УДК 661.471.64

МЕТОД ВЫДЕЛЕНИЯ КРИСТАЛЛИЧЕСКОГО ЙОДА ИЗ ПЛАСТОВЫХ ВОД НЕФТЯНОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ «УМИД» ЭКСТРАКЦИОННЫМ СПОСОБОМ

Бегманов Сафар Нурмаматович
доцент Навоийского государственного горно-технологического университета,
Мухиддинов Баходир Фахриддинович
профессор Навоийского государственного горно-технологического университета
Вапоев Хуснитдин Мирзоевич
профессор Навоийского государственного горно-технологического университета

Annotatsiya. Ushbu maqolada O‘zbekiston Respublikasi Buxoro-Qarshi artezian havzasi hududida joylashgan “Umid” neft-gazkondensat konining qatlam suvlaridan yodni ajratib olish masalalari ko‘rib chiqilgan. Tadqiqot asosini organik erituvchi qo‘llangan holda kimyoviy oksidlanish va keyingi ekstraksiya bosqichlarini o‘z ichiga olgan kompleks yondoshuv tashkil etadi. Mualliflar tomonidan qatlam suvlarining avvaldan tozalangan va tozalanmagan namunasida yod chiqimini taqqoslash tahlili o‘tkazilgan, suvli va organik fazalarning optimal nisbatlari, ekstraksiya jarayoni davomiyligi hamda rafinat va tiklovchi eritma proporsiyalari o‘rganilgan. Shuningdek, rafinatdan ajratilgan yodidni to‘q fazagacha olib chiqish jarayonlariga alohida e’tibor qaratilgan. Olingan yodni aniqlash va tavsiflash uchun rentgenografik tahlil usullari qo‘llanilgan. Eksperimental ma’lumotlar asosida mahalliy suv manbalaridan yodni samarali ajratib olish imkonini beruvchi takomillashtirilgan texnologiya taklif etilgan.

Kalit so‘zlar: gidrotermal suvlar, kristall yod, ekstraksiya, organik erituvchi, oksidlovchi, tiklovchi.

Аннотация. В представленной статье рассматриваются вопросы извлечения йода из пластовых вод нефтегазоконденсатного месторождения «Умид», расположенного в пределах Бухаро-Каршинского артезианского бассейна Республики Узбекистан. В основе исследования лежит комплексный подход, включающий стадии химического окисления и последующей экстракции с применением органического растворителя. Авторами проведён сравнительный анализ выхода йода при обработке предварительно очищенных и необработанных образцов пластовых вод, изучены оптимальные соотношения водной и органической фаз, продолжительность процесса экстракции, а также пропорции рафината и восстановительного

ISSN 3030-3907

раствора. Отдельное внимание уделено процессам осаждения йодида, выделенного из рафината и доведённого до твёрдой фазы. Для идентификации и характеристики полученного йода использованы рентгенографические методы анализа. На основании полученных экспериментальных данных предложена усовершенствованная технология, позволяющая эффективно выделять йод из местных водных источников.

Ключевые слова: гидротермальные воды, кристаллический йод, экстракция, органический растворитель, окислитель, восстановитель.

Abstract. This article addresses the problem of iodine recovery from formation waters of the Umid oil and gas condensate field, located within the Bukhara-Karshi artesian basin of the Republic of Uzbekistan. The study is based on an integrated approach involving sequential stages of chemical oxidation followed by solvent extraction using an organic reagent. A comparative analysis was performed to assess the iodine yield from both pretreated and untreated formation water samples. The investigation also determined the optimal ratios of aqueous and organic phases, the duration of the extraction process, as well as the proportions of raffinate and reducing solutions. Special attention was given to the precipitation of iodide recovered from the raffinate and subsequently converted into a solid phase. The obtained crystalline iodine was identified and characterized using X-ray diffraction analysis. On the basis of the experimental results, an improved technological scheme is proposed, which enables efficient extraction of iodine from local water resources.

Keywords: hydrothermal waters, crystalline iodine, extraction, organic solvent, oxidizing agent, reducing agent.

Введение

Йод является одним из наиболее востребованных микроэлементов, играющих ключевую роль в жизнедеятельности человека. Он находит широкое применение в различных сферах: пищевой промышленности (в частности, при производстве продуктов массового потребления, обогащённых микроэлементами), фармацевтике и медицине (как основа для лекарственных препаратов), ветеринарии, а также при изготовлении минеральных удобрений. Особое значение йод имеет в медико-биологическом аспекте, так как именно он обеспечивает нормальное функционирование щитовидной железы и выработку гормонов, регулирующих обмен веществ и умственное развитие человека.

Установлено, что гормоны щитовидной железы обладают выраженным седативным (успокаивающим) действием и одновременно стимулируют интеллектуальную активность. При недостатке йода в организме

ISSN 3030-3907

наблюдается нарушение этих процессов, что приводит к развитию эндемического зоба, различным заболеваниям щитовидной железы, умственной отсталости и даже психическим расстройствам [1].

Проблема йододефицита имеет глобальный характер и во многих странах рассматривается как приоритетная на государственном уровне. Республика Узбекистан не является исключением: нехватка йода в рационе населения рассматривается как угроза общественному здоровью. В связи с этим принимаются специальные меры. Так, Указ Президента Республики Узбекистан от 10 ноября 2020 года «О дополнительных мерах по обеспечению здорового питания населения» закрепил стратегическую задачу по борьбе с йододефицитом. В продолжение этой политики, начиная с 20 сентября 2023 года, в стране реализуется государственная программа «Яркая нация», в рамках которой йодсодержащие препараты предоставляются бесплатно детям в возрасте от 3 до 15 лет. Их распространение осуществляется через Министерство здравоохранения и Министерство дошкольного и школьного образования [2].

С учётом актуальности проблемы и необходимости обеспечения населения собственными источниками микроэлемента, вопросы локализации производства йода приобретают особое значение. Проведение исследований по извлечению йода из местных пластовых вод может стать важным шагом к созданию национальной ресурсной базы, что позволит снизить зависимость от импорта и обеспечить устойчивое снабжение населения жизненно необходимыми препаратами.

ОБЗОР ЛИТЕРАТУРЫ

Из литературных источников известно, что на территории Бухарской, Кашкадарьинской и Ферганской областей Республики Узбекистан имеется большое количество подземных вод, а также сопутствующих и гидротермальных вод нефти и газа. Эти подземные воды изучались рядом научных исследователей. В частности, такие ученые, как А.С.Хасанов, И.А.Умбаров, Е.А.Шаповалова, С.А.Бакиев занимались исследованиями по выделению необходимых элементов из состава подземных вод. Так, Саиднасим Бакиев изучал расположение, потоки и состав подземных бассейнов, Иброхим Умбаров проводил научные исследования по количеству, составу подземных вод нашей республики и выделению элемента йода. Для выделения йода был изучен состав ряда источников, над которыми также проводились научные изыскания. К этим источникам, в основном, относятся: месторождения «Умид», «Крук» и другие. В Кашкадарьинской области, в Мубарекском районе, в месторождении «Умид»

ISSN 3030-3907

было выявлено наличие иодид-ионов в составе высококонцентрированных засолённых водных источников, образование которых связано с нефтяными пластами, расположенными на глубине 300–3500 м.

МЕТОДИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ И МАТЕРИАЛЫ

В качестве объекта исследования использовались пластовые воды нефтегазового месторождения «Умид», расположенного на территории Кашкадарьинской области. Первичный анализ химического состава водных проб был проведён в специализированной лаборатории водных проблем АО «Навоийский горно-металлургический комбинат». По результатам лабораторных исследований установлено, что основной формой нахождения йода в данном типе пластовых вод являются соединения йодидов. Состав пластовой воды представлен в таблице 1.

Для дальнейших исследований вода подвергалась предварительной очистке известковым методом, что позволило выделить кристаллический йод в более чистом виде [3]. Были подготовлены и исследованы образцы твёрдых сухих остатков как очищенной, так и неочищенной воды. Химический состав и структурные особенности образцов анализировались с применением спектрофотометра SHIMADZU IRTracer-100, что позволило детально охарактеризовать присутствие йодидных соединений.

Метод экстракции был выбран в качестве основного подхода для выделения молекулярного йода. Принцип метода основан на растворении йода в органическом растворителе [4].

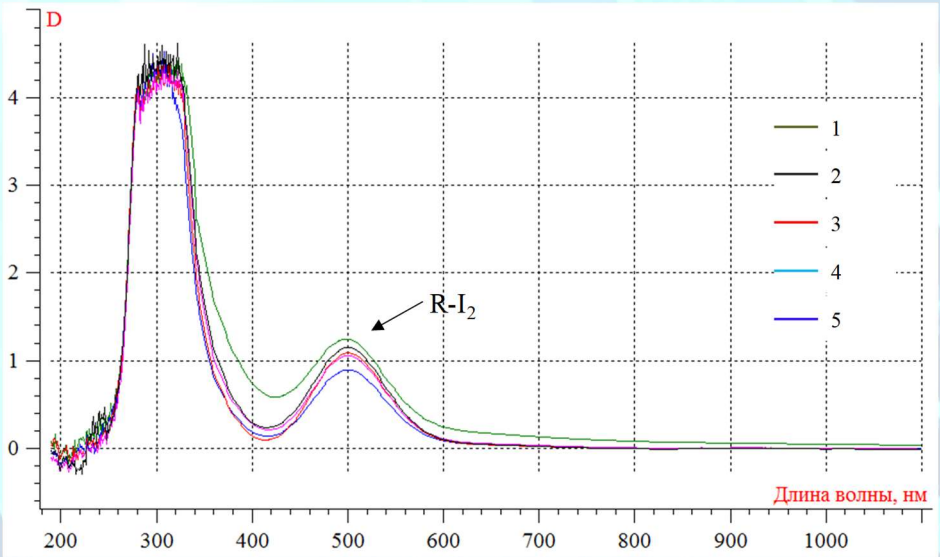


Рисунок 1. Спектральный вид, полученный на спектрофотометре СФ-56 (1 – 10 мл, 2 – 60 мл, 3 – 40 мл, 4 – 50 мл, 5 – 25 мл)

Для количественного определения йода в органической фазе использовался фотометрический метод с применением спектрофотометрической установки СФ-56. На подготовительном этапе

ISSN 3030-3907

определялась оптимальная длина волны поглощения, при которой достигается наибольшая точность измерений. Для этого из 500 мл очищенной воды экстрагировали йод, обрабатывая образцы 2%-ным раствором пероксида водорода в пяти различных объёмах. В дальнейшем экстракция проводилась с использованием 50 мл бензола. По результатам анализа спектров (рисунок 1) было установлено, что оптимальная длина волны составляет 500 нм.

Для более точной калибровки применялся метод бесконечного разбавления растворов: на основе одномолярного раствора готовились растворы низких концентраций, по которым был построен градуировочный график. Количество извлечённого йода определялось по следующему выражению:

$$X_{\%} = C_{м} \cdot V \cdot 2352$$

Где: $C_м$-молярная концентрация растворенного йода в бензоле, V – объем раствора (C_6H_6-I_2), 2352-число, полученное в процентах от концентрации йодида в исходной воде.

Согласно проведённым экспериментам, процесс экстракции включает две основные стадии: окисление ионов йода пероксидом водорода и их последующий переход в органическую фазу (бензол). На следующем этапе из органического слоя йод восстанавливался с помощью сульфита натрия. В результате последовательного протекания реакций объём раствора уменьшался, что приводило к концентрации йодидов в водной фазе. При достижении концентрации не менее 3 г/л йодид осаждался в виде кристаллов под воздействием концентрированного раствора пероксида водорода. Таким образом, был получен йод в твёрдом агрегатном состоянии.

Для проведения лабораторных опытов применялось стандартное оборудование: сепараторная воронка, а также магнитная мешалка ES-6120 для обеспечения равномерного перемешивания фаз.

Кристаллический йод, выделенный данным методом, дополнительно анализировался с использованием рентгенофазового дифрактометра Empyrean Series 3. По рентгеновским дифрактограммам было подтверждено, что выделенное вещество действительно представляет собой йод высокой степени чистоты.

ОБСУЖДЕНИЕ ПОЛУЧЕННЫХ РЕЗУЛЬТАТОВ

Проведённый анализ подземных минерализованных вод месторождения «Умид» показал, что в их составе зафиксировано достаточно высокое содержание ряда катионов и анионов. Помимо этого, для исследованных образцов характерна крайне высокая жёсткость, которая, по

ISSN 3030-3907

результатам измерений, составила 324,8 мг/л. Данные, приведённые в таблице 1, позволяют проследить изменения качественных и количественных характеристик воды как до очистки, так и после проведения обработки традиционным содово-известковым методом.

Из таблицы отчётливо видно, что после обработки вода претерпела значительные изменения. В частности, общая жёсткость существенно снизилась: с 234,8 ммоль/дм³ до 1,98 ммоль/дм³, что подтверждает эффективность известково-содового метода. Кроме того, наблюдается заметное уменьшение концентраций кальция и магния, а также ряда тяжёлых металлов (никеля, кобальта, цинка и др.). Снижение содержания этих ионов имеет важное значение, так как именно они в большинстве случаев препятствуют выделению йода из природных рассолов.

Принцип действия известкования заключается в переводе растворённых в воде ионов в малорастворимые или нерастворимые соединения, которые в дальнейшем выпадают в осадок. Таким образом достигается как смягчение воды, так и частичная её минерализация. Основное назначение метода – удаление свободного и связанного углекислого газа, уменьшение щёлочности сухого остатка и снижение общей жёсткости.

Таблица 1.

Результаты неочищенной и очищенной воды

Наименование параметров	Количество параметров	
	Неочищенная вода	Очищенная вода
pH	7,9	11
Сухой остаток	13692,00 мг/дм^3	1734,00 мг/дм^3
Твердое вещество	358,6 мг/дм^3	0,6 мг/дм^3
Общая жесткость воды	234,8 ммоль/дм^3	1,98 ммоль/дм^3
Кальций	3607,0 мг/дм^3	35,0 мг/дм^3
Магний	668,8 мг/дм^3	2,0 мг/дм^3
Железо	<0,05 мг/дм^3	0,44 мг/дм^3
Хлориды	51975,0 мг/дм^3	51909,5 мг/дм^3
Бромиды	411,0 мг/дм^3	405,8 мг/дм^3
Йодиды	36,2 мг/дм^3	34,7 мг/дм^3
Нитриты	2,0 мг/дм^3	<0,5 мг/дм^3
Нитраты	0,10 мг/дм^3	0,02 мг/дм^3;
Сульфаты	410,0 мг/дм^3	235,5 мг/дм^3
Роданиды	<0,1 мг/дм^3	-

ISSN 3030-3907

Калий	685,7 мг/дм^3	671,0 мг/дм^3
Натрий	21997,0 мг/дм^3	21805,0 мг/дм^3
Никель	4,10 мг/дм^3	0,097 мг/дм^3
Цинк	0,2 мг/дм^3	0,16 мг/дм^3
Кобальт	6,08 мг/дм^3	0,086 мг/дм^3
Цианид	<0,05 мг/дм^3	<0,05 мг/дм^3
Карбонатный	<8,0 мг/дм^3	-
Бикарбонат	61,00 мг/дм^3	-
Марганец	0,08 мг/дм^3	0,07 мг/дм^3
Свинец	0,16 мг/дм^3	0,18 мг/дм^3
Медь	0,01 мг/дм^3	0,009 мг/дм^3
Хром	0,001 мг/дм^3	-

Химические процессы, происходящие в системе при добавлении гидроксида кальция ($Ca(OH)_2$), можно выразить следующими уравнениями:

$$CO_2 + Ca(OH)_2 \rightarrow CaCO_3\downarrow + H_2O$$

$$Ca(OH)_2 + Ca(HCO_3)_2 \rightarrow 2CaCO_3\downarrow + 2H_2O$$

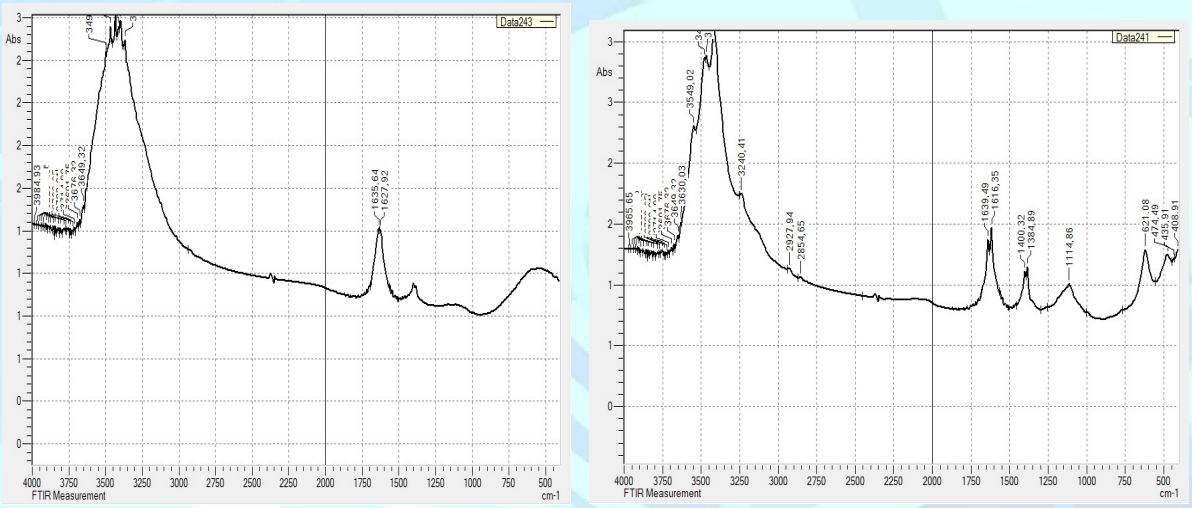
$$Mg(HCO_3)_2 + 2Ca(OH)_2 \rightarrow Mg(OH)_2\downarrow + 2CaCO_3\downarrow + 2H_2O$$

Как видно из уравнений, основными продуктами реакции выступают малорастворимые соединения — карбонат кальция ($CaCO_3$) и гидроксид магния ($Mg(OH)_2$), которые удаляются из раствора в виде осадка. Это существенно облегчает последующие стадии выделения целевых компонентов, включая йод.

Таким образом, проведённые эксперименты подтверждают, что известкование является эффективным предварительным этапом подготовки подземных солёных вод к дальнейшей переработке и извлечению йодсодержащих соединений.

После очистки воды известковым методом были получены сухие остатки и получены их ИК-спектры.

ISSN 3030-3907



а) **б)**

Рисунок 2. ИК-спектр неочищенных(а) и очищенных (б) сухих остатков подземной соленой воды “Умид”

На рисунке 2 представлены инфракрасные (ИК) спектры сухих остатков подземной солёной воды месторождения «Умид» до проведения очистки (а) и после обработки известковым методом (б).

а) Спектр неочищенного образца. В спектре исходного раствора (рис. 2а) отчётливо фиксируются полосы поглощения средней интенсивности в диапазоне 1635,64–1627,92 $см^{-1}$. Эти колебания можно отнести к деформационным модам ионов нитритов (NO_2^-) и нитратов (NO_3^-). Дополнительно проявляются колебания, связанные с присутствием карбонат-ионов (CO_3^{2-}), которые выражены слабой полосой вблизи 1410 $см^{-1}$. В области около 1050 $см^{-1}$ регистрируется маловыраженный пик, что также коррелирует с присутствием указанных ионов. В низкочастотной зоне, между 500 и 620 $см^{-1}$, наблюдаются полосы поглощения, характерные для сульфат-ионов (SO_4^{2-}). Такая спектральная картина свидетельствует о высокой минерализации исходной воды и подтверждает наличие в её составе значительных количеств анионных примесей.

б) Спектр очищенного образца. После известкования (рис. 2б) наблюдается заметная трансформация спектральных характеристик. В частности, в области 3549–3240 $см^{-1}$ фиксируются чётко выраженные, взаимосвязанные полосы поглощения, которые соответствуют валентным колебаниям молекул воды (H_2O), а также ионам NO_2^- и NO_3^-. Следует подчеркнуть, что интенсивность данных линий уменьшена по сравнению с исходным образцом, что отражает частичное удаление азотсодержащих анионов в процессе обработки.

Особый интерес представляют пики в диапазоне 2927–2854 $см^{-1}$. Они указывают на наличие в пробе хлоридов (Cl^-) в виде кристаллогидратов NaCl

ISSN 3030-3907

и KCl, а также полосы при 2229 $см^{-1}$, относящейся к вибрациям ионов йодида (I^-), преимущественно в формах KI и NaI. Несмотря на очистку, данные соединения остаются в значительных количествах, что связано с их высокой растворимостью и слабой склонностью к осаждению при известковании.

В среднечастотной области (1400–1384 $см^{-1}$ и 1114 $см^{-1}$) проявляются колебательные линии, характерные для сульфатных (SO_4^{2-}), карбонатных (CO_3^{2-}) и гидрокарбонатных (HCO_3^-) ионов. Сравнение с исходным спектром демонстрирует снижение интенсивности данных пиков, что согласуется с процессами осаждения $CaCO_3$ и $Mg(OH)_2$, происходящими при взаимодействии подземных вод с $Ca(OH)_2$.

Таким образом, сопоставление спектров до и после обработки подтверждает эффективность известкового метода в отношении снижения содержания большинства анионов, кроме галогенидов, которые остаются в растворе в значительных концентрациях. Эти данные свидетельствуют о необходимости дополнительной многоступенчатой очистки или применения комбинированных методов (например, ионного обмена или мембранных технологий) для полного удаления остаточных примесей.

В ходе экстракционных экспериментов для выделения йода из пластовых вод было опробовано несколько типов органических растворителей, отличающихся по своим физико-химическим свойствам и способности к взаимодействию с молекулярным йодом. При переходе йода в органическую фазу все растворы приобретали характерную фиолетовую окраску, что наглядно подтверждает процесс растворения и переноса элемента из водной среды. Этот цветовой эффект рассматривался как первичный качественный индикатор успешности экстракции.

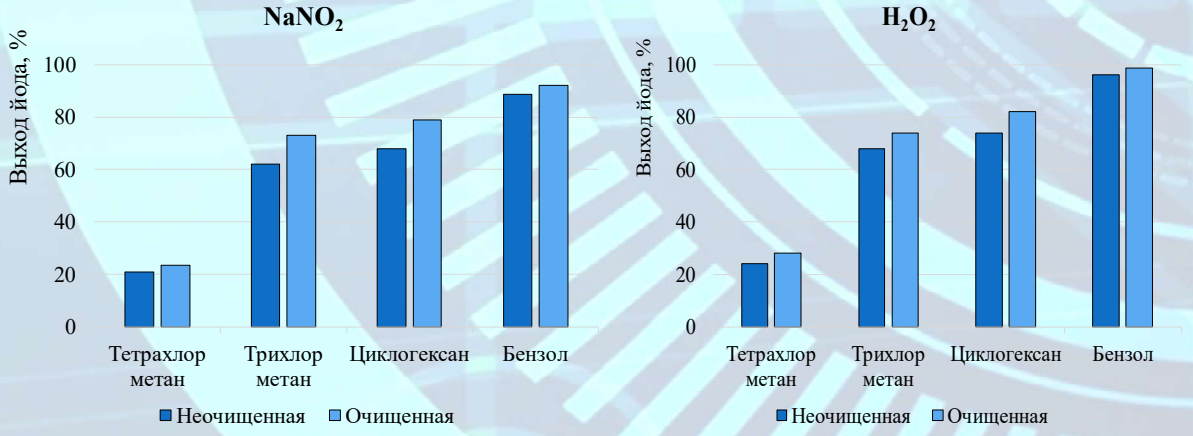


Рисунок 3. Гистограмма зависимости выхода йода от природы органического растворителя

ISSN 3030-3907

Для точной количественной оценки концентрации йода в органической фазе применялся спектрофотометрический анализ. Методика включала использование градуировочного графика, позволяющего установить корреляцию между оптической плотностью и содержанием вещества в растворе. Полученные экспериментальные данные были обобщены и представлены в виде гистограммы (рисунок 3).

Анализ гистограмм показал, что эффективность экстракции напрямую зависит от природы растворителя. Среди исследованных экстрагентов наиболее высокие показатели продемонстрировал бензол, который сохранял преимущество при разных окислительных условиях. Такой результат можно объяснить высокой растворимостью йода в ароматических углеводородах и устойчивым образованием комплекса «йод–растворитель».

Таким образом, на основании экспериментальных данных было сделано заключение, что бензол обладает оптимальными экстракционными свойствами и может быть рекомендован в качестве основного органического растворителя для дальнейших исследований. Его использование обеспечивает более полное извлечение йода и стабильность результатов при повторных опытах.

На следующем этапе исследований, с целью подкисления пластовых вод месторождения «Умид» и окисления йодид-ионов до молекулярного йода, были отобраны различные окислители. Сравнительный анализ показал, что при подкислении наблюдалось более интенсивное выделение молекулярного йода, и этот процесс был проанализирован для каждой группы применённых окислителей. Такой подход позволил определить наиболее эффективные реагенты, обеспечивающие максимальный выход целевого компонента.

Согласно данным, приведённым в таблице 2, использование бензола в качестве экстрагента позволяет наглядно оценить роль окислителей в процессе высвобождения йода из пластовых вод месторождения «Умид». Анализ полученных результатов показал, что эффективность окислителей распределяется в следующей последовательности:

$$H_2SO_4 < NaClO < NaNO_2 < H_2O_2$$

Таблица 2.

Влияние окислителей на экстракцию йода

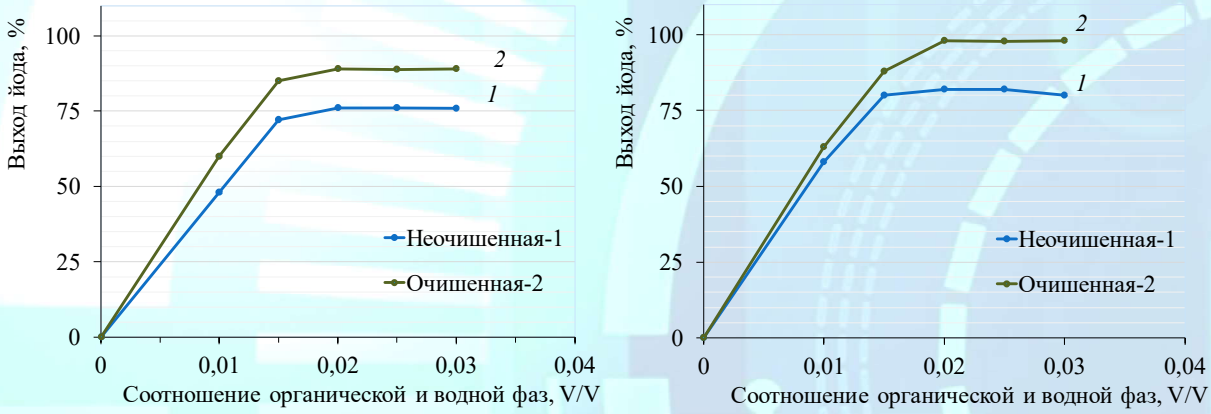
Наименование окислителей	Выход йода, %	
	Неочищенная вода	Очищенная вода
Серная кислота	45,7	64,2
Гипохлорит натрия	69,4	78,1

ISSN 3030-3907

Нитрит натрия	88,0	96,0
Перекись водорода	92,0	98,0

Как видно из таблицы, наиболее низкий выход наблюдается при использовании серной кислоты, тогда как применение нитрита натрия и перекиси водорода демонстрирует наибольшую эффективность. Таким образом, именно эти два реагента были выбраны для дальнейших экспериментов, поскольку они обеспечивают высокий процент извлечения йода как из неочищенной, так и из предварительно очищенной солёной воды.

Для уточнения условий экстракции было проведено исследование зависимости выхода йода от соотношения органической и водной фаз (рисунок 4). Эксперименты проводились с использованием различных объёмных пропорций пластовых вод и бензола. В качестве окислителей применялись 2%-ные растворы перекиси водорода и нитрита натрия.



а) *б)*

Рисунок 4. Зависимость выхода йода от соотношения органической и водной фаз *(а – $NaNO_2$; б – H_2O_2)*

В ходе эксперимента органическая и водная фазы смешивались в различных пропорциях ($V_{органическая}/V_{водная}$), что позволило выявить оптимальное значение коэффициента, равное 0,02.

Сравнительный анализ показал, что при данном соотношении достигается наибольший выход йода в обоих случаях — как для очищенной, так и для неочищенной воды:

- H_2O_2: 82 % (неочищенная вода) и 98 % (очищенная вода);
- $NaNO_2$: 76 % (неочищенная вода) и 89 % (очищенная вода).

Полученные данные подтверждают, что при оптимальном соотношении фаз (0,02) оба окислителя обеспечивают высокий уровень извлечения йода, а различия связаны только с исходной чистотой образцов.

В ходе исследований на месторождении «Умид» были использованы 300 мл как очищенных, так и необработанных проб подземных

ISSN 3030-3907

минерализованных вод. Эти образцы предварительно переводили в кислую среду, после чего в каждый из них вводили по 30 мл растворов окислителей различной концентрации. Полученные смеси подвергались интенсивному перемешиванию в течение десяти минут с применением магнитной мешалки марки ES-6120. На следующем этапе к реакционной системе добавляли 30 мл бензольного раствора, выполнявшего функцию экстрагента. Итоговые данные отражены на рисунке 5.

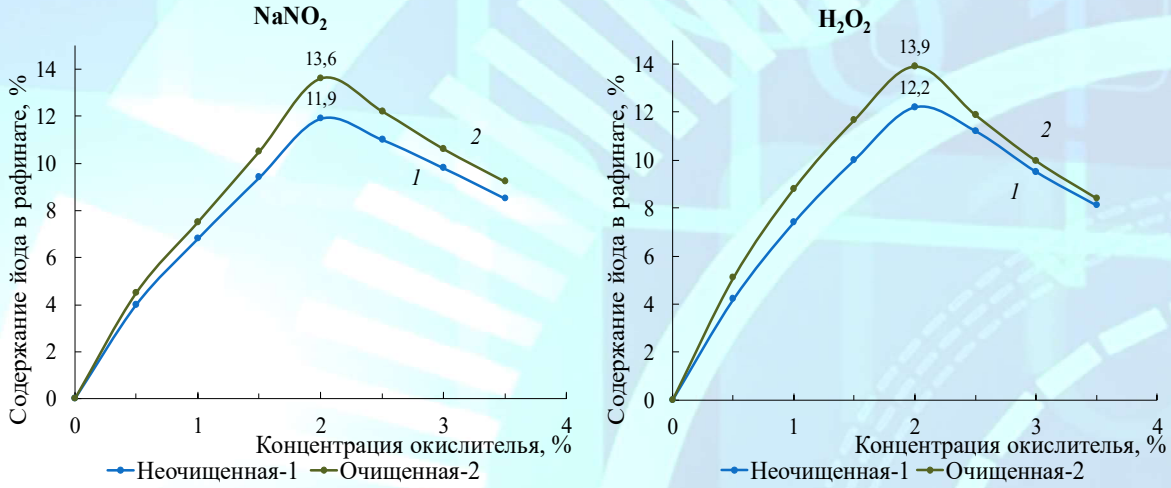


Рисунок 5. Зависимость выхода йода от концентрации окислителя.

Согласно графику, количество высвобождающегося молекулярного йода напрямую определяется концентрацией применяемого окислителя. Наибольший выход вещества достигается при использовании 2%-ных растворов. При дальнейшем повышении концентрации наблюдается снижение максимального значения кривой, то есть концентрация свободного йода уменьшается. Данное явление объясняется тем, что избыток окислителя способен переводить молекулярный йод в форму йодат-ионов по следующей реакции:

$$I_2 + 4H_2O_2 \rightarrow 2IO_3^- + 2H_2O + 4H^+$$

Таким образом, можно заключить, что оптимальный процесс выделения йода наблюдается при строго определённых, ограниченных концентрациях окислителей.

В ходе анализа влияния соотношения между объемом окислителя и пластовой воды на процесс окисления йода были определены оптимальные относительные дозировки реагентов. Итоговые данные представлены в таблице 3.

ISSN 3030-3907

Таблица 3

Зависимость выхода йода от соотношения объемов раствора окислителя и пластовой воды.

Соотношение объемов окисляющего раствора и воды слоя, V/V	0,04	0,08	0,10	0,12	0,16	0,20	0,24	0,28	0,30
Выход йода, %	63	88	98	97,9	96	92	88,6	82	78

Как следует из приведённых данных, увеличение отношения объёмов раствора окислителя и пластовой воды приводит к росту выхода йодсодержащего продукта. При значении 0,12 выход достигает 97,9%. Однако дальнейшее повышение доли окислителя, напротив, вызывает снижение выделения йода. Причина заключается в том, что избыток реагента способен дополнительно окислять молекулярный йод до йодат-ионов, что и приводит к уменьшению содержания свободного йода.

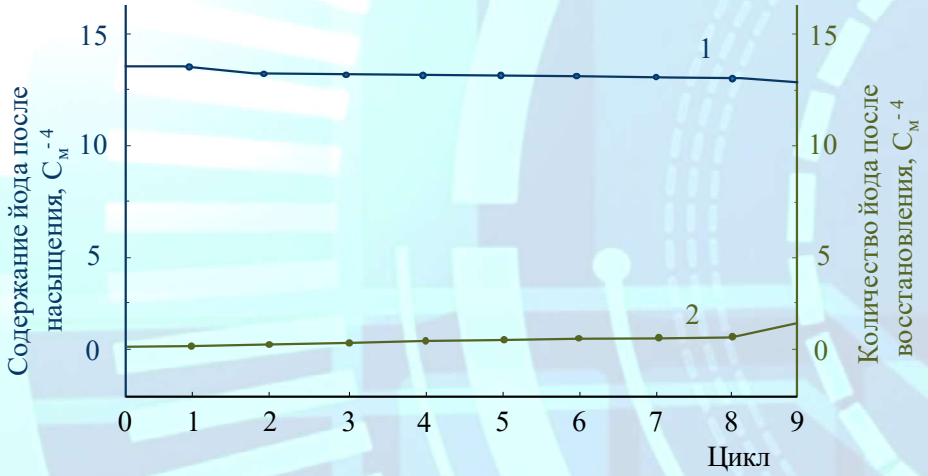


Рисунок 6. Зависимость количества циклов экстракции от степени выхода йода.

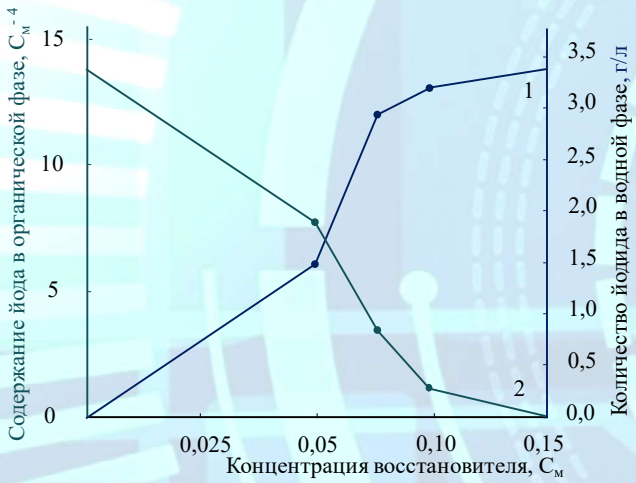
В ходе экспериментов по обогащению йода также исследовалось, насколько результативность экстракции зависит от количества циклов повторного использования органического растворителя. Подобные многократные операции имеют важное значение в технологической практике. Рассматриваемый цикл включает два ключевых этапа: растворение молекулярного йода в органической фазе и его последующее восстановительное высвобождение. Для бензола данный цикл был воспроизведён восемь раз, и в процессе этих серийных опытов средняя концентрация йода составила $13{,}1 \cdot 10^{-4}$ моль, что соответствует 94% извлечения (рис. 6).

ISSN 3030-3907

В результате экспериментов были получены растворы, повторно обогащённые йодом, который предварительно был переведён в органическую фазу. Далее рафинат подвергали обработке растворами сульфита натрия разной концентрации в объёмном соотношении 1000:100 мл, после чего фиксировались экспериментальные данные.

При проведённых исследованиях концентрация йода в рафинате составила $C_м = 13{,}9 \cdot 10^{-4}$ (см. рис. 7). Одновременно в обогащённом растворе содержание йодида достигало 1,12 г/л, тогда как в пластовой воде данный показатель был равен лишь 34,7 мг/л (см. табл. 1). Таким образом, проведённые опыты показали, что концентрация йодида может быть увеличена примерно в 30 раз.

Из представленного графика видно, что при повышении количества восстановителя концентрация йода в водной фазе возрастает, тогда как в органической фазе она, напротив, снижается. Вследствие этого органический раствор постепенно теряет окраску.



1-изменение концентрации йодида в водной фазе
2-изменение концентрации йода в органической фазе

Рисунок 7. Зависимость количества йода от концентрации восстановителя.

Механизм взаимодействия восстановителя с йодом в органической среде можно представить в следующем виде:

$$R_{(org)}I_2 + Na_2SO_{3(suv)} + H_2O = R_{(org)} + 2NaI_{(suv)} + H_2SO_{4(suv)}$$

На основании проведённых опытов была разработана **технологическая схема извлечения йода** из пластовой воды нефтяного месторождения *«Умид»* (см. рис. 8). Процесс включает ряд последовательных стадий.

ISSN 3030-3907

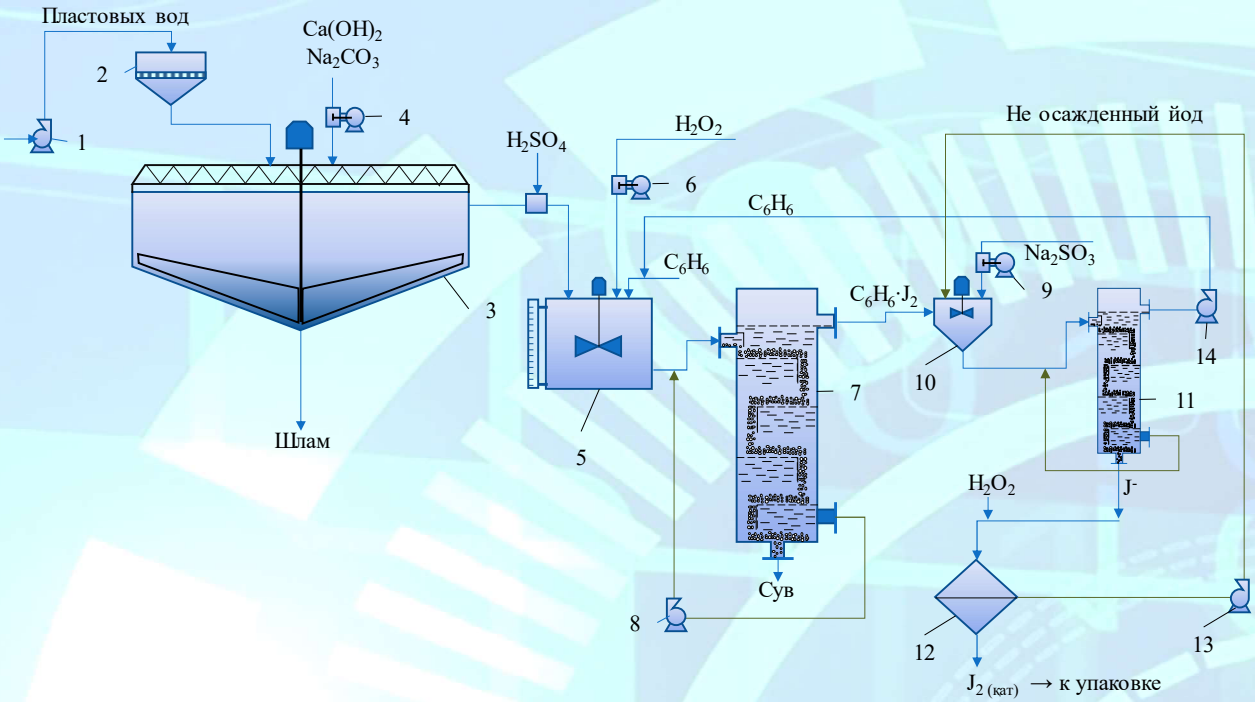


Рисунок 8. Технологическая схема извлечения йода из пластовой воды месторождения *«Умид»*. 1, 8, 13, 14 — центробежные насосы; 2 — фильтр; 3 — отстойник; 4, 6, 9 — дозирующие насосы; 5 — мерный смеситель; 10 — мешалка; 7, 11 — экстракторы; 12 — сепаратор.

Пластовая вода при помощи насоса **1** подаётся в фильтр **2**, где происходит удаление механических примесей. Далее поток направляется в отстойник **3**, служащий для размягчения воды. В процессе очистки на каждый литр воды вводится 0,4 л 8%-ного раствора гидроксида кальция и 0,04 л 0,1%-ного раствора флокулянта. В качестве флокулянта применяют 1%-ный раствор полиакриламида. Все эти реагенты с помощью дозирующего насоса **4** поступают в отстойник **3**. После предварительной очистки вода переводится в кислую среду с добавлением 5%-ной серной кислоты и направляется в мерный смеситель **5**. Через дозирующий насос **6** в очищенную воду вводится окислитель. Содержание ионов йодида в воде составляет примерно 35 мг/л. Под действием пероксида водорода йодиды окисляются до молекулярного йода, который затем распределяется между водной и органической фазами. При смешивании в блендере молекулярный йод растворяется в бензоле и переходит из водной фазы в органическую. Полученная смесь поступает в экстрактор **7**, где разделяется по плотности: органическая фаза поднимается вверх, а очищенная вода отводится снизу.

Органическая фаза, обогащённая йодом, далее поступает в смеситель **10** и смешивается в соотношении 10:1 с 0,15 М раствором восстановителя — сульфита натрия. Это соотношение поддерживается дозирующим насосом **9**.

ISSN 3030-3907

Под действием восстановителя молекулярный йод переходит в йодид, в результате чего образуется раствор, обогащённый йодидами. Далее смесь направляется в экстрактор **11**, где органическая и водная фазы вновь разделяются. Очищенный бензол после экстракции возвращается в процесс: он отводится в сепаратор **12**, а затем при помощи насоса **14** снова поступает в смеситель **5** для повторного цикла. В сепаратор **12** дополнительно подают 20%-ный раствор перекиси водорода, что обеспечивает выделение йода в твёрдом виде. Из нижней части устройства извлекается осаждённый йод.

Часть неосаждённого йода возвращается в процесс через смеситель 10 с помощью насоса 13. Следует отметить, что образование твёрдого йода возможно только тогда, когда концентрация йодида в воде достигает уровня не менее 3 г/л. В этих условиях 20%-ная перекись водорода обеспечивает эффективное осаждение элемента.

Анализ структуры выделенного йода методом рентгеновской дифрактометрии (XRD) подтвердил, что полученные кристаллы обладают орторомбической симметрией. Совпадение дифракционных пиков с характерными линиями аморфного порошка указывает на высокую чистоту и стабильность выделенного вещества (рис.9).

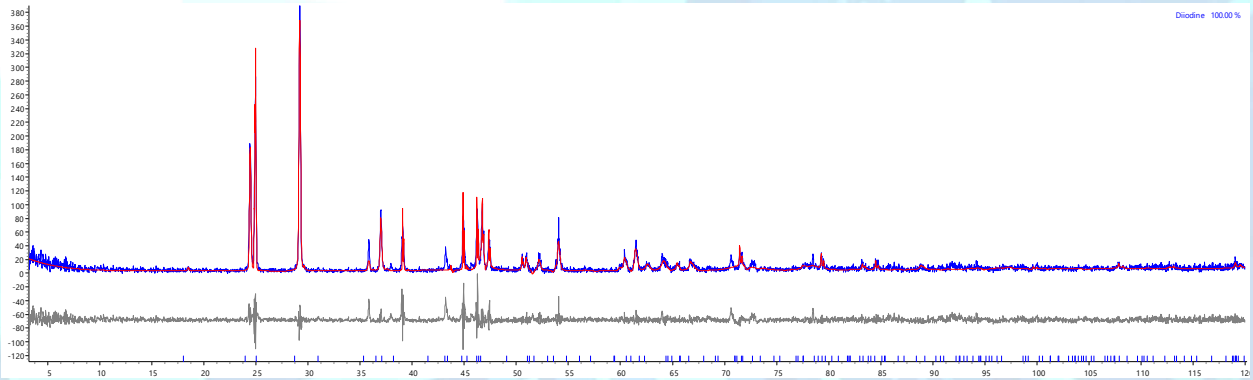


Рисунок 9. XDR выделенный кристаллический йод

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Предложенная технология позволяет эффективно извлекать йод из пластовых вод месторождения «Умид», обеспечивая высокую степень очистки и выход продукта. Использование бензола в качестве экстрагента и перекиси водорода как окислителя является оптимальным решением. Данная разработка может способствовать созданию национальной ресурсной базы йода, снижению зависимости от импорта и обеспечению населения Узбекистана жизненно важным микроэлементом, что особенно актуально в контексте государственной программы по борьбе с йододефицитом. Для дальнейшего повышения эффективности рекомендуется рассмотреть

ISSN 3030-3907

комбинированные методы очистки, такие как ионный обмен или мембранные технологии.

СПИСОК ИСПОЛЗОВАННЫЕ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Умбаров И.А. “Ерости сувларида йоднинг мавжудлик шаклларини ва миқдори аниқлаш” Комплекс бирикмалар кимёси ва аналитик кимё фанларининг долзарб муаммолари Республика илмий-амалий конференцияси Термиз 2022 й. 19-21 май, 219-221 б.
2. www.lex.uz
3. Карманов, А. П., Полина И.Н. Технология очистки сточных вод Сыктывкар: СЛИ, 2015 г.
4. Kamal Benali, Rachid Benhida, Khaoula Khaless A novel and complete process for iodine extraction and recovery from industrial wet-process phosphoric acid based on chemical oxidation and solvent extraction Process Safety and Environmental Protection Volume 176, August 2023, Pages 332-345.
5. Накамото К. Инфракпасные спектры неорганических и координационных соединений. Из-во «Мир» Москва 1994 г., 412 с.

ISSN 3030-3907