ИССЛЕДОВАНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ОСУШКИ ПРИРОДНОГО ГАЗА АБСОРБЦИОННЫМ И АДСОРБЦИОННЫМ МЕТОДАМИ

© Л. Ш. Махмудова, Х. Х. Ахмадова, Ж. Т. Хадисова, З. А. Абдулмежидова,
Э. У. Идрисова

ГГНТУ имени акад. М. Д. Миллионщикова, Грозный, Россия

В статье проанализированы современные методы осушки природного газа для дальнейшей переработки его в метано-водородную смесь. Приведены результаты исследования абсорбционной и адсорбционной осушки природного газа жидкими реагентами (этиленгликолями) и твердыми адсорбентами (цеолитами и бентонитами). Показано, что природные бентонитовые глины обладают сравнительно небольшой адсорбционной активностью, их активация водными растворами Na_2CO_3 и H_2SO_4 способствует повышению адсорбционной активности, и их применение в комплексе с другими адсорбентами способствует значительному повышению процессов адсорбции.

Авторами показана возможность и необходимость дальнейших исследований поиска эффективных методов активации бентонитовых глин.

Ключевые слова: природный газ, абсорбция, адсорбция, этиленгликоль, цеолит, бентонит, активация.

Природный газ – это смесь газообразных горючих соединений, основными компонентами которого являются низкомолекулярные углеводороды (алканы $\text{C}_1 - \text{C}_4$). В незначительных количествах в их состав входят водород, окись углерода и сероводород. В процессе добычи природный газ выносит в своем составе влагу, которая при низких температурах образует с молекулами газа кристаллогидраты. В присутствии воды интенсифицируются процессы коррозии оборудования, а также могут возникнуть аварийные ситуации вследствие закупорки газопроводов и оборудования газоперерабатывающих заводов гидратами.

В связи с этим удаление влаги из природного газа является одним из необходимых процессов подготовки газа к транспорту и дальнейшей переработки.

Влагосодержание газа определяется температурой точки росы и регламентируется допустимыми нормами (отраслевыми стандартами). Процесс осушки природных газов представляет важное и обязательное звено в процессе их подготовки к транспорту по магистральным газопроводам. Все газы, транспортируемые по магистральным газопроводам, подвергаются обязательной осушке от влаги,

глубина которой регламентируется требованиями отраслевых стандартов и технологическими показателями процессов дальнейшей переработки газов.

Основными процессами осушки природных газов являются процессы, осуществляемые четырьмя наиболее широко применяемыми в промышленности методами: охлаждением, абсорбцией, адсорбцией и комбинированием предыдущих трех методов.

Кроме того, общеизвестно, что методы осушки газов по классификационному признаку подразделяют на три основные группы: физический, химический, физико-химический.

Физический метод заключается в искусственном охлаждении газов, их компримировании, а также в сочетании компримирования с охлаждением.

Суть химического метода осушки заключается в химической реакции между водой и химическими веществами, причем имеются химические реагенты, обеспечивающие практически полную осушку газа. Однако сложность или невозможность регенерации этих химических реагентов делает их непригодными для использования в качестве промышленных осушителей.

Физико-химический способ процесса осушки природного газа, основанный на поглощении влаги различными поглотителями, представлен двумя основными группами. Первая группа включает адсорбцию влаги твердыми адсорбентами, а вторая группа – абсорбцию влаги жидкими абсорбентами.

Из абсорбционных методов для осушки природного газа чаще всего используют осушку жидкими гликолями, в качестве которых наиболее широкое применение в промышленной практике имеют диэтиленгликоль (ДГ) и триэтиленгликоль (ТЭГ). В абсорбционных методах для осушки газов наибольшее применение имеют оксиды алюминия, силикагели и цеолиты (природные или синтетические).

Для одновременного извлечения воды и углеводородов C_{5+B} наибольшее промышленное применение нашел метод, основанный на использовании бифункциональных абсорбентов, в качестве которых определены три основные группы абсорбентов: смесь диэтиленгликоля и моноэтилового эфира триэтиленгликоля; N-метилпирролидон (N-МП); смесь диэтиленгликоля с соляровым маслом.

Улучшение показателей процесса газоочистки на цеолитах (снижения точки росы по влаге, повышения качества сероочистки) достигнуто разработкой новых марок цеолитов типа 3A, 4A и 5A, формованных в виде трилистика. Для улучшения процесса осушки и очистки газов с достижением максимальных показателей некоторыми исследователями рекомендуется использовать комбинированную адсорбционную систему адсорбентов из двух слоев. Один слой системы состоит из гранул цеолита разной формы и диаметра, а второй – из лобового слоя в виде оксида алюминия.

В настоящее время, исходя из уникальных свойств бентонитовых глин, их исследованиям, особенно адсорбционных характеристик, стали уделять значительное внимание. Бентониты находят широкое применение в различных областях, известно более двухсот направлений различных производств, где используются уникальные свойства бентонитов, в том числе и в процессах очистки и подготовки углеводородных газов к переработке, хотя литературные данные по их применению в

процессах осушки и очистки природных газов весьма незначительные.

О ценности и значимости бентонитовых глин говорят данные по их стоимости: килограмм бентонитового порошка на мировом рынке оценивается по более высокой цене, даже чем основной энергоноситель – нефть, при этом затраты на добычу, очистку и переработку бентонитовых глин для продажи, по литературным данным, ниже нефтяных.

Исследованиями с применением современного научного оборудования установлена структура бентонита. Показано, что бентонит – это *наноматериал на силикатной основе слоистой структуры*, основным компонентом которого является монтмориллонит. Бентонит состоит из наноструктурных частиц в виде пластин толщиной, равной одному нанометру. Стороны пластины имеют размеры примерно 50 и 150 нм. Пластины образуют пакеты, расстояние между которыми определяет возможность вхождения полимерных молекул в структуру бентонита, что влечет улучшение свойств полимерного нанокompозита.

Химический состав бентонитов различных месторождений представлен оксидами кремния, алюминия и железа, количества которых по месторождениям значительно отличаются: в разных источниках приводится их содержание в интервале 6,8-72,6% от общей массы, 19,2-23,4% и 1,99-9,38% соответственно.

Для улучшения свойств бентонитовых глин, в том числе их сорбционной емкости и удельной поверхности, применяются различные методы, из которых наиболее широко используемыми являются их активация и модифицирование.

К их числу относятся термическая активация, активация минеральными кислотами, модифицирование бентонита полигидроксокомплексами различных металлов (Al, Fe, Zr), различными органическими и неорганическими соединениями – щелочами, кислотами, металлами и др. [1-3].

Установлено, что модифицирование природных бентонитов приводит к изменению химического состава, структурных и сорбционных свойств. Модифицированные сорбенты на основе бентонитов представляют мелкопо-

ристые наноструктурные объекты с преобладанием пор в пределах 1,5-8 нм.

В Чеченской Республике разработки бентонитовых глин имеют давнюю историю и проводятся с 1926 г. В последние годы на основе результатов прогнозно-минерагенических исследований и поисковых работ на территории Чеченской Республики выделены 15 прогнозных площадей, перспективных на выделение месторождений глинистого сырья, в том числе и бентонитового.

Несколько месторождений адсорбционных глин расположены в районе населенных пунктов с. Серноводское, с. Старо-Грозненское, с. Сюиль-Корт, пос. Катаяма Чеченской Республики.

В горной и предгорной частях территории ЧР были выделены 4 прогнозных площади глинистого и карбонатного сырья: междуречье Асса-Акса́й, междуречье Сунжа-Акса́й, междуречье Асса-Охолитлау, междуречье Гехи-Шаро-Аргун.

В настоящее время в Чеченской Республике в ГГНТУ, Академии наук Чеченской Республики и др. научных организациях интенсивно проводятся исследования бентонитовых глин, которыми изучены физико-химические свойства природных бентонитов Чеченской Республики и сорбентов на их основе.

На основании изложенного можно констатировать, что проблема исследования бентонитовых глин и цеолитов в качестве адсорбентов в процессах осушки, очистки и подготовки природного газа к подготовке в настоящее время является актуальной.

В качестве сорбентов взяты этиленгликоли с массовым содержанием 98,5% мас.

Для лабораторных исследований скон-

струирована экспериментальная лабораторная установка, на которой определялась поглотительная способность сорбентов по отношению к влаге и кислым компонентам. Поглотительную способность реагентов мы оценивали по достигаемой температуре точки росы природного газа. Результаты исследований представлены в таблице 1.

Самая низкая температура точки росы достигалась при абсорбции на триэтиленгликоле (ТЭГ).

Эффективность процесса абсорбционной осушки природного газа нами также исследовалась в зависимости от температуры для указанных в табл. 1 осушителей. При этом за критерии эффективности осушки приняты достигаемые для природного газа величины температуры точки росы по воде и потери гликолей при абсорбции. Результаты представлены на рисунках 1 и 2.

Проведенные нами исследования показывают, что повышение температуры приводит к снижению эффективности процесса осушки природного газа методом абсорбции (рисунок 1), а также к увеличению потери гликолей (рисунок 2).

Как видно из рисунка 1, минимальная температура точки росы в процессе осушки природного газа жидкими гликолями при температуре 2°C в абсорбере достигается при использовании ТЭГ (минус 37,8°C). Это связано с тем, что ТЭГ имеет меньшую вязкость при пониженных температурах в абсорбере.

Чем ниже температура газа в абсорбере, тем выше эффективность осушки природного газа именно этим гликолем, по сравнению с ДЭГ. При повышении температуры в абсорбере эффективность осушки уменьшается, осо-

Таблица 1.

Поглотительная способность реагентов по отношению к влаге

Абсорбент	Достигаемая температура точки росы, °C			
	при температуре абсорбции 2°C	при температуре абсорбции 5°C	при температуре абсорбции 15°C	при температуре абсорбции 30°C
Этиленгликоль (ЭГ)	-27,8	-22,9	-17,2	-8
Диэтиленгликоль (ДЭГ)	-30,2	-25,5	-19,6	-5
Триэтиленгликоль (ТЭГ)	-37,8	-29,0	-17,6	5

Рис. 1. Зависимость достигаемой температуры точки росы газа по воде от температуры газа в абсорбере

Рис. 2. Зависимость потерь гликолей от температуры процесса осушки природного газа в абсорбере

бенно для ТЭГ: при 30°C точка росы по воде для ЭГ и ДЭГ ниже на 10 и 9 градусов соответственно.

Экспериментальные исследования показали, что диэтиленгликоль характеризуется лучшими показателями процесса при относительно низких температурах контакта (менее 15°C).

При абсорбции газа в абсорбере потери ЭГ почти на порядок превышают потери ДЭГ (рис. 2), которые, в свою очередь, на порядок выше, чем потери ТЭГ при обработке газа вне зависимости от температуры. Это обусловлено тем, что при увеличении температуры процесса увеличивается остаточное содержание влаги в газовой фазе, не обеспечивая требуемую степень осушки природного газа и давление насыщенных паров гликоля, при котором осу-

шитель улетучивается из абсорбера вместе с газом.

Из приведенных результатов можно заключить, что использование триэтиленгликоля в качестве эффективного абсорбента природного газа наиболее предпочтительно, так как его использование дает необходимое снижение точки росы по воде и минимальные потери гликоля с газом.

Методика определения величины адсорбции твердых адсорбентов в процессе осушки природного газа хроматографическим методом

Для исследования адсорбционной активности образцов адсорбентов для осушки природного газа нами использована методика

Рис. 3. Экспериментальная установка по исследованию адсорбции

определения величины адсорбции по изменению концентрации влаги хроматографическим методом.

Опыты по адсорбции проводились на экспериментальной лабораторной установке (рис. 3) по следующей методике.

Навески адсорбента активировали в муфельной печи при температуре 673K в течение 2,5 часов, затем охлаждали в эксикаторе до постоянного веса (точность взвешивания до 0,001 г). Процесс очистки природного газа на образцах адсорбентов изучали при различных температурах на модельной экспериментальной установке.

Природный газ из баллона подавался на адсорбционную колонку (адсорбер), представляющую собой цилиндрический аппарат общей высотой 210 мм и диаметром 35 мм (объем 7,35 см³).

Адсорбер с адсорбентом устанавливался в печи. Регистрация температуры адсорбции осуществлялась термопарой, установленной в кармане термопары адсорбера.

Печь нагревается подключением в общую электрическую сеть ~ 220В. Газ, проходя через слой адсорбента, поступает в газометр, заполненный рассолом (насыщенный водный раствор поваренной соли), рассол при этом вытесняется в цилиндр. Давление в адсорбере атмосферное и регулируется вручную с использованием стеклянного манометра отбором из газометра насыщенного раствора NaCl.

Газ, прошедший очистку из газометра, подается через пробоотборник на хроматограф для подключения газоанализатора сначала на одну колонку, затем на вторую для определения содержания воды и кислых компонентов (H₂S и CO₂) в газе.

Опыты проводили при атмосферном давлении при задаваемых величинах температуры и навески адсорбента. Продолжительность подачи сырья составляла 30 мин. Загрузка адсорбента составляла 50 г. На установке исследован процесс адсорбции на заданных образцах адсорбентов при температурах: 20, 25, 30, 35, 40°C.

Перед экспериментом адсорбент при рабочей температуре активировали продувкой азотом в течение 10 мин.

Исследование адсорбционной активности образцов адсорбентов по воде при различном времени контакта

На рисунке 4 приведены результаты исследования влагоемкости исследуемых нами адсорбентов (цеолитов – NaX, NaA и CaA, алюмосиликата и бентонитов – природного Б_{пр}, активированного серной кислотой Б_{H₂SO₄} и активированного карбонатом натрия Б_{Na₂CO₃}) в зависимости от времени адсорбции при температуре процесса сушки природного газа 20°C и атмосферном давлении.

Определение влагопоглощения указанных адсорбентов осуществлено с использованием

Рис. 4. Изотермы адсорбции по влаге для различных образцов адсорбентов

эксикаторного метода. Продолжительность адсорбции составила до 800 часов. Снятие показателей влагоемкости адсорбентов осуществляли первые 8 суток каждые сутки, а затем 1 раз при продолжительности адсорбции 200 часов.

Сравнительный анализ приведенных на рисунке 5 изотерм адсорбции показывает, что влагоемкость адсорбентов в зависимости от продолжительности эксперимента по адсорбции паров воды различна и меняется с течением времени проведения эксперимента.

При продолжительности адсорбции 20-100 часов наибольшую влагоемкость показывает бентонит, активированный серной кислотой. Его влагоемкость в этих условиях находится в интервале 170-240 мг/г. За ним следует природный бентонит, влагопоглощение которого при 20-ти часовой адсорбции составляет 145-150 мг/г, повышаясь до 200 мг/г в течение 5 суток.

За первые сутки эксперимента эффективность адсорбции повышается в следующем ряду: CaA (30 мг/г); NaA (40 мг/г); алумосиликат (75-80 мг/г); NaX (95 мг/г); бентонит природный (145 мг/г); бентонит, активированный H₂SO₄ (165 мг/г).

На четвертые сутки эксперимента (продолжительность 100 часов) влагоемкость адсорбентов менялась следующим образом: бентонит природный (190 мг/г); бентонит, активированный Na₂CO₃ (210 мг/г); CaA (220 мг/г); NaX (235 мг/г); NaA (235 мг/г); бентонит, активированный H₂SO₄ (245 мг/г).

Следующие 4 суток влагоемкость составляла: бентонит природный (200 мг/г); бентонит, активированный Na₂CO₃ (220 мг/г); бентонит, активированный H₂SO₄ (270 мг/г); CaA (270 мг/г); алумосиликат (290 мг/г); NaA (350 мг/г); NaX (265 мг/г).

В последующее время проведения эксперимента по исследованию влияния продолжительности адсорбции (800 часов) на влагоемкость адсорбента видно, что для всех бентонитов влагоемкость стабилизировалась на уровне, достигнутом при 200-часовой обработке: бентонит природный (200 мг/г); бентонит, активированный Na₂CO₃ (220 мг/г); бентонит, активированный H₂SO₄ (270 мг/г).

Влагоемкость цеолитов и алумосиликата при увеличении времени адсорбции увеличивалась.

У цеолитов NaA и NaX влагоемкость повышалась и становилась максимальной на 25 сут-

ки, далее стабилизировалась на уровне: NaA – 550 мг/г, NaX – 500 мг/г. На 33 сутки проведения эксперимента влагоемкость цеолита NaA имела тенденцию к небольшому снижению.

У адсорбентов: алюмосиликата и цеолита CaA влагоемкость при увеличении продолжительности адсорбции до 800 часов увеличивалась: у алюмосиликата до 390 мг/г, у цеолита CaA до 375 мг/г.

Таким образом, из сравнения изотерм адсорбции, приведенных на рисунке 5, видно, что наибольшие количества воды адсорбировались цеолитом NaA: при увеличении времени обработки от 280 часов до 800 часов влагоемкость возрастала от 400 мг/г до 550 мг /г, у NaX в этом интервале продолжительности влагоемкость увеличивалась от 400 до 500 мг/г.

Наиболее эффективными осушителями природного газа являлись цеолит NaA и NaX, эффективность которых по поглощению влаги повышалась с увеличением продолжительности адсорбции, начиная со 100 часов. При продолжительности адсорбции до 100 часов наиболее эффективным адсорбентом являлся цеолит CaA.

У образцов бентонитовых глин поглощение воды происходило эффективно в первые часы адсорбции (20-100 часов) до предельного насыщения, при дальнейшем контакте газа с адсорбентом влагоемкость не изменялась и

находилась на стабильном уровне предельной адсорбции.

На рисунке 5 приведены результаты исследования адсорбционной активности адсорбентов (цеолитов, алюмосиликата и бентонитов) по воде при различных температурах. Влияние температуры исследовалось в интервале 20-40°C и атмосферном давлении.

За величину адсорбции образцов адсорбентов принято значение изменения содержания влаги в образцах природного газа, отнесенное к единице массы адсорбента ($\Delta C/m$). Содержание влаги в образцах природного газа определяли хроматографическим методом.

С повышением температуры наблюдается тенденция к уменьшению адсорбционной активности адсорбентов по воде.

Наибольшей активностью по адсорбции паров воды обладает цеолит NaA. Изменение содержания поглощаемой влаги при 20°C составляет ($\Delta C/m$) 0,25 против 0,2 у алюмосиликата; 0,19 – цеолит CaA; 0,1 – бентонит, активированный H_2SO_4 ; 0,09 – бентонит, активированный Na_2CO_3 ; 0,075 – природный бентонит.

При повышении температуры до 40°C изменение содержания влаги на цеолите NaA составляет 0,07, на алюмосиликате – 0,04, на CaA – 0,03, на цеолитах (природном, активированном серной кислотой и карбонатом натрия) составляет 0,025.

Рис. 5. Зависимость изменения содержания влаги от температуры

Таблица 2.

Состав природного и активированных бентонитов

Катионы	Содержание катионов, ммоль/100 г сухого вещества в бентоните		
	Бпр	БА _{Na2CO3}	БА _{H2SO4}
Na ⁺	8,1	38,1	1,2
K ⁺	1,3	1,8	0,5
Ca ²⁺	13,1	4,9	14,9
Mg ²⁺	12,9	2,8	5,8
Суммарно	35,4	47,6	22,4

Также нами проведено исследование адсорбции и десорбции влаги на активированной разными способами (наноструктурированной) бентонитовой глине. Химический состав исследованных образцов бентонитовой глины приведен в табл. 2.

Активирование карбонатом натрия создает щелочную среду, что оказывает влияние на химический состав бентонита вследствие растворения свободного кремнезема – снижение содержания оксида кремния и увеличение содержания оксидов алюминия, железа, щелочных и щелочноземельных металлов в образцах бентонитов.

В результате замещения металлами первой группы таблицы элементов в бентокомплексе на ионы натрия, обнаруживает их более чем четырехкратное возрастание, а это, в свою

очередь, увеличивает ионообменную глиноемкость от 75 до 120 мг-экв /100 г глины.

Вымывание ионов алюминия, железа и магния при обработке кислотой приводит к разрушению кристаллической структуры глинистых минералов и способствует развитию поверхности. Удельная поверхность бентонита возрастает более чем в три раза, до 76 м²/г благодаря развитию структуры, характеризующейся меньшим размером пор – наблюдается уменьшение их диаметра с 118 до 66 нм.

Также мы можем заметить, что наибольшей адсорбцией обладает бентонит, активированный H₂SO₄–168 мг/г, а наименьшей обладает природный – 150 мг/г. Это явление можно объяснить тем, что наибольшей удельной поверхностью обладает бентонит, активированный серной кислотой, 76 м²/г против 24 м²/г.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. Для разработки перспективного метода подготовки природного газа к дальнейшей переработке его в метано-водородную смесь проведено исследование адсорбционной способности различных типов твердых адсорбентов – цеолитов, цеолитсодержащих катализаторов, алюмосиликата, силикагеля и бентонитов (природного, активированных карбонатом натрия Na₂CO₃ и серной кислотой H₂SO₄ бентонитовых глини месторождения Катаяма Чеченской Республики).

2. Проведенные исследования адсорбционной активности образцов адсорбентов

по H₂O показывают, при осушке природного газа наиболее эффективным является цеолит NaA.

3. Установлено, что активирование бентонитовых глини Na₂CO₃ и H₂SO₄ значительно повышает их адсорбционную активность. Результаты исследований показывают, что на начальном этапе адсорбции активность бентонитовых глини выше, чем у исследованных нами адсорбентов, особенно по поглощению влаги.

4. Несмотря на то, что природные бентонитовые глины обладают сравнительно небольшой адсорбционной активностью, они имеют,

на наш взгляд, перспективу для использования в процессах осушки, так как активация водными растворами Na_2CO_3 и H_2SO_4 способствует повышению адсорбционной активности бентонитовых адсорбентов.

5. Наличие значительных реурсов бентонитовых глин, их доступность, дешевизна, возможность улучшения их адсорбционных свойств активированием различными добавками делают их интересными для дальнейших исследований в процессах подготовки природного газа к переработке. Дальнейший поиск

эффективных способов их активации весьма актуален. Кроме того, представляется интересным проведение исследований по определению возможности использования бентонитовых глин в многослойной адсорбционной системе.

Работа выполнена при финансовой поддержке Минобрнауки РФ в рамках Соглашения о предоставлении гранта в форме субсидии №05.607.21.0311 от «02» декабря 2019 г. Уникальный идентификатор проекта – RFMEFI60719X0311.

ЛИТЕРАТУРА

1. Акимбаева А. М., Ергожин Е. Е. Оценка структурных и сорбционных характеристик активированного бентонита // Коллоидный журнал. 2007. Т. 69. №4. С. 437-443.
2. Байрамова А. С. Исследование процесса адсорбционного разделения цеолитами газовой смеси // Международный научно-практический журнал «Интеграция наук». 2018. №3 (18). С. 13-15.
3. Бабина А. А., Зотов Р. А., Казаков Ю. М. Центр осушки УВС ООО «НИОСТ»: исследование российских и зарубежных цеолитных адсорбентов // НефтеГазоХимия. 2015. №3. С. 21-26.

INVESTIGATION OF EFFICIENCY OF NATURAL GAS DRYING BY ABSORPTION AND ADSORPTION METHODS

© L. Sh. Makhmudova, H. H. Akhmadova, J. T. Hadisova,
Z. A. Abdulmezhidova, E. U. Idrisov

GSTOU named after acad. M. D. Millionshchikov, Grozny, Russia

The article analyzes modern methods of drying natural gas for further processing it into a methane-hydrogen mixture. The results of studies of absorption and adsorption drying of natural gas with liquid reagents (ethylene glycols) and solid adsorbents (zeolites and bentonites) are presented. It is shown that natural bentonite clays have a relatively small adsorption activity, their activation with aqueous solutions of Na_2CO_3 and H_2SO_4 increases the adsorption activity, and their use in combination with other adsorbents contributes to a significant increase in the adsorption processes.

The authors show the possibility and necessity of further research to find effective methods of activation of bentonite clays.

Keywords: natural gas, absorption, adsorption, ethylene glycol, zeolite, bentonite, activation.

REFERENCES

1. Akimbaeva, A. M. and Ergozhin, E. E. (2007) 'Otsenka strukturnykh i sorbtsionnykh kharakteristik aktivirovannogo bentonita' *Kolloidnyi zhurnal*. [Assessment of the structural and sorption characteristics of activated bentonite. Colloid journal]. V. 69. No. 4, pp. 437-443.
2. Bayramova, A. S. (2018) 'Issledovanie protsessa adsorbtsionnogo razdeleniya tseolitami gazovoi smesi'. *Mezhdunarodnyi nauchno-prakticheskii zhurnal «Integratsiya nauk»*. [Investigation of the process of adsorption separation of gas mixture by zeolites. International scientific and practical journal "Integration of Sciences"]. №3 (18), pp. 13-15.
3. Babina. A. A., Zotov R.A. and Kazakov Yu.M. (2015) 'Tsentr osushki UVS OOO «NIOST»: issledovaniya rossiiskikh i zarubezhnykh tseolitnykh adsorbentov' [UVS dehydration center NIOST LLC: research of Russian and foreign zeolite adsorbents]. *NefteGazoKhimiya* No. 3, pp.21-26.