

Экстрагирующий эффект щелочных растворов при обработке нефтебитуминозных пород воздействием ультразвука

Е.И. Иманбаев^{1*}, Е.К. Онгарбаев^{1,2}, Ж.К. Мылтыкбаева², А.К. Малаев²,
А.К. Серикказинова², Д. Мукталы²

¹Институт проблем горения, ул. Богенбай батыра, 172, Алматы, Казахстан

²Казахский национальный университет имени аль-Фараби, пр. аль-Фараби, 71, Алматы, Казахстан

АННОТАЦИЯ

Известно, что природный битум, содержащийся в нефтебитуминозных породах, является перспективным источником энергии. Более того, их переработка позволяет производить дорожный битум, имеющий большое промышленное значение. Для получения целевых конечных продуктов из нефтебитуминозных пород сначала извлекают битум, который подвергают дальнейшей переработке. Одним из эффективных и нетрадиционных методов извлечения природного битума является ультразвуковое воздействие, которое является относительно дешевым, а также отсутствует необходимость использования дорогостоящих и токсичных реагентов. В данной работе представлены результаты выделения битума из нефтебитуминозных пород месторождений Мунайлы Мола и Беке с использованием способа ультразвукового воздействия. В ходе исследований установлено, что щелочные растворы ускоряют извлечение битума при мощности ультразвука 1500 Вт и частоте колебаний 22 кГц. Также изучено влияние pH раствора на извлечение битума из нефтебитуминозных пород. Определены основные физико-химические характеристики природных битумов двух месторождений после ультразвукового извлечения, включая их низкое содержание механических примесей. Выявлены оптимальные условия извлечения битума и изучены физико-химические характеристики полученных продуктов.

Ключевые слова: нефтебитуминозная порода, природный битум, ультразвуковая технология, кавитация, щелочные растворы

1. Введение

В Казахстане ежегодно производится около одного миллиона тонн дорожного битума, однако его дефицит остается актуальной проблемой. Это обуславливает необходимость поиска альтернативных источников сырья и разработки более эффективных методов его получения.

Также в стране растет потребность в иных энергетических ресурсах [1]. К альтернативным источникам энергии и углеводородного сырья можно отнести запасы природного битума, которые вкупе с тяжелыми нефтями в мировом масштабе в несколько раз превышают запасы средних и легких нефтей [2]. Природные битумы, как ископаемые, являются продуктами и производными нефти, образующиеся естественным путем в ре-

зультате химических и физических процессов, и обладают рядом специфических свойств, позволяющих использовать их в различных областях, таких как стройматериалы, нефтепереработка, энергетика и химическая промышленность. Мировые запасы природных битумов нефтебитуминозных пород приведены в таблице 1 [3].

В настоящее время в Казахстане исследования в области выделения природного битума из нефтебитуминозных пород проводятся недостаточно активно. Смолоподобные или твердые природные битумы преимущественно содержатся в составе пород, связанных с залежами нефти. Поэтому выделение битума из нефтеносных песков актуально в условиях сокращения запасов сырой нефти [4]. Сами нефтебитуминозные породы (НБП) являются гетерогенными смесями, содержащими нефть, воду и частицы грунта, причем НБП обычно содержат 3-20% битума, 80-87% песка и 3-6% воды [5].

*Ответственный автор

E-mail: erzhan.imanbayev@mail.ru

Таблица 1. Мировые запасы природных битумов (в млн баррелей), (н.д. – нет данных) [3]

Страны и регионы	Кол-во месторождений	Текущие запасы	Суммарное производство	Остаточные запасы
Африка	7	45546	–	574
Канада	227	2397064	4975	173605
Индонезия	1	4456	24	422
Казахстан	52	420690	–	42009
Россия	39	346754	14	28367
Тринидад и Тобаго	14	628	–	н.д.
США	201	53479	24	н.д.
Всего по миру	541	3268617	5037	244977

Одним из перспективных нетрадиционных методов их извлечения является ультразвуковое воздействие на битуминозные породы. Согласно литературным данным [6], этот метод демонстрирует высокую эффективность благодаря экономичности и отсутствию необходимости использования токсичных или летучих реагентов. Ультразвуковая технология может быть эффективной альтернативой традиционным процессам [6]. Ультразвуковая кавитация представляет собой эффективный метод преобразования энергии акустического поля низкой плотности, распределенной по большому объему, в энергию высокой локальной плотности, сосредотачивающейся и высвобождающейся в микроскопических масштабах. Ультразвуковые волны воздействуют на НБП по механизму передачи колебаний ультразвука на поверхность частиц битума, которые представляют собой мицеллярные структуры. Согласно работе [7], ультразвуковая волна проникает в НБП, воздействуя на поверхность раздела битум-твердое вещество. При разрушении кавитационные пузырьки создают высокое давление, ударные волны и микроструи, нарушающие связь между песком и битумом. Таким образом, можно наблюдать перестройку данных структур, а также их разрушение воздействием гидроксильных ионов в водно-битумной эмульсии [8, 9]. Также в суспензиях с твердыми веществами ультразвуковая кавитация вызывает микропоточковые движения, приводящие к разрушению частиц [10, 5].

Авторы работы [11] исследовали влияние различных параметров процесса, включая температуру, время экстракции и соотношение твердой и жидкой фаз на эффективность извлечения битума. Полученные результаты показали, что повышение температуры способствует увеличению выхода битума, однако при слишком высоких температурах

возможно его повторное слияние с минеральными частицами. Недостатком описанного в работе способа является большой расход воды.

Нефтебитуминозные месторождения Казахстана характеризуются высоким содержанием природного битума. Выявлено 60 залежей НБП, основная часть которых сосредоточена в западных регионах страны [12]. Актуальной задачей является разработка эффективных рациональных технологий, методов и условий переработки казахстанских НБП для производства качественных битумов [13].

По результатам работы [14] установлено, что скорость отделения органических компонентов зависит не только от ультразвуковой обработки, но и от используемых растворителей. Например, при использовании керосина и уайт-спирита в качестве растворителей при концентрации флокулянта 0,1% максимальное отделение органической части из нефтебитуминозных пород достигается в течение 10 минут. Однако использование органических растворителей в промышленности, относящихся к легковоспламеняющимся жидкостям, требует особого контроля.

Щелочные растворы при ультразвуковой обработке НБП взаимодействуют с карбоновыми кислотами битума, образуя поверхностно-активные вещества, которые снижают межфазное натяжение на границе битум-вода и увеличивают дзета-потенциал [15].

Исследование [16] показало, что с увеличением ультразвуковой мощности повышается выход битума. При воздействии ультразвука мощностью 1500 Вт выход битума составлял выше 80%. В результате исследования были определены оптимальная мощность и частота ультразвука для разделения битумов из нефтебитуминозных пород. Отличительной особенностью данной ра-

Таблица 2. Промышленные полевые испытания с использованием ультразвука

Цель работы	Характеристики ультразвука	Основные результаты	Лит.
Применение ультразвуковой технологии на морских скважинах	Время воздействия – 20 мин; частота – 20 кГц; мощность – 1 кВт	Добыча нефти увеличилась на 30% и удаление парафина прошло успешно	[17]
Влияние ультразвука на вязкость жидкости в пластовых условиях	Мощность – 9 кВт; частота 19 кГц; температура процесса – 65 °С; время воздействия – 24 ч	Увеличение добычи нефти на 0,4 т в сутки. После обработки ультразвуком происходит снижение вязкости на 16%	[18]
Испытание американского оборудования на скважинах	Частота – 19 кГц; температура процесса – 85 °С; мощность – 2 кВт	Индекс продуктивности скважины увеличился на 40% и уменьшилась обводненность на 8,2%	[19, 20]
Испытание термоакустического оборудования	Частота – 19 кГц; температура процесса – 85 °С; мощность – 2 кВт	Добыча нефти увеличилась на 75% и на 4,45 т в день в течение более 6 месяцев	[21]
Повышение нефтеотдачи	Частота от 13 до 26 кГц	Степень результативности технологии составила 90%. Дебит нефти увеличился на 40-100% и данный эффект сохранялся в течение более 5 месяцев	[22]
Регенерация скважин ультразвуком	Частота 18-27 кГц; мощность – 10 кВт	Дебит скважин увеличился на 50%. Для скважин с высокой проницаемостью и пористостью регенерация составила 85%. Для скважин с низкой проницаемостью и пористостью рекомендуется комбинированная обработка растворителями	[23]

боты является выявление оптимальной среды для разрушения глинистых соединений в составе НБП, которые оказывают непосредственное влияние на извлечение природных битумов.

Основные промышленные полевые испытания с использованием ультразвука были проведены в России и США. Из таблицы 2 видно, что ультразвуковая технология может успешно увеличивать выход целевого продукта за счет повышения подвижности нефти (снижения вязкости, выделения тепла и капиллярного эффекта). В работе [22] было изучено применение ультразвуковой технологии в двух морских скважинах, где результаты показали увеличение добычи нефти на 30%.

Целью данной работы является исследование процесса извлечения природных битумов из нефтебитуминозных пород Казахстана воздействием ультразвука и определение оптимальной среды растворов для их эффективной экстракции.

2. Материалы и методы исследования

В качестве объектов исследования выбраны нефтебитуминозные породы месторождений Мунайлы Мола Атырауской области и Беке Мангистауской области. Определены основные исходные физико-химические показатели природных

битумов, извлеченных хлороформом, которые представлены в таблице 3.

Химический состав битумов определяли по следующей схеме: сначала содержание асфальтенов в образце «холодным» методом Гольде, затем концентрацию смол в полученных мальтенах адсорбционным методом, нанося анализируемый продукт на активированный силикагель АСК, помещая смесь в экстрактор Сокслета и последовательно вымывая углеводородные компоненты (масла) н-гексаном, а смолы – этанол-бензольной смесью в соотношении 1:1.

Плотность битумов определяли по ГОСТ 3900-85, а степень зольности – по ГОСТ 1461-75. Температуру хрупкости по Фраасу измеряли на аппарате АТХ-04 в соответствии с СТ РК 1229. Для определения элементного состава битума (содержание С, Н, N, O, S) использовали элементный анализатор Elementar Vario. Теплоту сгорания битумов определяли по ГОСТ 147-2013 с помощью калориметрической установки. Массовое содержание механических примесей определяли согласно методике ГОСТ 6370-83.

По результатам анализа в составе НБП месторождения Мунайлы-Мола содержится до 25% битума, который богат маслянистыми углеводородами и обладает более высокой теплотворной

Таблица 3. Физико-химические характеристики природных битумов нефтебитуминозных пород

Показатели	Мунайлы Мола	Беке
Содержание битума в породе, мас. %	22-25	10-12
Асфальтены, мас. %	14,5	28,0
Масла, мас. %	48,2	34,3
Смолы, мас. %	37,3	37,7
Плотность, кг/м ³	992,0	992,0
Теплота сгорания, кДж/кг	43387	40062
Зольность, мас. %	0,9	0,9
Температура хрупкости, °С	–11,0	–11,0
Содержание механических примесей, мас. %	0,71	0,71
Элементный состав, мас. %		
С	84,12	72,05
Н	13,90	14,41
S	0,80	0,52
N	0,40	0,51
O	0,78	12,51

способностью, что объясняется повышенным содержанием углерода. В битуме месторождения Беке содержится больше асфальтенов и меньше масел. По содержанию смол, плотности и зольности битумы двух месторождений сходны.

Для разделения природных битумов из НБП использовали лабораторный комплекс МЛУК-3/22-ОЛ с частотой ультразвуковых колебаний 22 кГц и мощностью 1500 Вт. Разделение проводилось в водных растворах карбоната, гидроксида натрия и гидроксида калия (Na_2CO_3 , NaOH , KOH) с различными концентрациями и pH от 8 до 13.

Перед процессом ультразвукового разделения образцы НБП предварительно измельчали в грунтовой мельнице МГ-1 до 1, 2,5, 5, и 10 мм для

определения влияния размеров породы на выход битума.

На рис. 1 представлена схема процесса извлечения битума из НБП под воздействием ультразвука. Измельченную НБП (5) помещали в емкость объемом 200 мл и внутренним диаметром 80 мм (3) и заливали щелочным раствором (4). Волновой излучатель (2), погруженный в раствор (4), закрепляли над стаканом (3). С помощью пульта управления ультразвукового комплекса (1) запускали работу излучателя (2).

Длительность процесса варьировали от 10 до 20 минут. Выделение битума из НБП наблюдалось в виде поднимающихся капель и частиц битума (6), образующих слой (7) на поверхности раство-

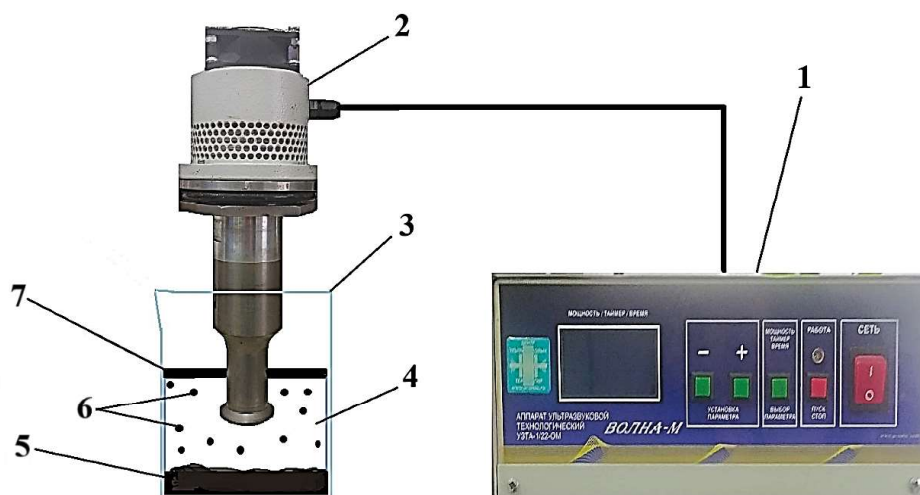
**Рис. 1.** Схема ультразвуковой установки для разделения природных битумов из нефтебитуминозных пород.

Таблица 4. Влияние размеров частиц НБП на выход битума в растворе NaOH

Размер частиц НБП, мм	Концентрация раствора NaOH, мас. %					
	0	0,5	1	2	3	5
1,0	45	85	75	75	75	75
2,5	80	96	98	98	98	98
5,0	15	35	75	78	78	81
10,0	7	8	10	15	17	20

ра. По завершении процесса битум (6) всплывал на поверхность раствора, а песок и минеральная часть (5) оседали.

Органическую часть отделяли, пропускали через фильтровальную бумагу и определяли содержание механических примесей. Минеральную часть высушивали в сушильном шкафу и измеряли ее массу. В результате составляли материальный баланс процесса.

3. Результаты и обсуждение

В ходе испытаний было установлено, что размер частиц НБП влияет на их реакционную способность к разложению в растворе и эффективность извлечения битума. В таблице 4 представлено влияние размеров частиц породы Мунайлы-Мола на выход битума при различных концентрациях раствора гидроксида натрия.

Степень измельчения частиц НБП значительно влияет на степень извлечения битума: чем меньше размер частиц, тем выше выход битума. Максимальное извлечение битума из НБП наблюдается при концентрации раствора 1%, при этом выход битума достигает 98%. Дальнейшее увеличение концентрации раствора не приводит к повышению выхода битума.

При извлечении битума чистой водой уменьшение размера частиц НБП также способствует увеличению выхода битума. В таблице 5 представлена зависимость выхода битума от размеров частиц в растворе гидроксида калия различной концентрации.

Извлечение битума в растворе гидроксида калия более интенсивное, чем в растворе гидроксида натрия. Повышение концентрации щелочи способствует увеличению выхода битума. Установлено, что оптимальный размер частиц НБП – 2,5 мм. При измельчении частиц НБП до 1 мм извлечение битума ухудшается. Это связано с тем, что высокая мощность ультразвука приводит к дальнейшему дроблению НБП, вызывая интенсивное перемешивание. В результате извлеченный битум повторно связывается с мелкими минеральными частицами, снижая эффективность его отделения.

Исследована зависимость соотношения массы породы к объему растворов гидроксидов натрия, калия и карбоната натрия, результаты которых представлены в таблице 6. Эксперименты проведены в растворах с концентрациями, показавшими высокий выход битума. Регулирование соотношения НБП к раствору осуществляли путем варьирования объема раствора при постоянной массе НБП.

Результаты показывают, что при соотношении НБП к раствору 1:1 процесс отделения битума затруднен. При увеличении этого соотношения от 1:3 и выше наблюдается снижение извлечения битума. Это связано с тем, что основная энергия ультразвука рассеивается в объеме системы, теряя часть своей мощности. Кроме того, с ростом концентрации пузырьков в растворе усиливается отделение битума от минеральной части.

Исследовано влияние водородного показателя (pH) раствора на эффективность ультразвуко-

Таблица 5. Влияние размеров частиц НБП на выход битума в растворе KOH

Размер частиц НБП, мм	Концентрация раствора KOH, мас. %					
	0	0,5	1	2	3	5
1,0	45	65	79	80	85	85
2,5	80	95	98	98	98	98
5,0	15	45	80	88	88	91
10,0	7	10	15	23	30	35

Таблица 6. Зависимость выхода битумов при разных соотношениях НБП к раствору

Соотношение НБП : раствор	Выход битума из НБП Мунайлы Мола в растворах, мас. %			Выход битума из НБП Беке в растворах, мас. %		
	Na ₂ CO ₃	NaOH	KOH	Na ₂ CO ₃	NaOH	KOH
1:1	82	83	78	78	70	60
1:2	93	98	98	93	96	95
1:3	85	80	80	82	90	87
1:4	78	75	73	74	75	74
1:5	70	70	65	63	70	67

вого выделения битума. На рис. 2 показано влияние pH раствора Na₂CO₃ на степень извлечения битумов при соотношении НБП к раствору 1:2. С повышением pH растворов Na₂CO₃ наблюдается увеличение выхода битума.

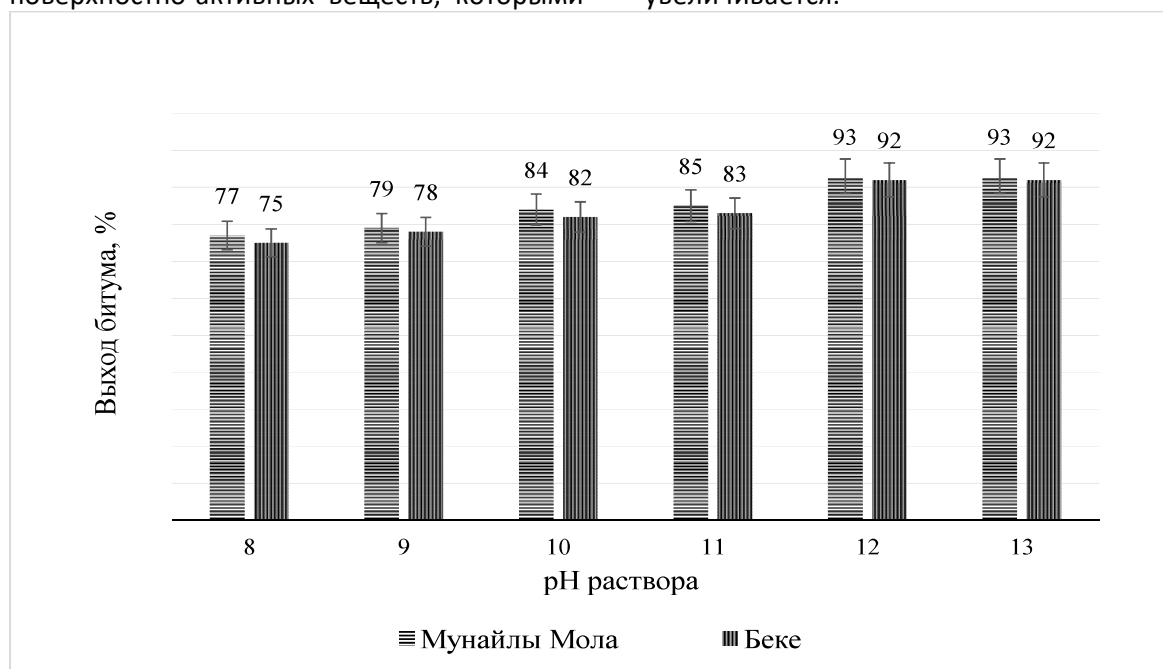
На рис. 3 показано влияние pH раствора NaOH на степень извлечения битумов при ультразвуковой обработке НБП при соотношении НБП к раствору 1:2. Для раствора NaOH также наблюдается постепенное увеличение степени извлечения битума. Это связано с тем, что ионы щелочных металлов выполняют роль поверхностно-активных агентов в растворе, тем самым увеличивают экстрагирующие свойства.

Ионы кальция, присутствующие в минеральной части НБП, взаимодействуют с карбоксильными группами битума, формируя карбоксилаты кальция [24] и способствуя образованию прочных связей между глинистыми минералами и битумом. Для их разрушения необходимо применение поверхностно-активных веществ, которыми

могут быть щелочные растворы. Эти вещества снижают силу взаимодействия минеральных компонентов с битумом, что приводит к увеличению его извлечения. На рис. 4 представлено влияние pH раствора KOH на степень извлечения битумов при ультразвуковой обработке НБП при соотношении НБП к раствору 1:2.

Результаты показали, что извлечение битума в растворах KOH происходит интенсивнее, чем в растворах NaOH. Это можно объяснить электрохимической активностью металлов: электрохимическая активность калия составляет -2,92 В, а натрия – -2,71 В. Таким образом, KOH обладает высокой степенью диссоциации в растворах и его ионы раньше переходят в раствор, способствуя образованию поверхностно-активных веществ.

В таблице 7 представлены результаты исследования влияния температуры растворов на степень извлечения битумов из НБП. Установлено, что с повышением температуры выход битума увеличивается.

**Рис. 2.** Влияние pH раствора Na₂CO₃ на степень извлечения битумов.

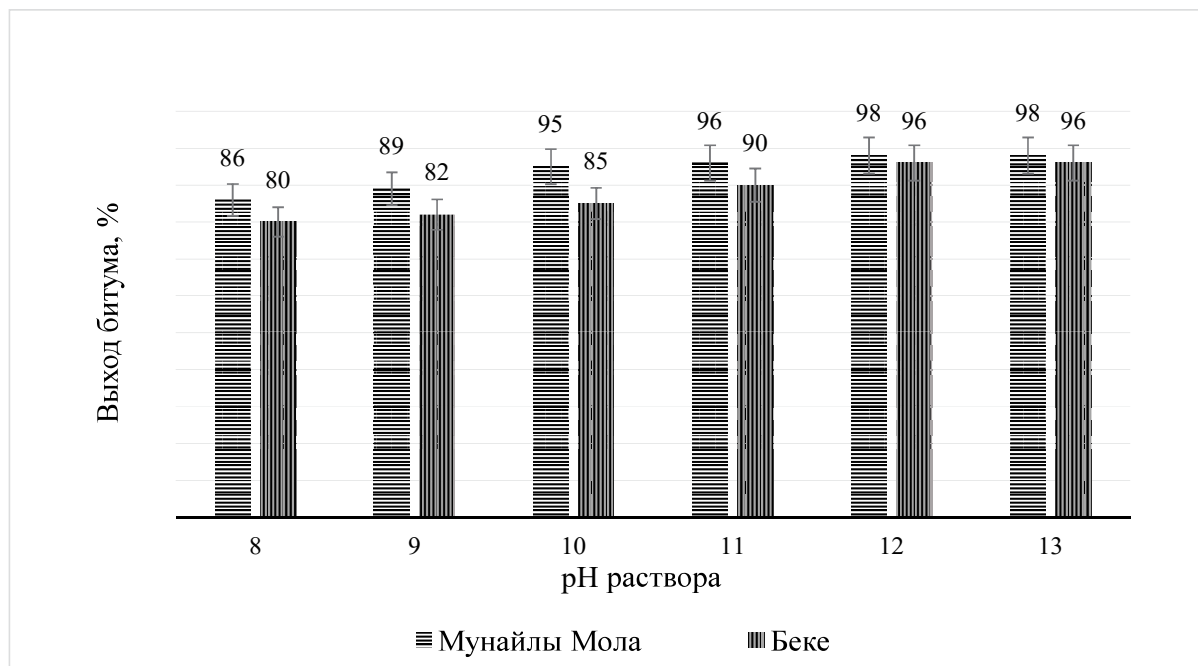


Рис. 3. Влияние pH раствора NaOH на степень извлечения битумов.

Максимальное извлечение битума из НБП наблюдается при температуре 75 °С. Однако при повышении до 90 °С наблюдается снижение эффективности извлечения. Этот эффект может быть обусловлен тем, что при высокой температуре битум переходит в расплавленное состояние, что способствует его повторному сливанию с мелкими минеральными частицами породы. Физико-химические показатели битумов, извлеченных под воздействием ультразвука, представлены в таблице 8. Плотность битумов месторождения Беке составила 940,1 кг/м³, а месторождения Мунайлы Мола – 987,4 кг/м³. Высо-

кая вязкость и плотность битумов обусловлены значительным содержанием смол и низким количеством легких углеводородов. Также наблюдается высокая зольность битумов, полученных из НБП двух месторождений, что связано с механическими примесями. Природные битумы обладают более низкой температурой размягчения и меньшей растяжимостью по сравнению с дорожным нефтяным битумом. Под воздействием высокой мощности ультразвука углеводородный состав битумов претерпевает значительные изменения, что подтверждается их компонентным составом. В случае природного битума место-

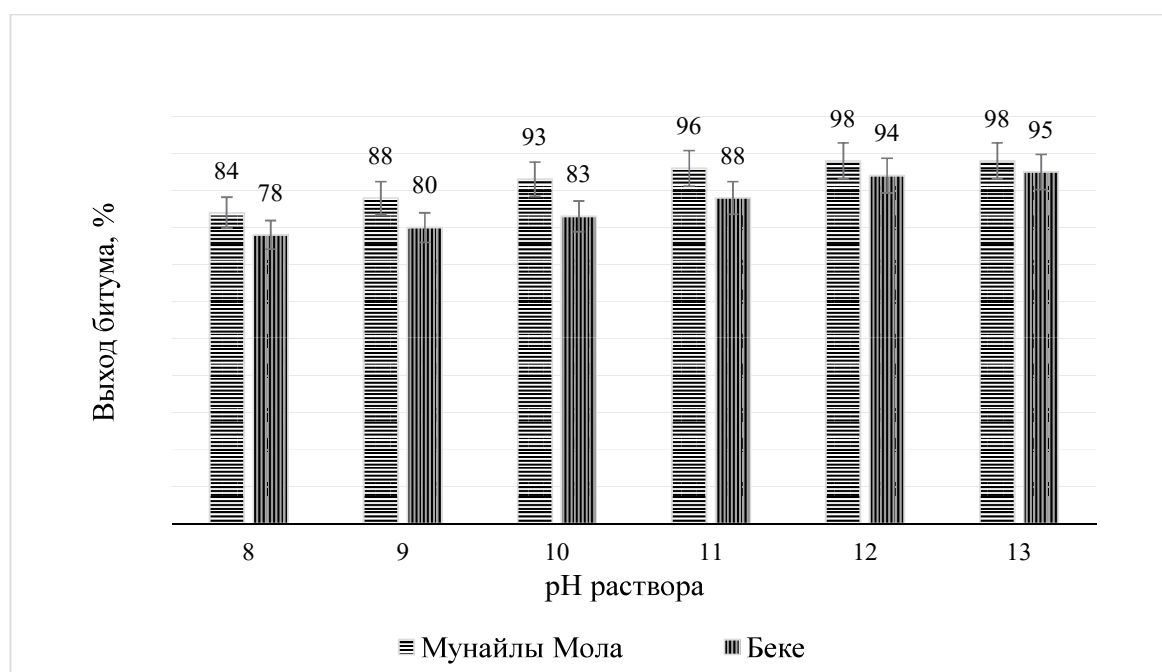


Рис. 4. Влияние pH раствора KOH на степень извлечения битумов.

Таблица 7. Влияние температуры растворов на степень извлечения битумов

Температура раствора, °С	Выход битума из НБП Мунайлы Мола в растворах, мас. %		Выход битума из НБП Беке в растворах, мас. %	
	NaOH	KOH	NaOH	KOH
5	67	87	80	80
15	75	89	82	88
25	85	90	84	90
50	90	92	85	90
75	98	98	96	98
90	93	92	87	94

Таблица 8. Физико-химические показатели природных битумов, извлеченных ультразвуком

Показатели	Мунайлы Мола	Беке
Выход битума, мас. %	21-24	8-10
Асфальтены, мас. %	13,3	11,1
Масла, мас. %	49,1	46,7
Смолы, мас. %	37,6	42,2
Плотность, кг/м ³	987,4	940,1
Глубина проникания иглы при 25 °С, 0,1 мм	126	133
Растяжимость при 25 °С, см	102	95
Зольность, мас. %	0,89	0,9
Температура хрупкости, °С	-11	-13
Температура размягчения, °С	35	29
Содержание механических примесей, мас. %	8,9	6,5

рождения Беке большие градиенты давления и температуры, возникающие при кавитации в системе НБП-раствор щелочного металла, не только отделяют органическую часть нефтебитуминозных пород от ее минеральной составляющей, но и разрушают связи С-С- в больших органических молекулах с образованием более легких соединений, так как уменьшается содержание асфальтенов и увеличивается содержание масел.

Ультразвуковая кавитация создает в системе механический и тепловой физический эффекты, которые усиливают смешение выделенных природных битумов с минеральной частью. Отслоенный природный битум адсорбируется мелкими частицами глины, что приводит к образованию механических примесей. В составе природных битумов образуются мицеллы, окруженные молекулами углеводородов. Центром такой мицеллы может быть частица кремнезема или глины. Известно, что для удаления оставшихся механических примесей требуется промывка органическим растворителем.

4. Заключение

По результатам исследования установлено, что щелочные растворы ускоряют извлечение битума при следующих оптимальных условиях: частота колебаний – 22 кГц, мощность ультразвука – 1500 Вт, pH раствора – выше 11, соотношение НБП к раствору – 1:2, длительность процесса – до 20 минут при температуре 75 °С.

Также установлено, что извлечение природных битумов из НБП в щелочном растворе гидроксида натрия более эффективно. Максимальный выход битума составил 98% для месторождения Мунайлы Мола и 96% – для месторождения Беке.

Определены основные физико-химические характеристики природных битумов двух месторождений, включая низкое содержание механических примесей: 8,9% для НБП месторождения Мунайлы Мола и 6,5% – НБП месторождения Беке.

Извлечение битума из НБП воздействием ультразвука является экономически выгодным и

эффективным методом. Установлено, что ультразвуковая обработка не только позволяет проводить недорогостоящую ремедиацию почв, но и устраняет многие недостатки, характерные для традиционных технологий экстракции.

Благодарность

Работа выполнена при финансовой поддержке Комитета науки МНВО РК по проекту программно-целевого финансирования BR21882255 «Разработка новых способов переработки тяжелых нефтей, нефтяных остатков, нефтебитуминозных пород, окисления гудрона с добавкой модификаторов для расширения производства битумов».

Список литературы

- [1]. Дорожный битум. Как решается проблема дефицита // Электрон. ресурс. – 2025. – 16 января. www.kmg.kz/ru/press-center/articles/bitum-def
- [2]. Myltykbaeva Z., Mussabayeva B., Ongarbayev Y., Imanbayev Y., Mukhtaly D. Ultrasonic Technology for Hydrocarbon Raw Recovery and Processing // Processes. – 2024. – Vol. 12(10). – P. 2162.
- [3]. Murray R.G. Upgrading Oilsands Bitumen and Heavy Oil // Canada: The University of Alberta Press. - 2015. – P. 500.
- [4]. Hao J., Tian Y., Zhang J., Qiao Y., Che Y. Research progress on separation technologies of oil sand bitumen // Chem. Ind. Eng. Progr. – 2018. – Vol. 37 (09). – P. 3337-3345.
- [5]. Luo X., Gong H., He Z., Zhang P., He L. Recent advances in applications of power ultrasound for petroleum industry // Ultrasonics Sonochemistry. – 2021. – Vol. 70. – P. 105337.
- [6]. Мясников С.К., Безукладникова А.И. Ультразвуковое извлечение битума из битуминозного песка и межфазные натяжения в разделяемой системе // Успехи в химии и химической технологии. – 2011. – № 1 (117) – С. 97-102.
- [7]. Qiu L.Q., Zhang M., Chitrakar B., Bhandari B. Application of power ultrasound in freezing and thawing Processes: Effect on process efficiency and product quality // Ultrasonics Sonochemistry. – 2020. – Vol. 68. – P. 105230.
- [8]. Онгарбаев Е.К., Иманбаев Е.И., Тилеуберди Е., Головки А.К. Извлечение природных битумов из нефтебитуминозных пород месторождений Беке и Мунайлы Мола // Горение и плазмохимия. – 2017. – № 2. – С. 148-155.
- [9]. Zou Ch., Zhao P., Ge T., Li D., Ye H., Huang G. Bitumen recovery from Buton oil sands using a surfactant under the effect of ultrasonic waves // Energy Sources, Part A: Recovery, Utilization, And Environmental Effects. – 2016. – Vol. 38 (2). – P. 270-276.
- [10]. Avvaru B., Roy S.B., Ladola Y., et al. Sonochemical leaching of uranium // Chemical Engineering and Processing. – 2008. – Vol. 47. – P. 2107-2113.
- [11]. Saleh M., Yani S., Nurjannah. Hot Water Extraction on Aspal Buton // Journal of Physics: Conference Series. – 2022. – Vol. 2394. – P. 2394.
- [12]. Надиров Н.К. Высоковязкие нефти и природные битумы. – Алматы: Ғылым, 2001. – С. 10-17.
- [13]. Теляшев Э.Г., Хайрудинов И.Р., Кутын Ю.А., Оразова Г.А., Буканова С.К. Источники сырья для производства дорожных битумов в Казахстане // Экспозиция. Нефть Газ. – 2008. – № 5 – С. 24-26.
- [14]. Beysenbayev O.K., Esirkepova M. Investigation of a Mechanism for Extraction of Organic Components of a Mineral Part from Imankara Field Oil-Bituminous Rocks by Ultrasonic Treatment Method in the Presence of Surfactants and Flocculants // Orient. J. Chem. – 2018. – Vol. 34. – P. 482-492.
- [15]. Zhang Y., Ding M.S., Liua J., Jia W.H., Ren S.L. Studies on bitumen-silica interaction in surfactants and divalent cations solutions by atomic force microscopy // Colloid Surf. A. – 2015. – Vol. 482. – P. 241-247.
- [16]. Иманбаев Е.И., Онгарбаев Е.К., Мылтыкбаева Ж.К., Серикказинова А.К., Малаев А.К., Мукталы Д., Тилеуберди Е., Аяпбергенов Е.О. Исследование влияния ультразвуковой технологии на экстракцию битума из нефтебитуминозных пород // Вестник нефтегазовой отрасли Казахстана. – 2024. – №3 – С. 94-101.
- [17]. Chang C.L., Spenger O., Amran A., M Khalil M.I., M Ariffin M.H., Balakrishnan D. First Application of Ultrasonic Technology in South East Asia: Breakthrough Case Study in Field T - Opening Doors for Alternative Stimulation Methods // SPE/IATMI Asia Pacific Oil and Gas Conference and Exhibition. – 2019. Paper Number: SPE-196508-MS
- [18]. Abramov V.O., Abramova A.V., Bayazitov V.M., Mullakaev M.S., Marnosov A.V., Ildiyakov A.V. Acoustic and sonochemical methods for altering the viscosity of oil during recovery and pipeline transportation // Ultrason. Sonochem. – 2017. – Vol. 35. – P. 389-396.
- [19]. Mullakaev M.S., Abramov V.O., Abramova A.V. Ultrasonic automated oil well complex and technology for enhancing marginal well productivity and heavy oil recovery // J. Pet. Sci. Eng. – 2017. – Vol. 159. – P. 1-7.
- [20]. Mullakaev M.S., Abramov V.O., Abramova A.V. (b).

- Ultrasonic piezoceramic module and technology for stimulating low-productivity wells // J. Pet. Sci. Eng. – 2017. – Vol. 158. – P. 529-534.
- [21]. Mullakaev M.S., Abramov V.O., Abramova A.V. (a). Development of ultrasonic equipment and technology for well stimulation and enhanced oil recovery // J. Pet. Sci. Eng. – 2015. – Vol. 125. – P. 201-208.
- [22]. Abramova A., Abramov V., Bayazitov V., Gerasin A., Pashin D. Ultrasonic Technology for Enhanced Oil Recovery // Engineering. – 2014. – Vol. 2014(6). – P. 177-184.
- [23]. Abramov V.O., Mullakaev M.S., Abramova A.V., Esipov I.B., Mason T.J. Ultrasonic technology for enhanced oil recovery from failing oil wells and the equipment for its implementation // Ultrason. Sonochem. – 2013. – Vol. 20(5). – P. 1289-1295.
- [24]. Kasongo T., Zhou Zh., Xu Zh., Masliyah J. Effect of Clays and Calcium Ions on Bitumen Extraction from Athabasca Oil Sands Using Flotation // The Canadian Journal of Chemical Engineering. – 2000. – Vol. 78. – P. 674-681.
- [11]. Saleh M, Yani S, Nurjannah (2022) J Phys Conf Ser 2394:2394. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/2394/1/012037>
- [12]. Nadirov NK (2001) High viscosity oils and natural bitumens [Vysokovязkie nefti i prirodnye bitumy]. Gylim, Almaty, pp. 10-17 (In Russian)
- [13]. Telyashev EG, Khayrudinov IR, Kutin YuA, Orazova GA, Bukanova SK (2008) Exposition. Oil Gas [Ekspozitsiya. Neft Gaz] 5:24-26 (In Russian)
- [14]. Beysenbayev OK, Esirkepova M (2018) Orient J Chem 34:482-492. <https://doi.org/10.13005/ojc/340153>
- [15]. Zhang Y, Ding MS, Liua J, Jia WH, Ren SL (2015) Colloid Surf A 482:241-247. <https://doi.org/10.1016/j.colsurfa.2015.05.012>
- [16]. Imanbaev EI, Ongarbaev EK, Myltykbaeva ZhK, Serikkazinova AK, Malaev AK, Muktaly D, Tileuberdi E, Ayapbergenov EO (2024) Bulletin of the oil and gas industry of Kazakhstan [Vestnik neftegazovoy otrasli Kazakhstana] 3:94-101 (In Russian)
- [17]. Chang CL, Spenger O, Amran A, Khalil MI, Ariffin MH, Balakrishnan D (2019) SPE-196508-MS, SPE/IATMI Asia Pacific Oil and Gas Conference and Exhibition. <https://doi.org/10.2118/196508-MS>
- [18]. Abramov VO, Abramova AV, Bayazitov VM, Mullakaev MS, Marnosov AV, Ildiyakov AV (2017) Ultrason Sonochem 35:389-396. <https://doi.org/10.1016/j.ultsonch.2016.10.017>
- [19]. Mullakaev MS, Abramov VO, Abramova AV (2017) J Pet Sci Eng 159:1-7. <https://doi.org/10.1016/j.petrol.2017.09.019>
- [20]. Mullakaev MS, Abramov VO, Abramova AV (2017) J Pet Sci Eng 158:529-534. <https://doi.org/10.1016/j.petrol.2017.08.067>
- [21]. Mullakaev MS, Abramov VO, Abramova AV (2015) J Pet Sci Eng 125:201-208. <https://doi.org/10.1016/j.petrol.2014.10.024>
- [22]. Abramova A, Abramov V, Bayazitov V, Gerasin A, Pashin D (2014) Engineering 2014(6):177-184. <https://doi.org/10.4236/eng.2014.64021>
- [23]. Abramov VO, Mullakaev MS, Abramova AV, Esipov IB, Mason TJ (2013) Ultrason Sonochem 20(5):1289-1295. <https://doi.org/10.1016/j.ultsonch.2013.03.004>
- [24]. Kasongo T, Zhou Zh, Xu Zh, Masliyah J (2000) Can J Chem Eng 78:674-681. <https://doi.org/10.1002/cjce.5450780409>

References

- [1]. Dorozhnyy bitum. Kak reshaetsya problema defitsita // Elektron. resurs. – 2025. – 16 January. www.kmg.kz/ru/press-center/articles/bitum-def
- [2]. Myltykbaeva Z, Mussabayeva B, Ongarbayev Y, Imanbayev Y, Muktaly D (2024) Processes 12(10):2162. <https://doi.org/10.3390/pr12102162>
- [3]. Murray RG (2015) Upgrading Oilsands Bitumen and Heavy Oil. The University of Alberta Press, Canada, p. 500. <https://doi.org/10.1515/9781772120226>
- [4]. Hao J, Tian Y, Zhang J, Qiao Y, Che Y (2018) Chem Ind Eng Progr 37(9):3337-3345
- [5]. Luo X, Gong H, He Z, Zhang P, He L (2021) Ultrason Sonochem 70:105337. <https://doi.org/10.1016/j.ultsonch.2020.105337>
- [6]. Myasnikov SK, Bezukladnikova AI (2011) Advances in Chemistry and Chemical Engineering [Uspekhi v khimii i khimicheskoy tekhnologii] 1(117):97-102 (In Russian)
- [7]. Qiu LQ, Zhang M, Chitrakar B, Bhandari B (2020) Ultrason Sonochem 68:105230. <https://doi.org/10.1016/j.ultsonch.2020.105230>
- [8]. Ongarbaev EK, Imanbaev EI, Tileuberdi E, Golovko AK (2017) Combustion and Plasmachemistry 2:148-155 (In Russian).
- [9]. Zou Ch, Zhao P, Ge T, Li D, Ye H, Huang G (2016) Energy Sources A 38(2):270-276. <https://doi.org/10.1080/15567036.2012.762701>
- [10]. Avvaru B, Roy SB, Ladola Y, et al. (2008) Chem Eng Process 47:2107-2113. <https://doi.org/10.1016/j.cep.2007.10.021>

Мұнайбитумды жыныстарды ультрадыбыстың әсерімен өңдеу кезіндегі сілтілі ерітінділердің экстракциялық әсері

Е.И. Иманбаев^{1*}, Е.К. Оңғарбаев^{1,2},
Ж.К. Мылтықбаева², А.Қ. Малаев²,
А.К. Серикказинова², Д. Мұқталы²

¹Жану проблемалары институты, Бөгенбай батыр көшесі, 172, Алматы, Қазақстан

²Әл-Фараби атындағы Қазақ ұлттық университеті, Әл-Фараби даңғылы, 71, Алматы, Қазақстан

АНДАТПА

Мұнайбитумды жыныстар мен мұнай құмдарындағы табиғи битумдар болашағы зор энергия көзі болып табылады. Бұдан басқа, оларды өңдеу өнеркәсіптік маңызды жол битумын алуға мүмкіндік береді. Мақсатты өнімдерді алу үшін мұнайбитумды жыныстардан алдымен битумды бөліп алу қажет, содан кейін оны әрі қарай өңдеуге болады. Оны алудың тиімді әрі дәстүрлі емес әдістерінің бірі – ультрадыбыстық әсер ету. Ультрадыбыстық технология өңделмеген жыныстарға ультрадыбыстық толқындар арқылы әсер етуді негізге алады, бұл әртүрлі физикалық күштердің әсерінен олардың құрылымының бұзылуына әкеледі. Битумды ультрадыбыстық әдіспен алу салыстырмалы түрде арзан, сондай-ақ қымбат және улы реагенттерді қолдануды қажет етпейді. Бұл жұмыста Мұнайлы Мола және Беке кен орындарының мұнайбитумды жыныстарынан ультрадыбысты қолдану арқылы битумды бөліп алудың нәтижелері келтірілген. Жұмыстың нәтижесінде сілтілі ерітінділер ортасында 1500 Вт ультрадыбыстық қуатта және 22 кГц ультрадыбыстық тербеліс жиілігінде битумды бөліп алуды тездететінін көрсетті. Мұнайбитумды жыныстардан битумды бөліп алуға ерітіндінің рН өзгеруі де зерттелді. Екі кенорынның табиғи битумының негізгі физикалық-химиялық сипаттамалары ультрадыбыспен бөліп алудан кейін анықталды, мұнда битум құрамында механикалық қоспалардың аз мөлшерімен сипатталады. Жұмыстың нәтижесінде битум алудың оңтайлы шарттары анықталып, алынған өнімдердің физика-химиялық сипаттамалары анықталды.

Түйін сөздер: мұнайбитумды жыныс, табиғи битум, ультрадыбыстық технология, кавитация, сілтілік ерітінділер.

Extractive effect of alkaline solutions in the bituminous rocks treatment by ultrasound irradiation

Y.I. Imanbayev^{1*}, Y.K. Ongarbayev^{1,2},
Zh.K. Myltykbaeva², A.K. Malayev²,
A.K. Serikkazinova², D. Mukhtaly²

¹Institute of Combustion Problems, 172 Bogenbai batyr str., Almaty, Kazakhstan

²Al-Farabi Kazakh national university, 71 Al-Farabi ave., Almaty, Kazakhstan

ABSTRACT

Natural bitumens contained in bituminous rocks and oil sands are a promising energy source. Additionally, their processing allows for the production of industrially important road bitumen. To obtain target products from bituminous rocks, bitumen must first be extracted, after which it can undergo further processing. One of the effective and unconventional methods of its extraction is ultrasonic treatment. Ultrasonic technology is based on the impact of ultrasonic waves on untreated rocks, leading to the destruction of their structure under the influence of various physical forces. The ultrasonic extraction method is characterized by its relative cost-effectiveness and the absence of a need for expensive and toxic reagents. This paper presents the results of bitumen extraction under ultrasound irradiation from bituminous rocks of the Munaily Mola and Beke fields. According to the results of the work, it was found that alkaline solutions accelerate the extraction of bitumen at an ultrasound power of 1500 W and an ultrasound oscillation frequency of 22 kHz. Also the change of pH solution for the extraction of bitumen from bituminous rocks was studied. The main physical and chemical characteristics of natural bitumen from two fields were determined after extraction by ultrasound irradiation, where they are represented by a low content of mechanical impurities. As a result of the work, optimal conditions for bitumen extraction were determined and the physical and chemical characteristics of the obtained products were studied.

Keywords: bituminous rocks, natural bitumen, ultrasonic technology, cavitation, alkaline solutions.