4	2.209	11	2.905	12	2.853	5	1.543	9	2.122	6	3.031	9	3.405	81
1.980	4	2.126	6	2.716	14	2.692	43	1.376	5	2.087	5	2.887	10	3.353	100
1.817	14	1.980	3	2.603	10	2.542	50	1.373	4	1.817	7	2.702	8	3.197	5
1.671	4	1.818	12	2.557	16	2.456	6			1.601	6	2.627	4	3.177	6
1.541	6	1.601	4	2.467	6	2.425	15			1.541	7	2.589	16	3.140	5
1.382	5	1.541	7	2.427	8	2.292	18			1.526	9	2.574	8	3.111	5
1.375	4	1.526	7	2.299	14	2.280	6			1.374	6	2.544	9	3.072	6
1.372	5	1.443	4	2.260	6	2.237	4					2.530	9	3.044	8
		1.382	5	2.218	25	2.226	5					2.457	8	3.000	5
		1.375	5	2.137	19	2.206	60					2.411	7	2.975	7
		1.372	4	2.025	4	2.133	5					2.298	4	2.894	20
				2.002	8	2.120	25					2.285	8	2.860	6
				1.965	4	2.108	4					2.258	8	2.703	38
				1.901	7	1.887	7					2.237	7	2.552	52
				1.849	5	1.841	9					2.210	10	2.492	6
				1.825	10	1.818	7					2.159	3	2.463	7
				1.723	6	1.712	5					2.127	13	2.432	12
				1.706	11	1.700	9					2.031	3	2.385	13
				1.673	10	1.694	11					2.018	9	2.298	18
				1.606	5	1.599	18					1.996	5	2.285	7
				1.563	4	1.579	6					1.982	4	2.239	6
				1.549	9	1.541	9					1.818	10	2.211	55
				1.532	17	1.524	39					1.717	3	2.127	23
				1.519	5	1.461	5					1.697	3	2.089	37
				1.446	8	1.443	17					1.681	3	1.981	5
				1.407	6	1.406	5					1.672	6	1.894	8
				1.386	6	1.382	5					1.660	4	1.846	6
				1.378	6	1.373	7					1.542	12	1.819	10
				1.338	5	1.335	11					1.526	8	1.742	15
				1.315	5	1.329	5					1.442	4	1.737	6
				1.279	6	1.277	11					1.382	5	1.716	8
				1.269	8	1.271	5					1.374	21	1.703	7
				1.260	5	1.264	10					1.256	5	1.700	12
												1.199	15	1.687	5
														1.613	5
														1.603	41
														1.583	6
														1.541	5
														1.527	36
														1.465	8
														1.444	19
														1.426	6

Продолжение таблицы 3

															1.410	6
															1.407	12
															1.383	5
															1.375	24
															1.349	6
															1.336	11
															1.330	7
															1.278	11
															1.266	8
															1.240	8

при температуре 1400 °С (табл. 3) отмечается присутствие муллита ( $d = 5,41; 3,43; 3,40; 2,547; 2,209; 1,526; 1,443 \text{ \AA}$ ), кварца ( $d = 4,26; 3,34; 1,818; 1,542 \text{ \AA}$ ), а также появляются рефлексы кристобалита ( $4,06 \text{ \AA}$ ).

Основным минералом в пробе № 5 глинистого сланца является каолинит ( $7,14; 3,57 \text{ \AA}$ ), в меньшей степени присутствуют кварц ( $d = 4,26; 3,34; 1,816 \text{ \AA}$ ) и гидрослюда ( $d = 10,39; 9,98; 5,00; 4,45; 3,20; 2,99; 2,581; 2,556; 2,001; 1,647; 1,496 \text{ \AA}$ ). Рефлексы гидрослюда присутствуют вплоть до температуры 1100 °С, что свидетельствует о присутствии минерала серицита/мусковита. Появление рефлексов  $5,46 \text{ \AA}$  и  $3,40 \text{ \AA}$  можно отнести к раннему появлению муллита. В образцах, термообработанных при 1400 оС, появляются рефлексы, свидетельствующий об образовании муллита ( $d = 5,38; 3,42; 3,39; 2,885; 2,692; 2,542; 2,425; 2,206; 1,524; 1,443 \text{ \AA}$ ) и кристобалита ( $4,07 \text{ \AA}$ ).

Анализ полученных рентгенографических данных пробы № 7 показал, что порода состоит преимущественно из кварца ( $d = 4,26; 3,35; 1,820 \text{ \AA}$ ), гидрослюда ( $d = 10,11; 4,48; 3,21; 2,99; 2,562 \text{ \AA}$ ) и галлузита ( $d = 5,02$ ). После обжига при 1100 °С присутствуют расширенные рефлексы гидрослюда и галлузита. Можно отметить появление слабого рефлекса муллита  $3,40 \text{ \AA}$ . После обжига при 1400 оС основными фазами являются кварц ( $d = 4,26; 3,34; 1,817 \text{ \AA}$ ) и муллит ( $d = 5,39; 3,42; 3,39; 2,546; 2,207; 1,526 \text{ \AA}$ ), имеется слабый рефлекс кристобалита ( $4,08 \text{ \AA}$ )

Анализ рефлексов глинистого сланца пробы № 8 выявил наличие рефлексов с наибольшей интенсивностью, принадлежащих кварцу ( $d = 4,26; 3,35; 1,820 \text{ \AA}$ ), с меньшей интенсивностью совпадающих с гидрослюдой ( $d = 10,44; 10,05; 4,47; 3,88; 3,73; 3,49; 2,99; 2,862; 2,583; 2,557; 2,128; 1,648; 1,541 \text{ \AA}$ ) и с наимень-

шей интенсивностью отнесенных к галлузиту ( $d = 5,02; 3,06 \text{ \AA}$ ). Обнаружено присутствие силлиманита ( $d = 3,368 \text{ \AA}$ ). В обожженных при 1100 °С все еще присутствуют несколько расширенные рефлексы гидромусковита  $10,14 \text{ \AA}$  и галлузита  $5,06 \text{ \AA}$ , появились рефлексы муллита  $5,41$  и  $3,42 \text{ \AA}$ . После обжига при 1400 °С наряду с кварцем и муллитом появляется большое количество кристобалита.

Как отмечается многими авторами [20-26] температура, при которой появляется муллит, отличается для различных глин и зависит от их состава. Для исследованных образцов муллитовая фаза появляется в интервале 1000-1100 °С.

Количество образовавшегося кристобалита судя по интенсивности основного пика колеблется для разных образцов. Приблизительно одинаковое количество кристобалита образуется в образцах проб № 2 и № 5, больше всего образуется в породе, представленной пробой № 8, а меньше всего кристобалита образуется в образце пробы № 7. Последнее можно связать с малым содержанием гидрослюда, разрушение структуры которого приводит к появлению аморфного кремнезема, который наряду с кварцем является источником образования кристобалита.

Судя по представленным данным по интенсивности рефлексов, можно предположить, что в образце № 2 содержание кварца и гидрослюда приблизительно одинаково. В образце № 5 преобладающим минералом является каолинит. В образце № 7 содержание гидрослюда в несколько раз меньше кварца. В образце № 8 количество гидрослюда приблизительно составляет половину содержания кварца.

Термограммы глинистого сланца различных проб представлены на рисунках 1-4.

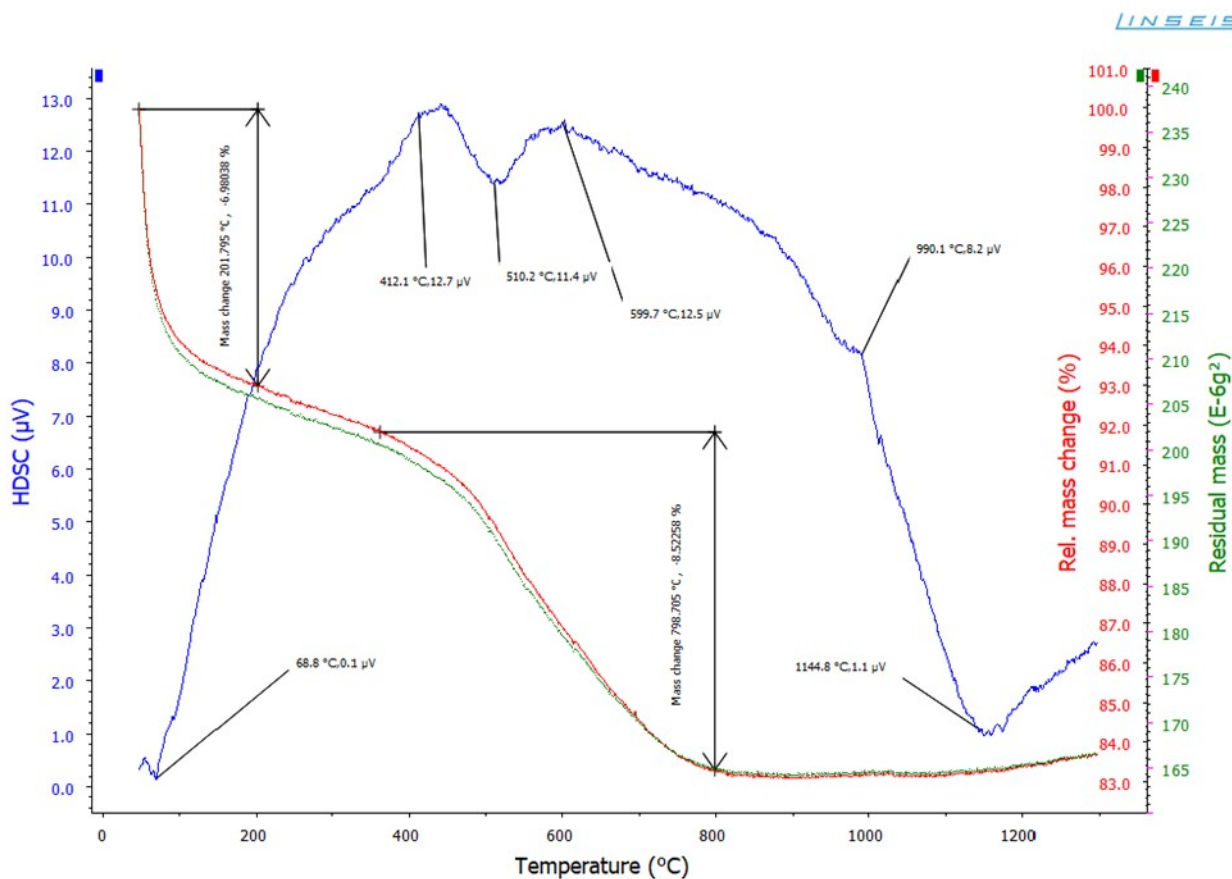


Рисунок 1. Термограмма образца № 2.

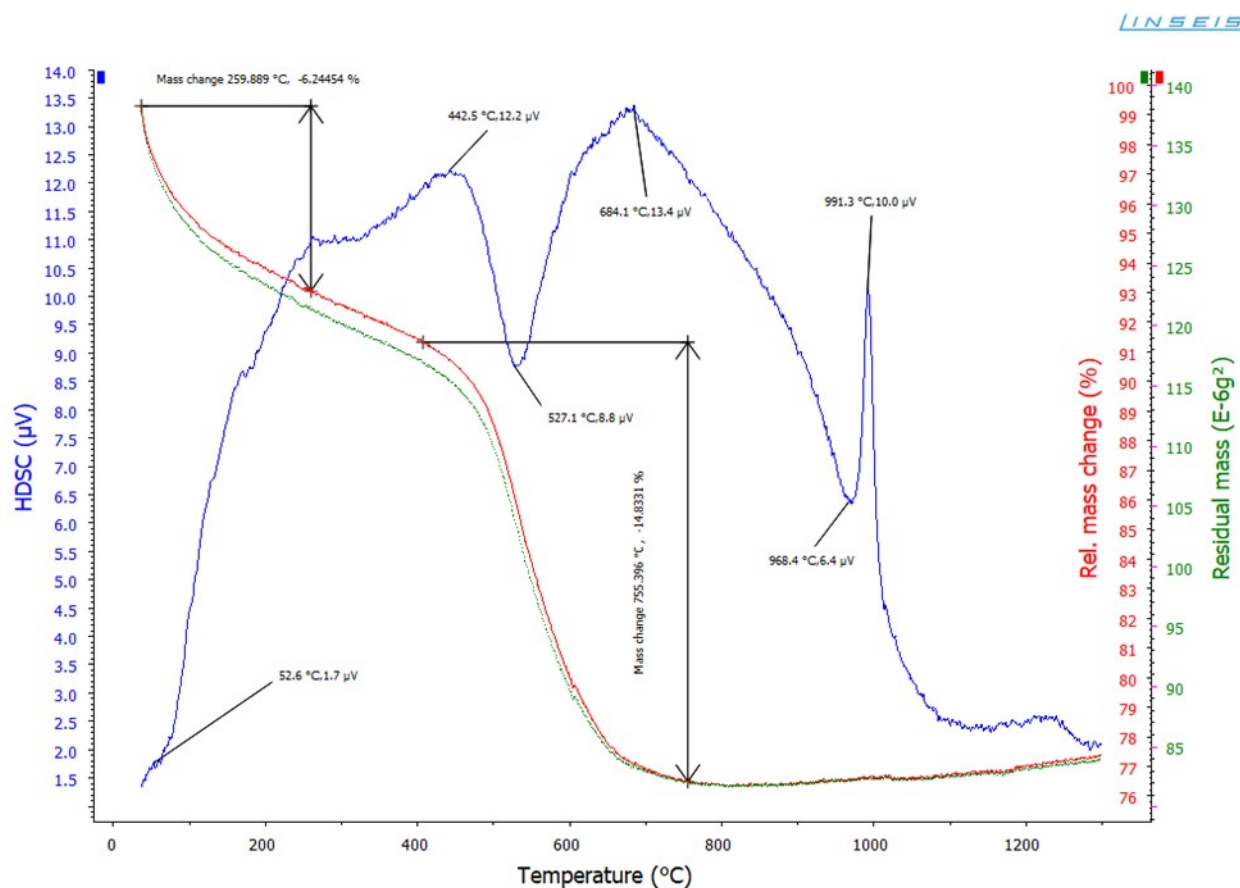


Рисунок 2. Термограмма образца № 5

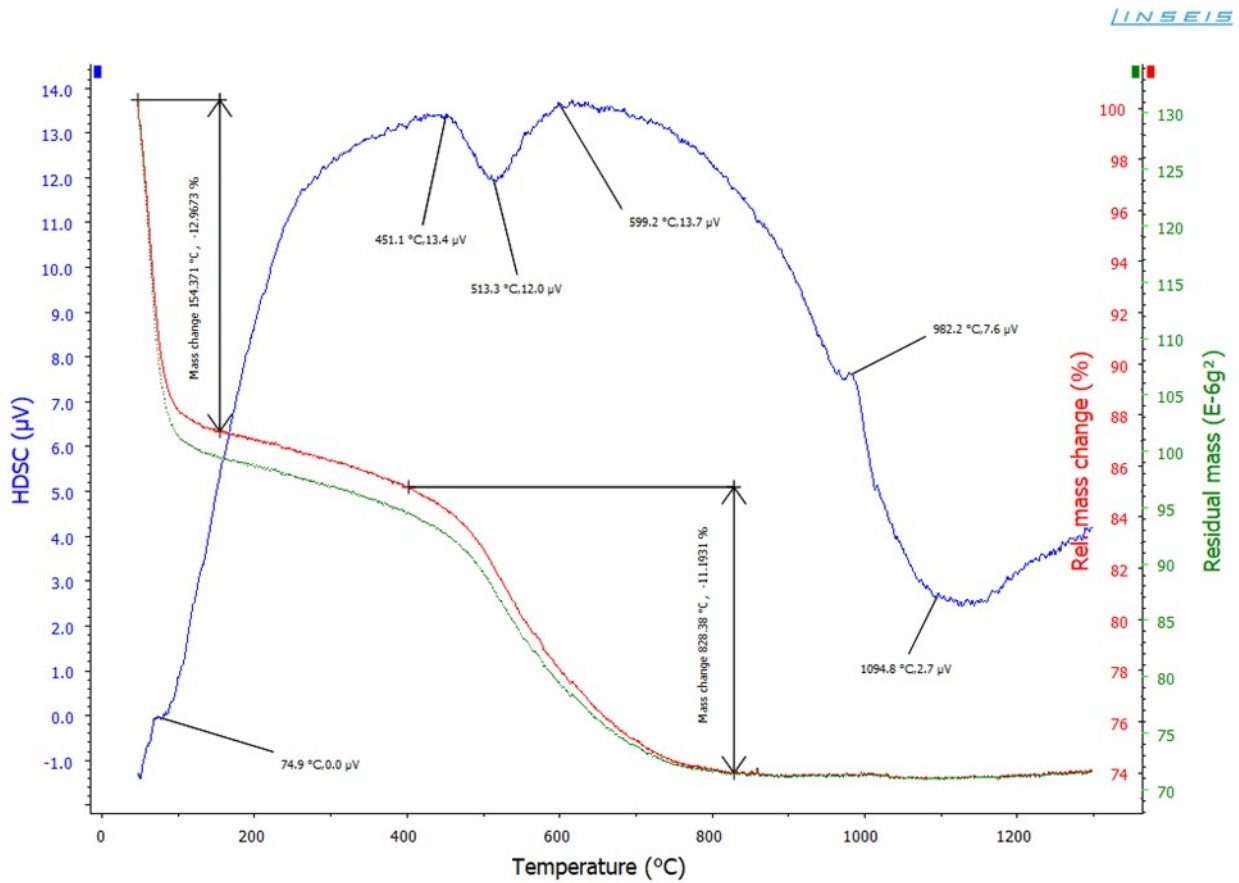


Рисунок 3. Термограмма образца № 7.

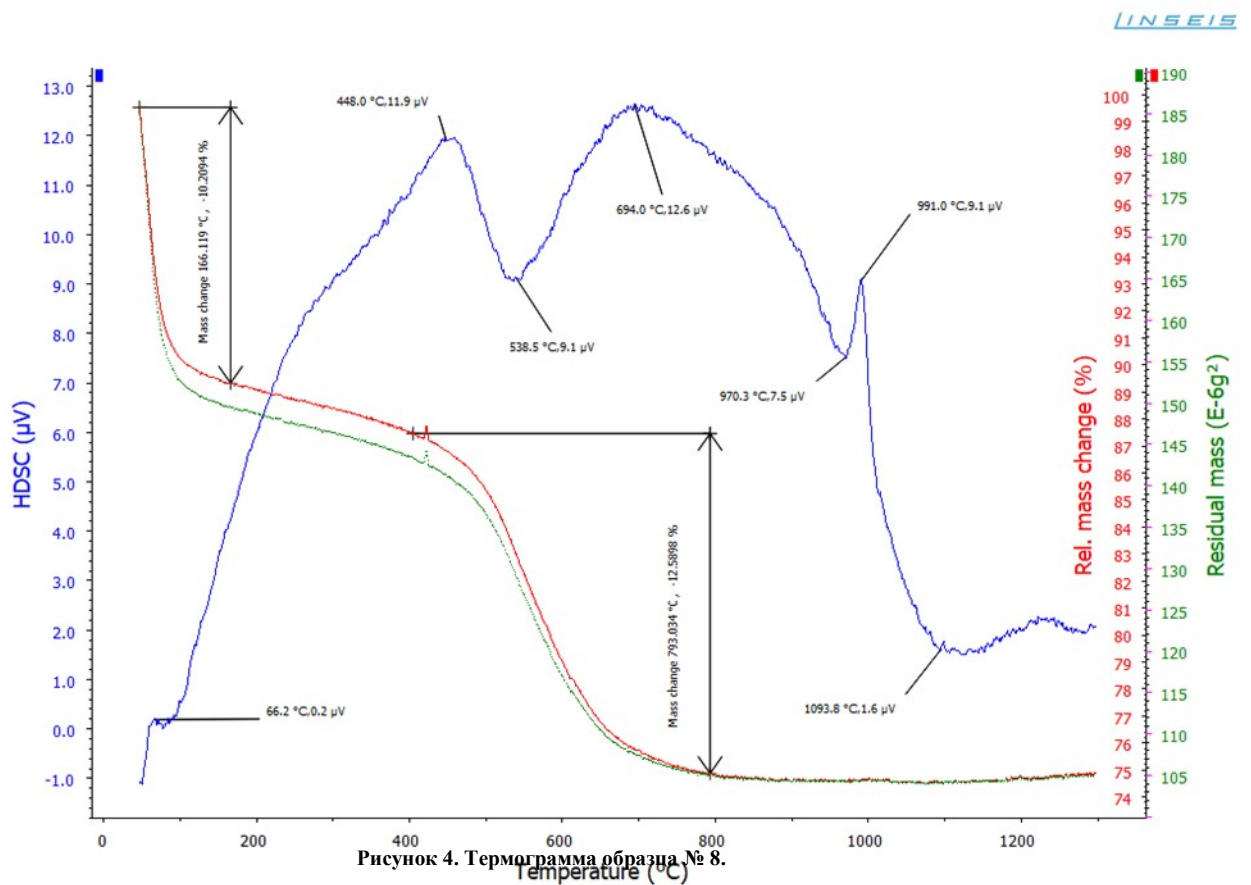


Рисунок 4. Термограмма образца № 8.



Термограммы всех образцов проб имеют идентичную форму. До температуры порядка 800 °С происходят процессы, сопровождаемые потерей массы. О наличии органической фазы свидетельствует эндоэффект при температуре порядка 300 °С [27, 28]. С высокой скоростью протекают процессы, связанные с потерей адсорбированной воды и более медленные процессы потери структурной составляющей. Расширенный эндоэффект в интервале 500-800 °С отражает процессы дегидратации гидрослюда, каолинита и галлуазита, а также  $\alpha \rightarrow \beta$  переход кварца. Относительно первого экзоэффекта выше 900 °С существуют разные мнения такие как появление контактного расплава, образование центров кристаллизации муллита и другие [24, 29-31]. Сопоставляя данные дифрактограмм, свидетельствующие о более позднем появлении муллита, и с некоторыми работами, в которых эта температура соответствует температуре спекания и повышению прочности можно согласиться с мнением об образовании жидкой фазы. Расширенный экзоэффект выше 1000 °С можно отнести к образованию муллита и кристобалита, что согласуется с мнением большинства исследователей. Большой интервал эффекта связан с многостадийностью образования муллита, проходящего период образования первичного муллита, растворения его в образовавшемся расплаве и кристаллизации вторичного муллита.

Сравнивая термограммы всех образцов, можно отметить их идентичность. Различие заключается в интенсивности происходящих процессов разложения природных составляющих и образования новых кристаллических соединений, каковыми являются муллит и кристобалит. Анализ приведенных рентгенографических дан-

ных показывает, что в результате высокотемпературного обжига всех проб образуются муллит, кристобалит и присутствует кварц. Несмотря на небольшие колебания в межплоскостных расстояниях идентичность минералов не может вызывать сомнения. Вместе с тем количество этих веществ существенно колеблется. Больше всего муллита образуется при обжиге пробы № 5, несколько меньше после обжига пробы № 8. Существенно меньше образуется после обжига проб № 2 и № 7. Сопоставляя с данными таблиц 1 и 2 этот результат можно сделать вывод о том, что как высокое содержание гидрослюда, так и его малое количество не способствуют образованию большого количества муллита. Такой результат соответствует выводу, сделанному авторами [32]. Они это связывают с количеством образующейся жидкой фазы, отмечая, что на снижение количества образующегося муллита влияет как высокое содержание ее так и недостаток жидкой фазы.

### Заключение

Исследование химического и минералогического состава различных проб глинистого сланца месторождения Джерданак показало, что основными составляющими могут быть гидрослюда серицит/мусковитового типа, каолинит, кварц. Часто присутствует галлуазит, реже силлиманит. Индивидуальные особенности проб глинистого сланца по месторождению Джерданак показывают сложный характер структурных преобразований породы при термическом воздействии. Общим свойством всех разновидностей глинистого сланца является конечный фазовый состав образцов обожженных при 1400 °С, состоящий из муллита, кварца и кристобалита.

### REFERENCES

1. Ouahabi M.E., Daoudi L., De Vleeschouwer F., Bindler R., Fagel N. Potentiality of Clay Raw Materials from Northern Morocco in Ceramic Industry: Tetouan and Meknes Areas. *Journal of Minerals and Materials Characterization and Engineering*, 2014, 2, 145-159. DOI: 10.4236/jmmce.2014.23019
2. Zaccaron A., de Souza Nandi V., Dal Bó M., Peterson M., Angioletto E., Bernardin A.M. Characterization and use of clays and argillites from the south of Santa Catarina State, Brazil, for the manufacture of clay ceramics. *Clay Minerals*, 2020, 55/2, 172-183. DOI: 10.1180/clm.2020.23
3. Sapozhnikova M.A., Pavlova I. Kurgan Clays in the Production of Ceramic Materials. *Solid State Phenomena*, 2020, 299/3-7. DOI: 10.4028/www.scientific.net/SSP.299.3
4. Anisina I.N. *Zakonomernosti formirovaniya struktury i svoystv keramicheskogo materiala na osnove prirodnykh alyumosilikatov. Diss. kand. tekhn. nauk* [Patterns of the formation of the structure and properties of ceramic material based on natural aluminosilicates. Diss. cand. tech. Sci.]. Orenburg, 2016. 152.
5. Toturbiyev B.D., Mamayev S.A., Toturbiyev A.B. Nizkoobzhigovaya, energosberegayushchaya, ekologicheskii bezopasnaya tekhnologiya proizvodstva keramicheskikh materialov na osnove glinistykh slantsev [Low-burning, energy-saving, environmentally friendly technology for the production of ceramic materials based on shale]. *Geologiya i Geofizika Yuga Rossii*, 2022, 12/1, 148-161. <http://geosouth.ru/article/view/727/652>
6. Matsapuln V.U., Toturbiyev A.B., Cherkashin V.I. Glinistyye slantsy - effektivnoye mineral'noye syr'ye dlya izgotovleniya stroitel'nykh materialov [Clay shale is an effective mineral raw material for the manufacture of building materials]. *Vestnik Dagestanskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta. Tekhnicheskkiye nauki*. 2015, 38/3, 119-127.
7. Telyushchenko I.F., Ogorodnik I.V. *Proizvodstvo litseвого keramicheskogo kirpicha sposobom poluzhestkoy ekstruzii* [Production of facing ce-

- ramic bricks by semi-rigid extrusion]. <http://www.porceks.com.ua/page28>
8. Kara-Ool E. T., Kara-Sal B.K. Vozmozhnosti primeneniya Saryg-Khainskikh kaolinitovykh slantsev Tuvy dlya proizvodstva keramicheskikh izdeliy. [Possibilities of using Saryg-Khainsky kaolinite schists of Tuva for the production of ceramic products] *Sbornik nauchnykh rabot studentov tuvinskogo gosudarstvennogo universiteta* Collection of scientific works of students of the Tuvan State University]. Kyzyl, 2019, 28-29
  9. Cherkashin V.I., Toturbiyev B.D Glinistyye slantsy – effektivnoye mestnoye mineral'noye syr'ye dlya proizvodstva vyazhushchikh [Clay shale is an effective local mineral raw material for the production of binders]. *Trudy Instituta geologii DagNTS RAN «Regional'naya geologiya i neftegazonostnost' Kavkaza», Nauchno-prakticheskaya konferentsiya* [Proceedings of the Institute of Geology of the Dagestan Scientific Center of the Russian Academy of Sciences "Regional Geology and Petroleum Potential of the Caucasus", Scientific and Practical Conference]. Makhachka. 2012, 47-51.
  10. Mkrtchyan R.V., Ismatov A.A., Musayev A.M. Glinistyye slantsy Dzherdanakskogo mestorozhdeniya – vysokokachestvennoye keramicheskoye syr'ye [Clay shales of the Dzherdanak deposit are high-quality ceramic raw materials]. *Steklo i keramika*, 2002, 5, 29-30.
  11. Mkrtchyan R.V., Aripova M.Kh. Vliyaniye dobavki oksida alyuminiya na fazovyy sostav mullitobrazuyushchikh alyumosilikatnykh mineralov [Influence of the addition of aluminum oxide on the phase composition of mullite-forming aluminosilicate minerals]. *Chemistry and Chemical Engineering*, 2020, 2, 22-26.
  12. Mkrtchyan R.V. Tekhnologiya polucheniya alyumosilikatnykh ogneupornykh izdeliy na osnove netraditsionnogo syr'ya Uzbekistana [Technology for obtaining aluminosilicate refractory products based on non-traditional raw materials of Uzbekistan]. *Chemistry and Chemical Engineering*, 2022, 1, 3-10. DOI: 10.34920/cce202211
  13. Aripova M.Kh., Mkrtchyan R.V. *Shikhta dlya izgotovleniya shamotnykh ogneuporov* [Charge for the manufacture of fireclay refractories]. Patent UZ, 6594, 2018.
  14. WWW-MIHKPICT. *Kristallograficheskaya i kristallokhimicheskaya Baza dannykh dlya mineralov i ikh strukturnykh analogov* [Crystallographic and crystallochemical database for minerals and their structural analogues], 2018. <http://database.iem.ac.ru/mincryst>
  15. Mikheyev V.I. *Rentgenometricheskii opredelitel' mineralov* [X-ray determinant of minerals]. Moscow, Gosgeoltekhizdat Publ., 1957. 868.
  16. *The X-ray identification and crystal structures of clay minerals*. Ed. Brown G., Mineralogical Society, London, 1961, 510. (Russ. ed.: *Rentgenovskiy metody izucheniya i struktura glinistykh mineralov*/ Pod red. G. Brauna. Moscow, Mir Publ., 1965. 599).
  17. Aras A. The Change of the Phase Composition in Kaolinite- and Illite-Rich Clay-Based Ceramic Bodies. *Applied Clay Science*, 2004, 24, 257–269. DOI: 10.1016/j.clay.2003.08.012
  18. Kuznetsova G.A. *Rentgenograficheskoye issledovaniye vysokotemperaturnykh prevrashcheniy v slyudakh: Disc. kand. fiz.-mat. Nauk* [X-ray study of high-temperature transformations in micas: Diss. cand. phys.-math. sci.]. Irkutsk, 1999. 154.
  19. Liopo V.A., Ovchinnikov Ye.V., Sitkevich F.A., Sitkevich A.L., Struk V.A. Strukturnyye transformatsii sloistykh silikatov pri termicheskikh vozdeystviyakh (na primere slyud) [Structural transformations of layered silicates under thermal effects (on the example of micas)]. *Progressivnyye tekhnologii i sistemy mashinostroyeniya*, 2015, 51/1, 90-99.
  20. Jorge Martín-Márquez, Jesús Ma. Rincón, Maximina Romero Mullite development on firing in porcelain stoneware bodies. *Journal of the European Ceramic Society*, 2010, 30/7, 1599-1607. DOI: 10.1016/j.jeurceramsoc.2010.01.002
  21. Charguia F., Hamidouchea M., Belhouchet H., Yves Jorandé Y., Doufounéa R., Fantozzie G. Mullite fabrication from natural kaolin and aluminium slag. *Boletín de la Sociedad Española de Cerámica y Vidrio*, 2018, 57/4, 169-177. DOI: 10.1016/j.bsecv.2018.01.001
  22. Escalera E., Antti M.L., Odén M. Thermal treatment and phase formation in kaolinite and illite based clays from tropical regions of Bolivia. *Materials Science and Engineering*, 2012, 31, 012017. DOI: 10.1088/1757-899X/31/1/012017
  23. Laita, E., Bauluz B. Mineral and textural transformations in aluminium-rich clays during ceramic firing. *Applied Clay Science*, 2017, DOI: 10.1016/j.clay.2017.11.025
  24. Belogub Ye.V., Stafeyeva Z.V. *Osobennosti termicheskogo povedeniya kaolinov mestorozhdeniya Zhuravlinyy log (Chelyabinskaya obl.) po dannym granulometricheskogo, termicheskogo i rentgenostrukturnogo analiza* [Features of the thermal behavior of kaolins from the Zhuravliny log deposit (Chelyabinsk region) according to the data of granulometric, thermal and X-ray diffraction analysis]. [https://elar.urfu.ru/bitstream/10995/84416/1/mssmi\\_2013\\_006.pdf](https://elar.urfu.ru/bitstream/10995/84416/1/mssmi_2013_006.pdf)
  25. Blanchart P., Deniel S., Tessier-Doyen N. Clay Structural Transformations during Firing. *Advances in Science and Technology*, 2010, 68, 31-37. DOI: 10.4028/www.scientific.net/AST.68.31
  26. Bobkova N.M., Kavrus I.V., Popovskaya N.F., Radion Ye.V. Protsestry fazoobrazovaniya v soosazhdennykh alyumosilikatnykh shikhtakh [processes of phase formation in coprecipitated aluminosilicate batches]. *Vesti NAN Belarusi: Ser. khim. nauk*, 1999, 2, 118-121.
  27. Gorshkov V.S. *Termografiya stroitel'nykh materialov* [Thermography of building materials]. Moscow, Literatura po stroitel'stvu Publ., 1968. 237.
  28. Borodin A.N., Abdrakhimov V.Z., Kovkov I.V., Abdrakhimova Ye.S., Denisov D.YU. Issledovaniye teplomassoobmennyykh protsessov pri obzhige keramicheskikh kompozitsionnykh materialov s primeneniyyem tekhnogennoogo syr'ya energetiki [Investigation of heat and mass transfer processes during the firing of ceramic composite materials using technogenic raw materials in the energy sector]. *Bashkirskiy khimicheskii zhurnal*, 2006. 13/4, 26-30.
  29. Balykov A.S., Nizina T.A., Volodin S.V. Optimizatsiya tekhnologicheskikh parametrov polucheniya mineral'nykh dobavok na osnove prokalenyykh glin i karbonatnykh porod dlya tsementnykh sistem [Optimization of technological parameters for obtaining mineral additives based on calcined clays and carbonate rocks for cement systems]. *Nanotekhnologii v stroitel'stve*, 2022, 14/2, 145-155. DOI: 10.15828/2075-8545-2022-14-2-145-15
  30. Pogrebenkov V.M., Solodkiy N.F., Shamrikov A.S. *Mineral'no-syr'yevaya baza Urala dlya keramicheskoy, ogneupornoj i stekol'noy promyshlennosti* [Mineral resource base of the Urals for the ceramic, refractory and glass industries]. Tomsk, TPU Publ., 2009. 332.
  31. Gualtieri A., Bertolani M. Mullite and cristobalite formation in fired products starting from halloysitic clay. *Applied Clay Science*, 1992, 7, 251-262.
  32. Logvinkov S.M., Vernigora N.K., Shabanova G.N., Shumeyko V.N., Tsapko N.S., Shapovalov V.P. Testirovaniye diagrammy sostoyaniya Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> - SiO<sub>2</sub> soglasno eksperimental'nym dannym termicheskoy evolyutsii kaolinite [Testing the state diagram of Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> - SiO<sub>2</sub> according to the experimental data of the thermal evolution of kaolinite]. [www.kpi.kharkov.ua](http://www.kpi.kharkov.ua)