

¹Ш.Ж. Сагимбаева*, ¹К.Ш. Шункеев, ²В.В. Тарковский, ²А.Е. Герман

³Д.М. Сергеев, ¹Л.К. Тастанова, ¹Ж. К. Убаев

¹Актюбинский региональный университет имени К. Жубанова, Актобе, Казахстан

²Гродненский университет имени Янка Купала, Гродно, Беларусь

³Военный институт Сил воздушной обороны имени дважды Героя Советского Союза

Т.Я. Бегельдинова, Актобе, Казахстан

*e-mail: shynar_06@mail.ru

ЭЛЕКТРОГИДРАВЛИЧЕСКИЙ МЕТОД ОБОГАЩЕНИЯ ПРИРОДНОГО ДИАТОМИТА КАЗАХСТАНСКОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ

Аннотация. Впервые применен электрогидравлический метод обогащения природного диатомита, основанного на разделении глинистого составляющего под воздействием энергии плазмы, возникающей при коротком электрическом разряде.

Впервые разработана специальная компьютерная технология с использованием портативного навигатора Montana серии 600 компании Garmin, программ Google Earth и Garmin Base Camp для составления контура и площади диатомовых пород по территории «Жалпак».

Проведены комплексные исследования обогащенного диатомита с применением спектрального, микроскопического, рентгенодифрактометрического, силикатного-(химического), элементного и термических методов анализа.

Независимые методы анализа показывают практически одинаковые результаты по степени обогащения диатомита оксидами кремния (SiO_2), находящиеся в пределах $78\div 81,8\%$. На основании результатов спектрального анализа можно заключить, что электрогидравлический метод очень эффективно очищает диатомит от оксидов кальция (CaO) и серы (SO_3) до уровня $0,21\%$ и $0,18\%$ соответственно.

Ключевые слова: диатомит, электрогидравлический метод, оксид кремния, обогащение, методы анализа.

Введение. В современных условиях многофункциональными перспективными материалами выступают модифицированные диатомиты с заданными свойствами в качестве наполнителей для изготовления тепло- и гидроизоляционных материалов, пластмасс и красок [1-3], минеральных удобрений [4], фильтров и сорбентов [5-9], биологических препаратов и т.д.

Основной состав диатомита состоит из трех оксидных компонентов SiO_2 , Al_2O_3 и Fe_2O_3 . Диатомит имеет пористую структуру и содержит до $70\div 85\%$ пустот [1] как аналог активированного угля.

Существуют множества методов обогащения и модификаций природного диатомита в зависимости от направления применения [1,6-9]. Отметим, что львиная доля метода синтезирования диатомита относится к химическим способам. Имеются всего лишь несколько работ [10, 11], относящихся к разделению глинистого составляющего от минеральных фаз горных пород электрогидравлическим методом, разработанным Юткиным [12,13].

В данной работе нами впервые применяется электрогидравлический метод для обогащения природного диатомита, суть которого заключается в разделении глинистого составляющего с использованием энергии плазмы, возникающей при коротком электрическом разряде. Электрогидравлическая встряска смеси диатомита и глины приведет к их разделению. Вследствие того, что плотность диатомита лежит в пределах $380\text{-}1000\text{ кг/м}^3$, а глины $1400\text{-}1700\text{ кг/м}^3$, то глина, как более тяжелый материал, осядет в нижнем слое, а диатомит сконцентрируется сверху.

Техника эксперимента. В зависимости от физико-химического свойства материалов режим работы электрогидравлического устройства регулируется для хрупких, твердых и пластичных веществ [12]. Нами разработан режим работы электрогидравлического устройства для разделения минеральных веществ, примером которого является природный диатомит.

Блок–схема экспериментальной установки представлена на рисунке 1.

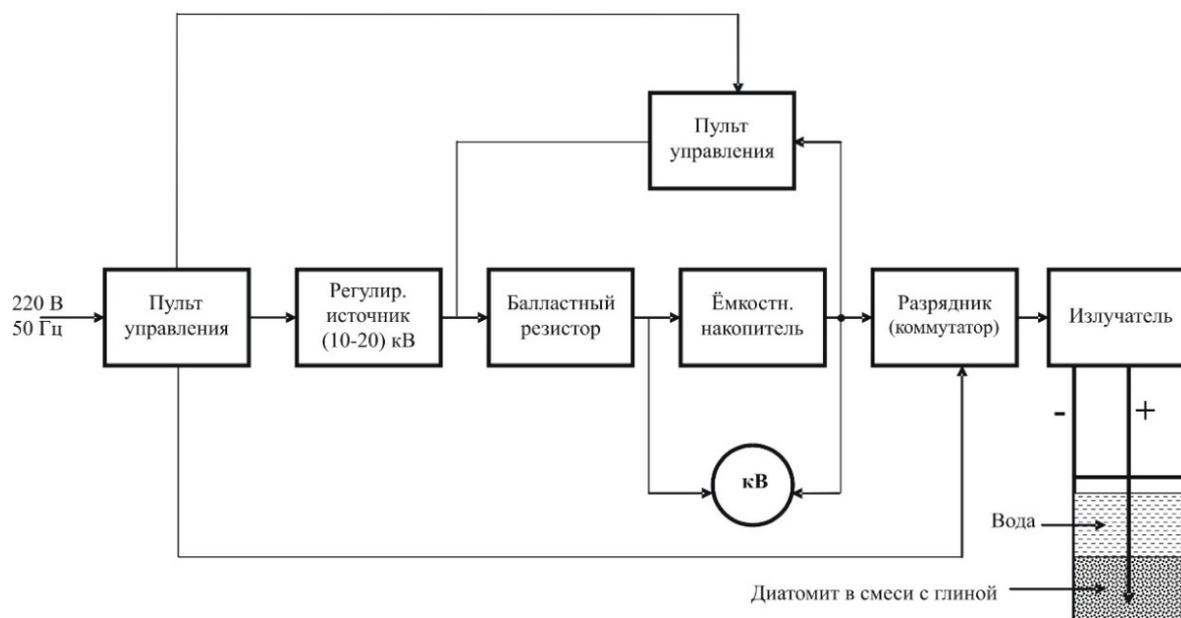


Рисунок 1. Блок-схема экспериментальной установки электрогидравлического метода обогащения диатомита.

Регулируемый источник (10-20 кВ) вырабатывает постоянное напряжение, необходимое для питания накопителя. Балластный резистор обеспечивает заданное значение тока заряда конденсаторной батареи ёмкостного накопителя. Ёмкостный накопитель – батарея из двух конденсаторов К75-48 (0,22 мкФ, 25 кВ), соединенных параллельно, обеспечивает при напряжении 10-20 кВ запасаемую энергию от 22 до 88 Дж.

Коммутатор предназначен для импульсного разряда ёмкостного накопителя на излучатель и представляет собой блок из двух высоковольтных управляемых керамических разрядников TG-127 и РУ-62, соединенных последовательно для исключения самопробоя при напряжении больше 15 кВ. Коммутатор работает в режиме одиночных импульсов.

Высоковольтный импульс, сформированный коммутатором, по высоковольтному коаксиальному кабелю транспортируется на излучатель, который может быть тонкой медной (алюминиевой) проволочкой, графитовым стержнем либо чистой водой, через которую осуществляется разряд. Схема защиты предназначена для снятия остаточного заряда на ёмкостном накопителе и представляет собой вакуумный выключатель ВВ-20, обмотка которого после выключения питания замыкает батарею накопителя на балластный резистор, снимая с него остаточный заряд.

Объект исследования. Базовым материалом исследования является природный диатомит с местности «Жалпак» Актюбинской области (Примугалжарье).

Для проведения расчетных работ по определению площади диатомовых пород по территории «Жалпак» была впервые разработана специальная компьютерная технология с использованием возможностей навигатора Garmin, программ Google Earth и Garmin Base Camp, алгоритм последовательных действий которых представлен на рисунке 2.



Рисунок 2. Технология проведения расчетных работ по определению ресурсов диатомитовых пород по площади «Жалпак» на основании навигационных исследований

Портативный навигатор Montana серии 600 компании Garmin получает информацию со спутника в режиме нон-стоп, что позволяет GPS приемнику (навигатору) всегда получать достоверные данные и использовать навигацию в полном объеме. Устройства GPS обеспечивают информацию о широте, долготе и высоте треков. С помощью этого устройства возможно осуществлять регистрацию треков и рассчитывать значения площади, высоты, координат месторождений диатомитов по площади «Жалпак». Зарегистрированные треки сохраняются в файлах с расширением grx в навигаторе и компьютере. Для обработки данных в формате grx требуются специальные программы, такие как Google Earth и Garmin Base Camp. Зарегистрированные на навигаторе треки экспортируются в программу Garmin Base Camp.

Программа Garmin Base Camp предназначена для работы с картами, треками, маршрутами, путевыми точками. Расчет площади, описываемой треком в программе Base Camp Garmin осуществляется следующим образом: задается команда «Измерение», затем курсором измерителя по профилю трека обводится измеряемая площадь, по окончании обвода контура автоматически выводится значение площади.

В правой части на рисунке 2 показан контур диатомитов по площади «Жалпак», полученный с помощью навигатора компании Garmin.

Таким образом, с помощью разработанной технологии проведения расчетных работ по площади «Жалпак», основанной на специальных возможностях навигатора компании Garmin и программы Garmin Basemap, рассчитана общая площадь диатомитов, составляющая 85 кв. км., в том числе площадь останцев диатомитов – 3,5 кв.км.

Экспериментальные результаты. Технология обогащения диатомита мокрым способом на основе электрогидравлического метода заключается в следующем. Природный диатомит погружается в металлическую ванну с водой и магнитной мешалкой перемешивается в течение 10-15 минут с целью получения гомогенного водного раствора. Стенки ванны являются отрицательным электродом, а положительный электрод погружается в водный раствор (рисунок 1). Производятся электрические разряды в водном растворе. Экспериментальным путем устанавливается оптимальный режим воздействия электрических разрядов на диатомитовый водный раствор. Электрогидравлическая встряска смеси приводит

к разделению на два компонента, содержащих чистый диатомит и глину, входящие в состав природного диатомита. Вследствие того, что плотность диатомита лежит в пределах 380-1000 кг/м³, а глины 1400-1700 кг/м³, то глина, как более тяжелый материал, осядет в нижнем слое водного раствора, а диатомит выплывет на поверхность смеси, как показан на рисунке 3.

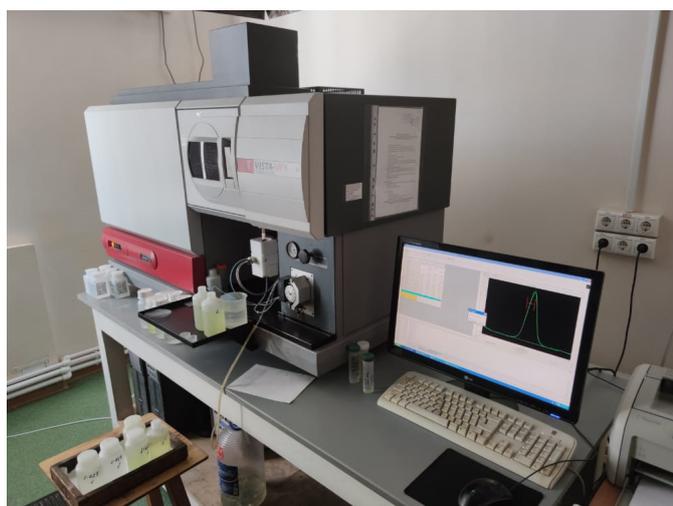


Рисунок 3. Суспензия после электрогидравлического воздействия:
1-вода 2- диатомит 3- глина

Проведены сравнительные анализы природного и обогащенного диатомита электрогидравлическим способом методами спектрального, микроскопического, рентгенодифрактометрического, силикатного(химического), элементного и термических анализов.

Спектральный анализ проведен на атомно-эмиссионном спектрометре Vista MRX Simultaneous ICP-OES Series\$ (Рисунок 4) в соответствии с МВИ № 01-ИЛ-2016 «Методика выполнения измерений массовой доли оксидов алюминия, железа общего, кальция, магния, натрия, калия, двуокиси кремния, пятиокиси фосфора, трехокиси серы, двуокиси марганца, двуокиси титана в глинах, песках, известняках, доломитах, цементном сырье методом спектрометрии с индуктивно связанной плазмой» (Зарегистрировано в реестре ГСИ РК № KZ.07.00/03408-2016).

Таблица 1



%	Длина волны излучения (нм)	Обогащенный диатомит	Природный диатомит
Al ₂ O ₃	308,215	13,49	16,63
Fe ₂ O ₃	238,204	2,9	3,17
CaO	318,127	0,21	7,38
MgO	285,213	1,12	1,37
Na ₂ O	588,995	0,37	0,26
K ₂ O	766,491	1,21	1,32
SiO ₂	251,611	79,95	59,41
P ₂ O ₅	213,618	0,071	0,153
SO ₃	181,972	0,18	9,87
MnO	257,610	0,018	0,013
TiO ₂	334,941	0,38	0,43

Рисунок 4. Спектральный анализ проведен на атомно-эмиссионном спектрометре Vista MRX Simultaneous ICP-OES Series\$.

Методика спектрального анализа на основе плазменного определения оксидов алюминия, железа, кальция, магния, натрия, калия, двуокиси кремния, пятиокиси фосфора, трехокиси серы, двуокиси марганца, двуокиси титана в диатомитах заключается в разложении анализируемого материала, переведении его в раствор, введении полученного раствора в виде аэрозоля в индуктивно связанную плазму и измерении интенсивности спектральной линии определяемых элементов на атомно-эмиссионном спектрометре Vista MRX Simultaneous ICP-OES Series\$, представленный на рисунке 4.

Важной положительной особенностью индуктивно связанной плазмы является низкий уровень фонового излучения и его флуктуаций, которые в сочетании с практическим отсутствием самопоглощения излучаемых спектральных линий и малым межэлементным влиянием позволяют достигать весьма низких пределов обнаружения большого числа элементов.

Достижимые пределы обнаружения элементов, концентрационный диапазон и воспроизводимость результатов определений зависят от характеристик применяемых установок (горелки, ВЧ-генератора, устройства ввода пробы, спектральной и регистрирующей аппаратуры и др.) и способа наблюдения излучения.

На интенсивность анализируемого спектра и фона плазмы оказывают влияние состав газа-носителя и анализируемого аэрозоля, плазмообразующего и охлаждающего газа, скорость потока газа, мощность ВЧ-генератора, местоположение аналитической зоны.

В данной методике для возбуждения индуктивно связанной плазмы используется ВЧ-генератор мощностью 2кВт на частоте 27,12 мГц, работающий на трехвитковом индукторе с плазменной горелкой 18 мм. Плазмообразующим, охлаждающим и распыляющим раствор газом является аргон, общий расход которого составляет около 13 л/мин.

Наибольшее и менее контролируемое влияние на результат анализа оказывает эффект матрицы. Для учета нестабильных условий анализа используется внутренний стандарт, который прибавляют в каждую пробу перед введением её в плазму, а также сильно разбавленные растворы. Элементом сравнения является литий, имеющий спектральную линию при 670,783 нм (Таблица 1). Спектрофотометрические анализы различных проб по характерным спектральным линиям оксидов, указанные в таблице 1, определены их концентрации для природного и обогащенного диатомита электрогидравлическим методом.

После обогащения диатомита электрогидравлическим методом [12], как показывают результаты спектрального анализа из таблицы 1, что в составе диатомита, заметно увеличились концентрации SiO_2 до 79,95%, а концентрации Al_2O_3 и Fe_2O_3 уменьшились до 13,49% и 2,9% соответственно. Тем не менее, концентрации Al_2O_3 и Fe_2O_3 остаются достаточно заметными, по-видимому, требуются дополнительные меры по регулировке режимов работы электрогидравлического устройства в зависимости от физико-химических свойств диатомита. Из таблицы 1 следует, что электрогидравлический метод очень эффективно очищает диатомит от CaO (7,38% \rightarrow 0,21%) и SO_3 (9,87% \rightarrow 0,18%), т.е. их концентрации доведены практически на нет.

Микроскопический анализ диатомитов был изучен методом сканирующей электронной микроскопии с использованием электронно-зондового микроанализатора Superprobe JСХА-733 в режиме вторичных электронов [14].

На электронно-микроскопических снимках в режиме вторичных электронов наблюдается рыхлая структура, состоящая из построений реликтов палеофауны и палеофлоры.

Электронно-микроскопический анализ показывает, что обогащение диатомита приводит к отчетливым проявлениям панцирей из-за уменьшения белых пятен, свойственно к глинам и увеличению количества чистых нано- и микроразмерных сеток, имеющих размеры 270÷450 нм [14].

В целом, по результатам электронно-микроскопического исследования приходим к мнению о том, что электрогидравлический метод воздействия является эффективным

способом обогащения диатомита, что подтверждается результатами других независимых методов анализа.

Рентгенодифрактометрический анализ проведен на автоматизированном дифрактометре ДРОН-3, настроенный на характеристические излучения линии меди - ($CuK\alpha$). Режим работы рентгеновской установки при съемке дифрактограмм соответствовал по напряжению 35 кВ и току 20 мА. При этом шкала была рассчитана на 2000 импульсов. Гониометрические параметры съемки - θ - 2θ путем детектирования 2 град/мин. Рентгенофазовый анализ на полуколичественной основе выполнен по дифрактограммам порошковых проб с применением метода равных навесок. Определялись количественные соотношения кристаллических фаз.

Дифрактограмма обогащенного диатомита (рисунок 5) и табличные данные для природного, илистого и обогащенного диатомита приведены в таблице 2.

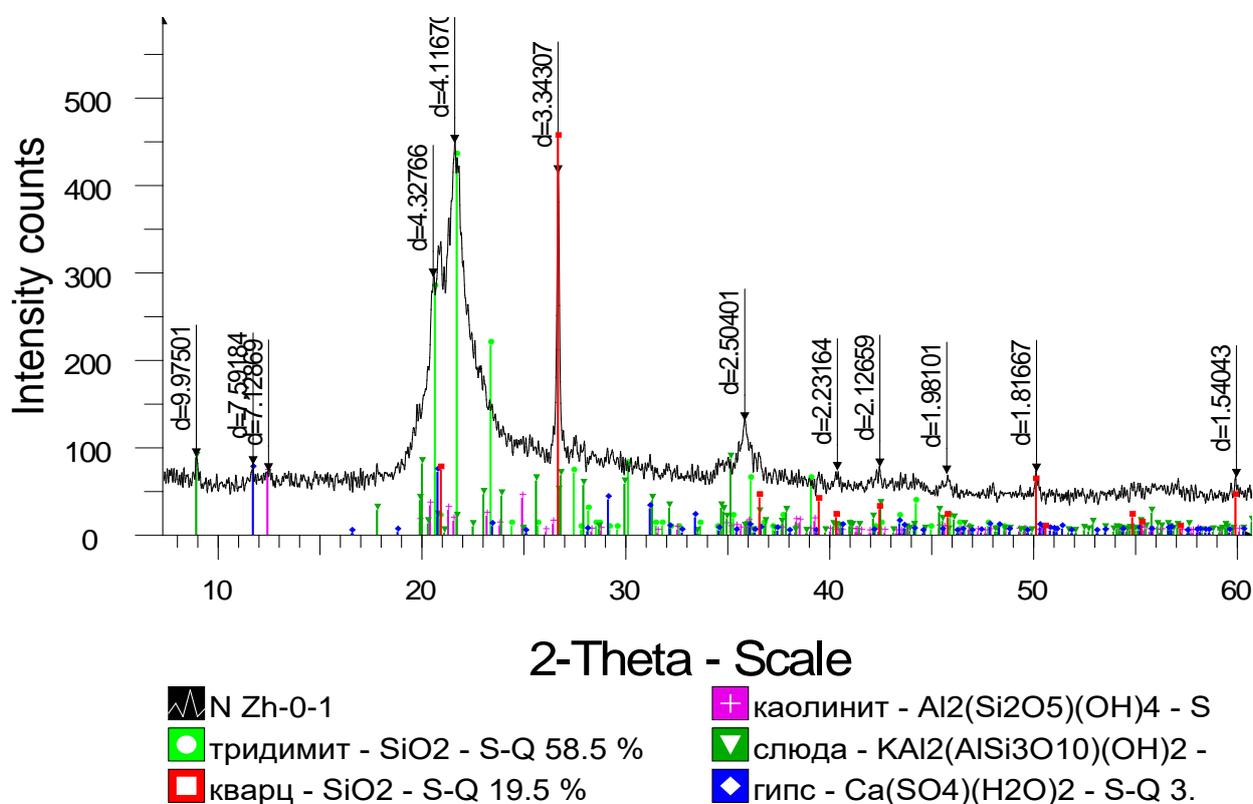


Рисунок 5. Дифрактограмма обогащенного диатомита

Из таблицы следует, что результаты полуколичественного рентгенодифракционного анализа позволяют установить наличие следующих основных кристаллических фаз в составе диатомита в зависимости от чистоты: тридимит, кварц, каолинит, слюда, галит, гипс, смектит, ССМ и т.д.

Из таблицы также наблюдается основная тенденция по концентрации оксидов в диатомитах в зависимости от электрогидравлического воздействия. В обогащенном диатомите концентрация SiO_2 достигает 78%. При этом от каолинита очищается почти в 3 раза по сравнению с природным фрагментом, где концентрация каолинита составляет 40,2 %. Концентрация слюды уменьшается в 2 раза.

Таблица 2. Результаты полуколичественного рентгенофазового анализа кристаллических фаз природного, илистого компонента и обогащенного диатомита

Минерал	Формула	Природный диатомит, концентрация (%)	Илистая фракция, концентрация (%)	Обогащенный диатомит, концентрация (%)
Тридимит	SiO ₂	-	-	58,5
Кварц	SiO ₂	22,9	7,8	19,5
Каолинит	Al ₂ (Si ₂ O ₅)(OH) ₄	40,2	51,3	14,3
Слюда	KAl ₂ (AlSi ₃ O ₁₀)(OH) ₂	9,8	6,7	4,6
Галит	NaCl	4,4	3,0	-
Гипс	Ca(SO ₄ (H ₂ O) ₂	-	-	3,1
Смектит	(Na, Ca) 0,3(Al,Mg)2Si ₂ O ₁₀ (OH) ₂ nH ₂ O	22,7	-	-
ССМ	K-Na-Al-Si-O-(OH)	-	31,2	-
ИТОГО		100%	100%	100%

Таким образом, на основании экспериментальных результатов рентгенофазового анализа видна эффективность электрогидравлического метода обогащения диатомита.

Силикатный (химический) анализ пробы природного и обогащенного диатомита осуществлен методом сплавления, в качестве смеси для сплавления использовали натрий углекислый, натрий тетраборнокислый и калий углекислый смешивают в соотношении 1:1:1. Сплавление пробы проводилось в муфельной печи при температуре 1000⁰ С.

Полученный сплав выщелачивали в смеси раствора соляной кислоты (1:3) и 40 мл раствора трилона Б (0,05 моль/л). Дальнейшее определение массовой доли каждого из определяемых элементов проводилось из раствора, отобранного из исходного раствора.

При определении массовой доли оксида алюминия, оксида железа (III), оксида кремния был использован спектрофотометрический метод. Протоколы анализа приведены в таблице 3.

Таблица 3. Результаты силикатного (химического) анализа

Пробы	Содержание элементов (вес.%)											d уд.в.
	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	Na ₂ O	K ₂ O	SO ₃	Вл.	ППП	Σ	
Природный диатомит	53,9	7,29	4,22	4,93	4,63	2,54	0,94	2,53	7,0	11,47	99,45	2,57
Обогащенный диатомит	81,8	4,55	2,5	2,42	2,73	0,44	0,62	1,61	2,2	0,77	99,64	2,40

Из таблицы следует, что в обогащенном диатомите SiO₂ составляет 81,8 %. При этом уменьшились концентрации Al₂O₃ до 4,55 % и Fe₂O₃ до 2,5 %. В отличие от спектрального анализа (Таблица 1), который показывает полную очистку обогащенного диатомита от CaO (7,38% →0,21%) и SO₃ (9,87% →0,18%), химический анализ (Таблица 3) дает несущественную разницу в пользу очистки диатомита. По-видимому, эти различия из-за менее чувствительности спектрофотометрического анализа, основанного для регистрации спектров поглощения веществ по сравнению с результатами спектрального анализа, полученные по характерным спектральным линиям излучения оксидов.

Термический анализ выполнялся на дериватографе Q-1000/D системы F.Paulik, J.Paulik и L.Erdey фирмы «МОМ», (Будапешт).

Метод термического анализа основан на регистрации изменений термохимических и физических параметров вещества при нагревании. Термохимическое состояние пробы описывается кривыми: Т (температурной), ДТА (дифференциальной термоаналитической), TG (термогравиметрической) и DTG (дифференциальной термогравиметрической). DTG является производной от TG-функции.

Регистрация необходимых параметров осуществлялась в температурном интервале 20-1000°C при нагревании образцов с постоянной скоростью нагрева ($dT/dt = 10 \frac{\text{град}}{\text{мин}}$).

Идентифицирование минерального состава порошковых проб проводилось по морфологиям термических кривых и численных значений интенсивностей эндо – и экзотермических эффектов с использованием сопряженных с ними термогравиметрических показаний TG – линий образцов трех компонентов: природный, илестый и обогащенный.

В природном диатомите на основании данных дифференциальных кривых и термогравиметрических показаний TG-измерений установлен следующий минеральный состав (в %), указанный на рисунке 6 и в таблице 4: Кварц – 25; Каолинит – 18,4; Гидрослюда – 13,1; Сметтит – 23,1; Термически инертные минералы (Галит, Слюда и др.) – 20.

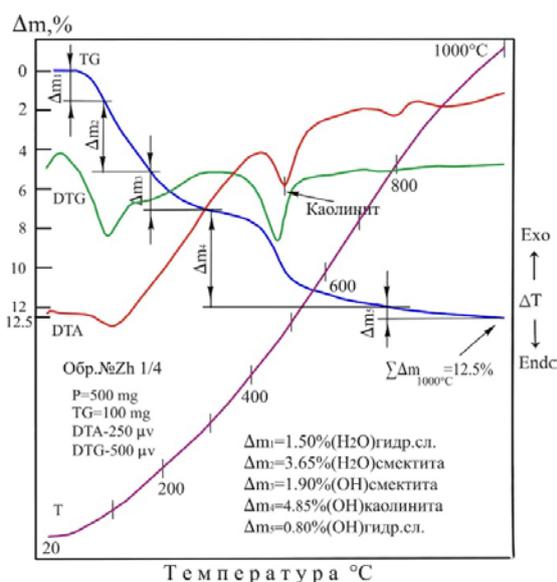


Рисунок 6. Дериватограмма природного диатомита

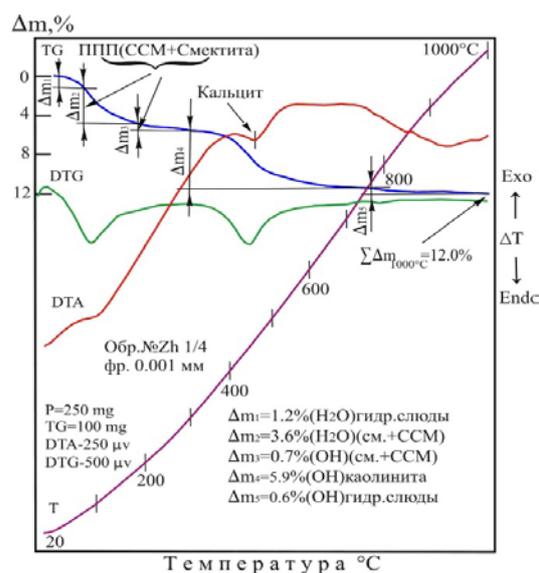


Рисунок 7. Дериватограмма илестого компонента

Термические кривые **илистой фракции** представлены на рисунке 7. Количественное содержание в пробе гидрослюда и тонкодисперсного образования Сметтит полностью соответствует содержанию таковых во фракции 0.005 мм, хотя кинетика термической деструкции этих минералов в испытываемых навесках несколько отличаются между собой. В анализируемой пробе выявлены следующие минералы (в %): Кварц – 20, Каолинит – 22,4; Гидрослюда – 11,3; Сметтит – 21,2; Термически инертные минералы (Слюда и др.) – 25.

Таблица 4. Результаты термического анализа природного, илистого компонента и обогащенного диатомита

Минерал	Формула	Природный диатомит, концентрация (%)	Илистая фракция, концентрация (%)	Обогащенный диатомит, концентрация (%)
Тридимит	SiO ₂	-	-	60
Кварц	SiO ₂	25	20	20
Каолинит	Al ₂ (Si ₂ O ₅)(OH) ₄	18,4	22,4	5,3
Гидрослюда	KAl ₂ (AlSi ₃ O ₁₀)(OH) ₂	13,5	11,3	11,3
Гипс	Ca(SO ₄ (H ₂ O) ₂	-	-	3,4
Смектит	(Na, Ca) 0,3(Al,Mg)2Si ₂ O ₁₀ (OH) ₂ *nH ₂ O	23,1	21,2	-
Термически инертные минералы (Галит, Слюда, Альбит и др.)	K-Na-Al-Si-O-(OH)	20	25	-
ИТОГО		100%	100%	100%

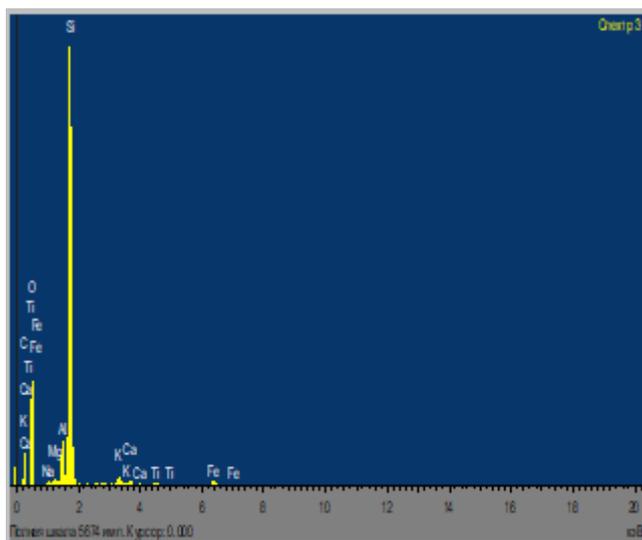
Обогащенный диатомит представлен преимущественно (~80%) минералами диоксида кремния – тридимитом и кварцем, как указано в таблице 4. Кварц диагностировался по эндотермическому пику при 500°C, который связан полиморфным переходом его из состояния α в β-модификацию. В указанной области температур данный термический эффект перекрыт эндотермическим проявлением, вызванным дегидроксилизацией каолинита. Существование такого превращения кварца можно проследить после деструкции этого глинистого включения, т.е. при охлаждении системы или при повторном обжиге пробы. Выявленный в пробе тридимит также оставляет на кривой весьма слабое проявление, обусловленное переходом его (в области 870°C) в α-кварц. После вычета из состава образца диагностированных термически активных компонентов, на долю диоксидов кремния остается около 80% массы образца. Из них, при качественном сравнении интенсивностей пиков предполагаемых минералов, кварцу следует отвести <20%, а тридимиту <60% массы исследуемой системы. Общий состав изученной пробы (в %) соответствует следующим данным: Тридимит – 60; Кварц – 20; Каолинит – 5,3; Гидрослюда – 11,3 и Гипс – 3,4.

Следует отметить, что в силу малости содержания гипса в пробе, кривые DTA и DTG явно не проявили этапы его обезвоживания. Количество данного сульфата кальция была подсчитана по общему сбросу веса, осуществленная в интервале 140-180°C.

Также необходимо показать, что содержание каолинита во всех представленных образцах, выявленного по результатам обезвоживания его структуры, несколько ниже (5,3%, таблица 4), чем это отмечено в результатах рентгенофазового анализа (14,3%, таблица 2). По-видимому, этот эффект обусловлен дефицитом гидроксидов в кремнекислородном каркасе указанной системы, а также вызвано наличием дефектов в кристаллическом строении данного глинистого минерала.

Элементный анализ. Согласно результатам рентгеноспектрального (элементного) анализа, представленном в таблице 5, можно выделить основные закономерности влияния электрогидравлического воздействия на состав диатомита. При анализе главным ориентиром является содержание кремния (Si), который составил 30,94% в природном диатомите, а после обогащения увеличился до уровня 40,61%. В перерасчете на оксид кремния (SiO₂) в первом приближении получим 81,22%, что согласуется с данными спектрального анализа (79,95%, таблица 1), рентгенофазового анализа (78%, таблица 2), химического анализа (81,8%, таблица 3) и термического анализа (80%, таблица 4).

Таблица 5



Элементы	Природный диатомит (в вес. %).	Обогащенный диатомит. (в вес. %).
O	56,2	52,49
Na	0,41	0,22
Mg	1,04	0,39
Al	7,55	3,45
Si	30,94	40,61
S	0,35	-
Cl	0,43	-
K	1,21	0,8
Ca	-	0,37
Ti	0,47	0,26
Fe	1,40	1,41
Итого	100%	100%

Рисунок 8. Обогащенный диатомит

В обогащенном диатомите в пределах чувствительности аппаратуры отсутствуют сера (S) и хлор (Cl), а также снижаются концентрации кислорода (O) до уровня 52,49%, натрия (Na) – 0,22%, магния (Mg) – 0,39%, алюминия (Al) – 3,45%, калия (K) – 0,8% и титана (Ti) – 0,26%. Уровень железа (Fe) остается без изменения – 4,41%.

В заключении отметим, что впервые электрогидравлический метод был применен для обогащения природного диатомита. Результаты спектрального, рентгенодифрактометрического и силикатного (химического) анализов показывают, что в составе обогащенного диатомита электрогидравлическим методом заметно увеличились концентрации SiO₂ до 78-81,8%, а концентрации Al₂O₃ и Fe₂O₃ уменьшились до 3%. Электронно-микроскопический анализ показывает исчезновение белых пятен, относящихся к глинам и увеличение чистых наноразмерных сеток, имеющих размеры в пределах 272-420 нм.

Благодарность. Работа выполнена в рамках проекта грантового финансирования Комитета науки МОН РК (ИРН AP08955761).

Авторский коллектив благодарны коллегам Гданского университета (Польша), Гродненского университета (Беларусь), института геологии и испытательной лаборатории ТОО «Геоплазма» (Казахстан) за анализы проб природного и обогащенного диатомита.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Bakr H.E.G.M.M. Diatomite: Its Characterization, Modifications and Applications // Asian Journal of Materials Science. – 2010. – Vol. 2(3). – P. 121-136.
- [2] Cacciotti, M. Rinaldi, J. Fabbrizi, F. Nanni. Innovative polyetherimide and diatomite based composites: influence of the diatomite kind and treatment // J mater res technol. –2019. Vol.8. – No. 2. – P. 1737-1745.
- [3] Galán-Arboledas R.J., Cotes-Palomino M.T., Bueno S., Martínez-García C. Evaluation of spent diatomite incorporation in clay based materials for lightweight bricks processing // Construction and Building Materials. – 2017. – Vol. 144. – P. 327-337.
- [4] Оленин О.А., Зудилин С.Н. Разработка многокомпонентных органических удобрений на основе диатомита для органического земледелия // Органическое земледелие. Плодородие №1. – 2021. DOI: 10.25680/S19948603.2021.118.12
- [5] Bruyako M., Grigoreva L. Effective sorbents based on plasma-modified aluminosilicate minerals // IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering 365 (2018) 032027 doi:10.1088/1757-899X/365/3/032027

- [6] Nguyen Viet Cong, Korotkova P.S., Khanmamedova E.N., Grigoryeva L.S. Modified sorbents based on diatomites // *Vestnik MGSU, Proceedings of Moscow State University of Civil Engineering*. – 2019. Vol. 14. (7). DOI: 10.22227/1997-0935.2019.7.862-869.
- [7] Jiaqiang Li, Jing Xu, Ziqian Xie, Xin Gao, Jingyuan Zhou, Yan Xiong, Changguo Chen, Jin Zhang, Zhongfan Liu. Diatomite-Templated Synthesis of Freestanding 3D Graphdiyne for Energy Storage and Catalysis Application // *Advanced materials*. – 2018.-Vol 30 (20). – 1800548.
- [8] Datsko T. Ya., Zelentsov V. I., Dvornikova E. E. Physicochemical and Adsorption-Structural Properties of Diatomite Modified with Aluminum Compounds // *Surface Engineering and Applied Electrochemistry*. – 2011. – Vol. 47. – No. 6. – P. 530–539.
- [9] Смирнов П.В., Таранова Л.В. Применение материалов на основе диатомитов и опок в нефтегазовой промышленности // *Известия высших учебных заведений. Нефть и газ*. – 2017. Vol, 1. – P. 87-90. <https://doi.org/10.31660/0445-0108-2017-1-87-90>.
- [10] Martynov N., Dobromirov V., Avramov D., Miroshkin V. Electrohydraulic pretreatment method for the purpose of complex enrichment of fine clay ores of weathering crust // *Journal of Physics: Conference Series* 1614. – 2020. 012056. doi:10.1088/1742-6596/1614/1/012056.
- [11] Martynov N., Avramov D., Kozlov G., Pushkarev M. Pulsed electric discharge in an aqueous medium for processing raw amber // *Journal of Physics: Conference Series* 1614. – 2020. 012060. doi:10.1088/1742-6596/1614/1/012060.
- [12] Yutkin L.A. Electrohydraulic effect and its application in industry. // *Leningrad: Mashinostroenie (in Russian)*. – 1986. 253.
- [13] Drozdov A.N., Narozhnyy I.M., Pak D.X., Ludupov V.B., Zemlianskii G.S. Electrohydraulic effect as an example of electrophysical technologies application in the oil industry // *IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering* 675. – 2019. 012024, doi:10.1088/1757-899X/675/1/012024
- [14] Myasnikova L.N., Barmina A.A., Zhanturina N.N., Shunkeyev K.S. The study of characteristics of natural nanomaterial diatomite by electron microscope method // *Bulletin of the university of Karaganda-Physics*. – 2017. – Vol. 86(2). P. 15-20.

REFERENCES

- [1] Bakr H.E.G.M.M. Diatomite: Its Characterization, Modifications and Applications // *Asian Journal of Materials Science*. – 2010. – Vol. 2(3). – P. 121-136.
- [2] Cacciotti, M. Rinaldi, J. Fabbrizi, F. Nanni. Innovative polyetherimide and diatomite based composites: influence of the diatomite kind and treatment // *J mater res technol*. –2019. Vol.8. – No. 2. – P. 1737-1745.
- [3] Galán-Arboledas R.J., Cotes-Palomino M.T., Bueno S., Martínez-García C. Evaluation of spent diatomite incorporation in clay based materials for lightweight bricks processing // *Construction and Building Materials*. – 2017. – Vol. 144. – P. 327-337.
- [4] Olenin O.A., Zudilin S.N. Razrabotka-mnogokomponentnyh-organicheskikh-udobreniy-na-osnove-diatomita-dlya-organicheskogo-zemledeliya // *Organicheskoe zemledeliya. Plodorodie №1*. – 2021. DOI: 10.25680/S19948603.2021.118.12
- [5] Bruyako M., Grigoreva L. Effective sorbents based on plasma-modified aluminosilicate minerals // *IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering* 365 (2018) 032027 doi:10.1088/1757-899X/365/3/032027
- [6] Nguyen Viet Cong, Korotkova P.S., Khanmamedova E.N., Grigoryeva L.S. Modified sorbents based on diatomites // *Vestnik MGSU, Proceedings of Moscow State University of Civil Engineering*. – 2019. Vol. 14. (7). DOI: 10.22227/1997-0935.2019.7.862-869.
- [7] Jiaqiang Li, Jing Xu, Ziqian Xie, Xin Gao, Jingyuan Zhou, Yan Xiong, Changguo Chen, Jin Zhang, Zhongfan Liu. Diatomite-Templated Synthesis of Freestanding 3D Graphdiyne for Energy Storage and Catalysis Application // *Advanced materials*. – 2018.-Vol 30 (20). – 1800548.
- [8] Datsko T. Ya., Zelentsov V. I., Dvornikova E. E. Physicochemical and Adsorption-Structural Properties of Diatomite Modified with Aluminum Compounds // *Surface Engineering and Applied Electrochemistry*. – 2011. – Vol. 47. – No. 6. – P. 530–539.

- [9] Smirnov P.V., Taranova L.V. *Primeneniye materialov na osnove diatomitov i opok v neftegazovoy promyshlennosti // Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedeniy. Neft' i gaz.* – 2017. Vol, 1. – P. 87-90. <https://doi.org/10.31660/0445-0108-2017-1-87-90>.
- [10] Martynov N., Dobromirov V., Avramov D., Miroshkin V. *Electrohydraulic pretreatment method for the purpose of complex enrichment of fine clay ores of weathering crust // Journal of Physics: Conference Series 1614.* – 2020. 012056. doi:10.1088/1742-6596/1614/1/012056.
- [11] Martynov N., Avramov D., Kozlov G., Pushkarev M. *Pulsed electric discharge in an aqueous medium for processing raw amber // Journal of Physics: Conference Series 1614.* – 2020. 012060. doi:10.1088/1742-6596/1614/1/012060.
- [12] Yutkin L.A. *Electrohydraulic effect and its application in industry.* // Leningrad: Mashinostroenie (in Russian). – 1986. 253.
- [13] Drozdov A.N., Narozhnyy I.M., Pak D.X., Ludupov V.B., Zemlianskii G.S. *Electrohydraulic effect as an example of electrophysical technologies application in the oil industry // IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering 675.* – 2019. 012024, doi:10.1088/1757-899X/675/1/012024
- [14] Myasnikova L.N., Barmina A.A., Zhanturina N.N., Shunkeyev K.S. *The study of characteristics of natural nanomaterial diatomite by electron microscope method // Bulletin of the university of Karaganda-Physics.* – 2017. – Vol. 86(2). P. 15-20.

¹Ш.Ж. Сагимбаева*, ¹К.Ш. Шункеев, ²В.В. Тарковский, ²А.Е. Герман
³Д.М. Сергеев, ¹Л.К. Тастанова, ¹Ж. К. Убаев

¹Қ. Жұбанов атындағы Ақтөбе өңірлік университеті, Ақтөбе, Қазақстан

²Янка Купала атындағы Гродно университеті, Гродно, Беларусь

³Кеңес Одағының екі мәрте батыры Т.Я. Бегелдинов атындағы Өуе қорғанысы күштерінің Әскери институты, Ақтөбе, Қазақстан

*e-mail: shynar_06@mail.ru

ҚАЗАҚСТАН КЕН ОРНЫНЫҢ ТАБИҒИ ДИАТОМИТІН БАЙЫТУДЫҢ ЭЛЕКТРОГИДРАВЛИКАЛЫҚ ӘДІСІ

Андатпа. Табиғи диатомитті байытудың электрогидравликалық әдісі алғаш рет қолданылды, ол қысқа электрлік разряд кезінде пайда болатын плазма энергиясының әсерінен сазды компонентті бөлуге негізделген.

Garmin компаниясының 600 сериялы Montana портативтік навигаторын, "Жалпақ" аумағы бойынша диатомдық жыныстардың контуры мен алаңын жасау үшін Google Earth және Garmin Base Camp бағдарламаларын пайдалана отырып, алғаш рет арнайы компьютерлік технология әзірленді.

Байытылған диатомитке кешенді зерттеулер спектрлік, микроскопиялық, рентгенодифрактометриялық, силикаттық-(химиялық), элементтік және термикалық талдау әдістерін қолдану арқылы жүргізілді.

Тәуелсіз талдау әдістері 78÷81,8% шегінде орналасқан диатомитті кремний оксидтерімен (SiO₂) байыту дәрежесі бойынша іс жүзінде бірдей нәтижелерді көрсетеді. Спектрлік талдау нәтижелеріне сүйене отырып, электрогидравликалық әдіс диатомитті кальций оксидтерінен (CaO) және күкірттен (SO₃) сәйкесінше 0,21% және 0,18% деңгейіне дейін тиімді тазартады деп қорытынды жасауға болады.

Негізгі сөздер: диатомит, электрогидравликалық әдіс, кремний оксиді, байыту, талдау әдістері.

¹Sh.Zh. Sagimbayeva*, ¹K.Sh. Shunkeyev, ²V.V. Tarkovsky, ²A.E. Herman

³D.M. Sergeev, ¹L.K. Tastanova, ¹J.K. Ubayev

¹K. Zhubanov Aktobe Regional University, Aktobe, Kazakhstan

²Yanka Kupala Grodno University, Grodno, Belarus

³T. Begeldinov Aktobe Aviation Institute, Aktobe, Kazakhstan

*e-mail: shynar_06@mail.ru

ELECTROHYDRAULIC METHOD OF KAZAKHSTAN NATURAL DIATOMITE ENRICHMENT

Abstract. The electrohydraulic method of natural diatomite enrichment based on separation of the clay component under the influence of plasma energy arising at a short electric discharge is applied for the first time.

Special computer technology is developed for the first time, using the portable navigator Montana series 600 by Garmin, Google Earth and Garmin Base Camp programs to make a contour and area of diatomaceous rocks on Zhalpak territory.

Comprehensive study of enriched diatomite using spectral, microscopic, X-ray diffractometric, silicate (chemical), elemental and thermal methods of analysis were carried out.

Independent methods of analysis show almost identical results for the degree of diatomite enrichment with silicon oxide (SiO₂), being in the range of 78÷81.8%. Based on the results of spectral analysis it can be concluded that the electrohydraulic method is very effective in cleaning diatomite from calcium (CaO) and sulfur (SO₃) oxides to the level of 0.21% and 0.18% respectively.

Keywords: diatomite, electrohydraulic method, silicon oxide, enrichment, analysis methods.