

УДК 661.961.3, 622.276.4, 662.769.2

МРНТИ 61.01.00

DOI: <https://doi.org/10.54859/kjogi108653>

Получена: 24.05.2023.

Одобрена: 21.06.2023.

Опубликована: 30.06.2023.

Научный обзор

Перспективы использования энергоаккумулирующих веществ в решении экологических проблем нефтяной отрасли

Г.И. Бойко¹, Р.Г. Сармурзина², Н.П. Галиева¹, У.С. Карабалин², Д.С. Тиесов³, Т.Р. Аханова¹, П.В. Кеняйкин¹

¹*Satbayev University, г. Алматы, Казахстан*

²*KAZENERGY, г. Астана, Казахстан*

³*Kazakhstan Petrochemical Industries Inc., г. Атырау, Казахстан*

АННОТАЦИЯ

Обсуждены перспективы использования энергоаккумулирующих веществ нового поколения на основе сплавов алюминия, активированного металлами-активаторами (индий, галлий, олово, эвтектики низкоплавких металлов), в качестве нетрадиционных экологически чистых источников для получения водорода из воды и способов хранения энергии, образования различных форм гидроксидов алюминия, которые могут быть использованы в решении экологических проблем в нефтяной отрасли: в технологиях комплексной подготовки нефти, разрушения аномально стойких водонефтяных эмульсий и нефтешламов, деметаллизации и десульфуризации углеводородного сырья, для очистки промышленных сточных, оборотных и природных вод, а также рекультивации нефтезагрязненных территорий с низким и средним уровнями загрязнения, восстановления их плодородия при совместном использовании с органоминеральными (гуминовыми) удобрениями.

Ключевые слова: алюминий, активация, нефтешламы, сплавы, энергоаккумулирующие вещества.

Как цитировать:

Бойко Г.И., Сармурзина Р.Г., Галиева Н.П., Карабалин У.С., Тиесов Д.С., Аханова Т.Р., Кеняйкин П.В. Перспективы использования энергоаккумулирующих веществ в решении экологических проблем нефтяной отрасли // *Вестник нефтегазовой отрасли Казахстана*. 2023. Том 5, № 2. С. 99–116.

DOI: <https://doi.org/10.54859/kjogi108653>.

UDC 661.961.3, 622.276.4, 662.769.2

CSCSTI 61.01.00

DOI: <https://doi.org/10.54859/kjogi108653>

Received: 24.05.2023.

Accepted: 21.06.2023.

Published: 30.06.2023.

Review article

Prospects for the use of energy-accumulating substances in solving environmental problems in the oil industry

Galina I. Boiko¹, Raushan G. Sarmurzina², Nina P. Galiyeva¹,
Uzakbay S. Karabalin², Daniyar S. Tiessov³, Tanzilya R. Akhanova¹,
Pavel V. Kenyaikin¹

¹Satbayev University, Almaty, Kazakhstan

²KAZENERGY, Astana, Kazakhstan

³Kazakhstan Petrochemical Industries Inc., Atyrau, Kazakhstan

ABSTRACT

The prospects for using new-generation energy-accumulating substances based on aluminum alloys activated with activating metals (indium, gallium, tin, eutectics of low-melting metals) as non-traditional environmentally friendly sources for hydrogen production from water and energy accumulation methods, the formation of various forms of aluminum hydroxides, are discussed, which can be used in solving environmental problems in the oil industry: in technologies for complex oil treatment, destruction of abnormally stable water-oil emulsions and oil sludge, demetallization and desulphurization of hydrocarbon raw materials, for the treatment of industrial waste, recycled and natural waters, as well as the reclamation of oil-contaminated areas with low and average levels of pollution, restoration of their fertility when used together with organomineral (humic) fertilizers.

Keywords: *aluminum, activation, oil sludge, alloys, energy-accumulating substances.*

To cite this article:

Boiko GI, Sarmurzina RG, Galiyeva NP, Karabalin US, Tiessov DS, Akhanova TR, Kenyaikin PV. Prospects for the use of energy-accumulating substances in solving environmental problems in the oil industry. *Kazakhstan journal for oil & gas industry*. 2023;5(2):99–116. DOI: <https://doi.org/10.54859/kjogi108653>.

ӨОЖ 661.961.3, 622.276.4, 662.769.2

ҒТАХР 61.01.00

DOI: <https://doi.org/10.54859/kjogi108653>

Қабылданды: 24.05.2023.

Мақұлданды: 21.06.2023.

Жарияланды: 30.06.2023.

Ғылыми шолу

Мұнай саласының экологиялық проблемаларын шешуде энергия жинақтаушы заттарды пайдалану перспективалары

Г.И. Бойко¹, Р.Г. Сармурзина², Н.П. Галиева¹, У.С. Карабалин², Д.С. Тиесов³, Т.Р. Аханова¹, П.В. Кеняйкин¹

¹Satbayev University, Алматы қаласы, Қазақстан

²KAZENERGY, Астана қаласы, Қазақстан

³Kazakhstan Petrochemical Industries Inc., Атырау қаласы, Қазақстан

АННОТАЦИЯ

Судан сутегі алу үшін дәстүрлі емес экологиялық таза көздер ретінде активатор металдармен (индий, галлий, қалайы, төмен балқитын металдардың эвтектикасы) белсендірілген алюминий қорытпаларына негізделген жаңа буын энергия жинақтаушы заттарды пайдалану перспективалары және энергияны сақтау әдістері, мұнайдағы экологиялық мәселелерді шешуде қолдануға болатын алюминий гидроксидтерінің өртүрлі формаларын қалыптастыру талқыланды салалар: мұнайды кешенді дайындау, қалыптан тыс тұрақты су-мұнай эмульсиялары мен мұнай шламдарын жою, өнеркәсіптік сарқынды суларды, айналымды және табиғи суларды тазарту үшін көмірсутек шикізатын металсыздандыру және күкіртсіздендіру, сондай-ақ ластану деңгейі төмен және орташа мұнаймен ластанған аумақтарды рекультивациялау, органоминералды (гуминді) тыңайтқыштармен бірлесіп пайдалану кезінде олардың құнарлылығын қалпына келтіру технологияларында.

Негізгі сөздер: алюминий, активация, мұнай шламдары, қорытпалар, энергия шоғырландырушы заттар.

Дәйексөз келтіру үшін:

Бойко Г.И., Сармурзина Р.Г., Галиева Н.П., Карабалин У.С., Тиесов Д.С., Аханова Т.Р., Кеняйкин П.В. Мұнай саласының экологиялық проблемаларын шешуде энергия жинақтаушы заттарды пайдалану перспективалары // Қазақстанның мұнай-газ саласының хабаршысы. 2023. 5 том, № 2, 99–116 б. DOI: <https://doi.org/10.54859/kjogi108653>.

Введение

О водороде как об энергоресурсе и использовании его в качестве альтернативного, экологически безопасного и «углеродно-нейтрального» источника топлива для транспорта, выработки электрической и тепловой энергии заговорили в начале 80-х гг. прошлого века.

Сегодня в мировой энергетике наблюдается процесс глобальной перестройки, связанной с декарбонизацией энергетической системы, образованием в энергетике отдельной отрасли, известной как водородная энергетика, внедрением новых технологий, изменивших мир [1–9]. Отмечается [1–4], что необходимость перехода к декарбонизированной энергетической системе обусловлена снижением доступности ископаемого углеводородного топлива, экологическими проблемами загрязнения воздуха, воды и почвы, а также проблемами борьбы с изменением климата. Согласно литературным источникам [1–4], более 94% выбросов CO₂ в атмосферу являются результатом производства и потребления газа, нефти и угля и ключевым аспектом повышения средней глобальной приземной температуры. Сокращение объема потребления нефтепродуктов обуславливает активное развитие водородной энергетике. Ожидается, что к 2050 г. водород составит 12% конечного спроса на энергию [5]. Продукты сгорания водородного топлива являются экологически чистыми, что определяет значимость водородной энергетике для экологии [6, 9]. При сжигании водород образует только воду без вредных веществ.

Отмечается, что для полного перехода глобальной энергетической системы к возобновляемым источникам энергии необходимы устойчивые, пригодные для вторичной переработки энергоносители. Мировой промышленностью освоены различные технологии производства водорода, особенности которых зависят как от используемого сырья, так и от способов получения энергии.

В последние годы для получения, хранения и транспортировки водорода возрос интерес к энергоаккумулирующим веществам (далее – ЭАВ) – многократно регенерируемым веществам, восстанавливаемым из природных оксидов [7].

В качестве ЭАВ исследуются трёхкомпонентные сплавы Si, Al и Fe. Научные работы по исследованию ЭАВ и их техническому использованию ведутся с 50-х гг. прошлого столетия. За истекшее время в мировой практике подробно изучены свойства многочисленного ряда ЭАВ, разработаны способы производства ЭАВ из природных оксидов, предложены технические решения применения новых ЭАВ на основе активированных сплавов алюминия (далее – АСА) в энергетике и на транспорте [7–27]. Показано, что АСА вступают в реакцию с водой при комнатной температуре с высокими регулируемыми скоростями выделения водорода и теплотами реакций. Процесс характеризуется высокой производительностью, выделением большого количества горячей водородно-паровой смеси (1,24 л H₂ на 1 г Al) [7] и образованием различных форм гидроксидов алюминия, которые могут быть использованы для очистки промышленных сточных вод, а также восстановления нефтезагрязненных территорий с низким и средним уровнем загрязнения.

Образование побочных продуктов с добавленной стоимостью в реакции образования водорода и их продажа является стратегическим подходом к снижению затрат на водородное топливо с целью реализации действительно устойчивой водородной экономики [27]. К числу преимуществ АСА относятся коллоидальные объёмы алюминиевых руд (бокситов) в недрах Казахстана (в земной коре алюминия до 8,8%), а также металлов-активаторов для получения АСА [7].

На основании проведенных лабораторных исследований выявлена перспективность применения ЭАВ на основе сплавов алюминия, активированных металлами-активаторами (индий, галлий, олово, эвтектики низкоплавких металлов) в качестве нетрадиционных экологически чистых источников хранения энергии, получения водорода из воды, решения экологических проблем в нефтегазовой отрасли.

Основные результаты

Основная идея заключалась в рациональном использовании выделяющейся энергии ЭАВ и управлении процессом

взаимодействия активированного алюминия с водой, позволяющая получать водород с высокими регулируемыми скоростями и гидроксида, оксиды алюминия различного состава [16–32].

Изучено влияние окислительной среды (вода, перекись водорода, гидроксид натрия, серная и соляная кислоты) на выход и скорость выделения водорода, а также состав образующихся продуктов окисления АСА, содержащего металлы-активаторы: галлий, индий, олово в зависимости от температуры, а также дисперсности частиц сплава [29–31].

Экспериментально доказана возможность использования низкоплавких металлсодержащих эвтектик (сплавы Вуда, Розе, Дарсе) для замены металлов-активаторов: индия, галлия, олова. Исследования свидетельствуют о высокой активности нового поколения ЭАВ (рис. 1, 2).

На основании изучения кинетических закономерностей исследуемого процесса разработаны условия и показана возможность управления процессом окисления ЭАВ на основе нового поколения АСА водными растворами различной минерализации, pH и нефтезагрязнения [28].

Опираясь на полученные знания по созданию нового поколения ЭАВ, разработан новый инновационный способ разрушения нефтешламов, основанный на использовании водородной энергетики ЭАВ, позволяющий практически на 100% разрушать нефтешлам с количественным выделением нефтепродукта [19, 22, 23] (табл. 1).

По результатам проведенного исследования можно отметить, что термогазохимическое воздействие ЭАВ на нефтешлам способствует увеличению выхода светлых фракций. Выход фракций до 260°C и до 270°C увеличился на 7% и 6% соответственно, в свою очередь, выход тяжелых фракций от 280°C до 360°C снижается после обработки шлама реагентом Rau-85 (рис. 3, 4).

Анализ группового состава нефтешлама показал уменьшение содержания в шламе силикагелевых смол, асфальтенов и высокомолекулярных парафинов, что свидетельствует о протекании процесса гидрогенолиза при обработке нефтешлама АСА.

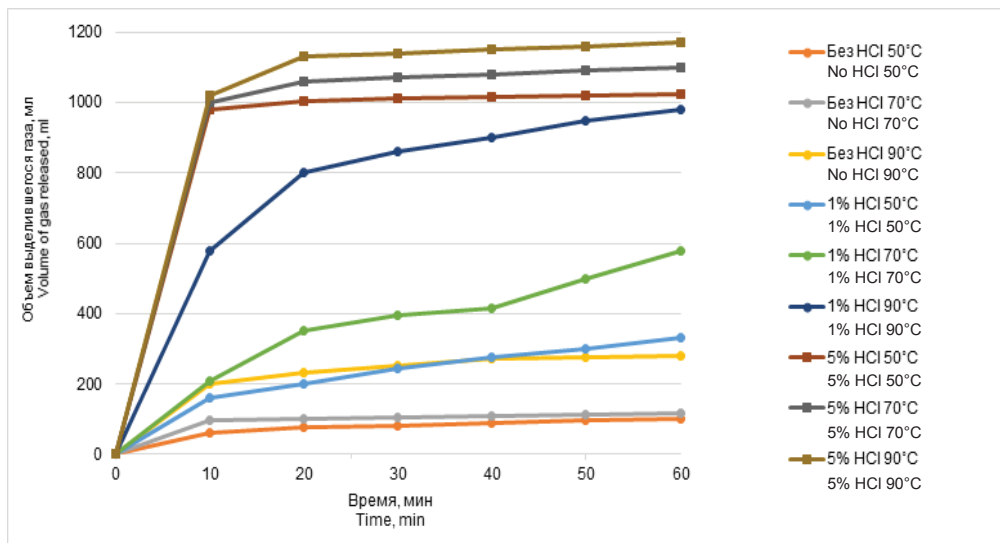


Рисунок 1. Зависимость объёма выделяющегося газа при взаимодействии сплава алюминия, активированного сплавом Вуда в соотношении Al: сплав Вуда = 90% : 10%, от времени реакции

Figure 1. The dependence of the volume of gas released during the interaction of an aluminum alloy activated with Wood's alloy in the ratio Al: Wood's alloy = 90% : 10%, on the reaction time
соотношение сплав : вода = 1 : 50 / the alloy : water ratio = 1 : 50

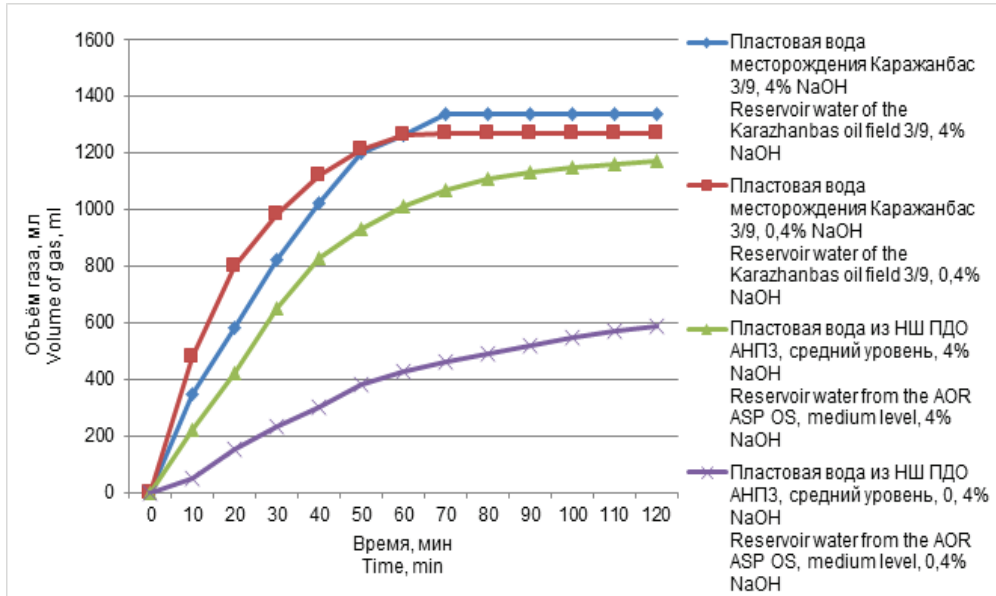


Рисунок 2. Сравнительные кривые объёма выделившегося газа при реакции воды из нефтешлама прудов дополнительного отстоя АНПЗ и месторождения Каражанбас со сплавом Al: сплав Вуда = 90 : 10 с добавкой NaOH

Figure 2. Comparative curves of the volume of released gas during the reaction of water from oil sludge from the additional sedimentation ponds of the AOR and the Karazhanbas oil field with Al alloy: Wood's alloy = 90 : 10 with the addition of NaOH

Общее содержание солей воды из ПДО АНПЗ – 2100 мг/л, из месторождения Каражанбас – 6140 мг/л. Температура 90°C, соотношение сплав : вода 1 : 50. / The total salt content of water from the ASP of the Atyrau Refinery is 2100 mg/l, from the Karazhanbas oil field – 6140 mg/l. Temperature 90°C, alloy : water ratio 1 : 50
 АНПЗ / AOR – ТОО «Атырауский нефтеперерабатывающий завод» / The Atyrau Oil Refinery LLP, НШ / OS – нефтешлам / oil sludge, ПДО / ASP – пруды дополнительного отстоя / additional sedimentation ponds

Таблица 1. Оценка степени извлечения нефти из нефтешламов прудов дополнительного отстоя АНПЗ термогазохимическим методом воздействия АСА

Table 1. Evaluation of the degree of oil recovery from oil sludge from the additional sedimentation ponds at the AOR by the thermal gas chemical method of exposure to Activated Aluminum Alloy

Содержание в нефтешламах, % Content in oil sludges, %	Нефтешламы месторождения Узень Oil sludge of the Uzen oil field	t, °C	Степень извлечения нефти из нефтешламов месторождения Узень, % The degree of oil recovery from oil sludge of the Uzen field, %		
			Rau-85	Al: сплав Розе (90 : 10) Al: Rose alloy (90 : 10)	Al: сплав Вуда (90 : 10) Al: Wood's alloy (90 : 10)
Вода / Water	65	60	89,7	91,3	94,4
Механические примеси / Mechanical impurities	5,5	70	87,3	90,7	93,9
Нефть / Oil	29,5	80	87,7	89,1	93,2

Соотношение шлам : уайт-спирит 1 : 1, шлам : вода 1 : 3, 1%-ный раствор HCl ; расход реагента 10 кг/м / ratio sludge : white spirit 1 : 1, sludge : water 1 : 3, 1% HCl solution; reagent consumption 10 kg/t

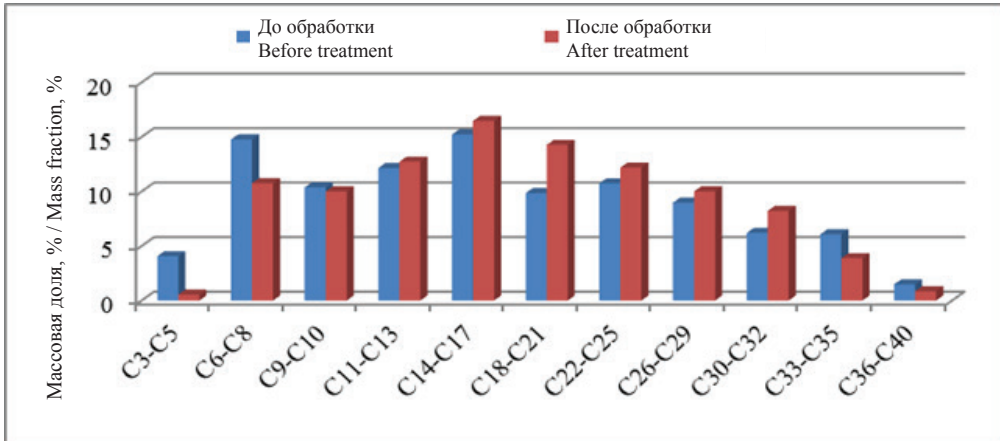


Рисунок 3. Состав насыщенных углеводородов нефти до и после обработки нефтешлама месторождения Узень реагентом Rau-85 и 1%-ным водным раствором HCl
Figure 3. The composition of saturated oil hydrocarbons before and after treatment of oil sludge from the Uzen field with Rau-85 reagent and 1% HCl aqueous solution

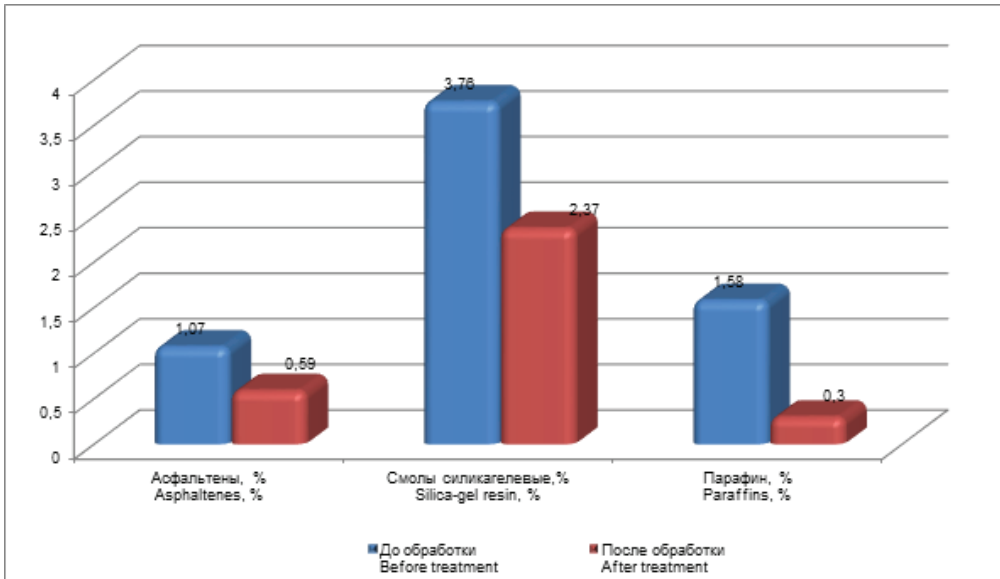


Рисунок 4. Содержание асфальтенов, смол и парафинов в нефтешламах из прудов дополнительного отстаивания АНПЗ до и после обработки реагентом Rau-85
Figure 4. Content of asphaltenes, resins and paraffins in oil sludge from the additional sedimentation ponds at the Atyrau Refinery before and after treatment with Rau-85 reagent

Показано, что применение АСА упрощает способ разрушения нефтешламовой эмульсии и увеличивает полноту извлечения нефти из НШ на 25–40%, по сравнению с традиционными методами.

Отмечено, что после обработки нефтешламов значительно уменьшается количество природных стабилизаторов

эмульсий: асфальтенов, алифатических парафинов.

Использование предложенной технологии позволит минимизировать объемы нефтешламов и негативное воздействие их на окружающую среду, предусматривает получение экологического эффекта за счёт предотвращенного ущерба, возникающего

вследствие нарушения и загрязнения недр отходами.

Впервые показана возможность использования водородной энергетики активированного алюминия для интенсификации процессов добычи высокопарафинистой и высоковязкой нефти длительно эксплуатируемых месторождений. Разработана технология термогазохимического воздействия активированного алюминия для очистки призабойной зоны скважины, повышения притока пластовых флюидов, основанная на химическом взаимодействии активированного алюминия с пластовой водой, в результате которого образуется большое количество теплоты и водорода [19–21].

Впервые выявлена зависимость между общей минерализацией пластовых вод и скоростью взаимодействия АСА с пластовыми водами и, соответственно, скоростью тепловыделения. Показано, что чем выше минерализация и кислотность пластовых вод, тем выше скорость выделения тепла [29].

Действие продуктов окисления АСА на флюид и породу многофункционально, но в основном химическое: внутрипластовое превращение высокомолекулярных парафинов в газ и бензин, образование дополнительных трещин и укрепление сыпучих. Активный водород, генерируемый путём экзотермической реакции активированного алюминия непосредственно в призабойной зоне скважины (далее – ПЗС) является активатором процессов диффузии рабочих газов и паров в продуктивном горизонте, а также увеличивает скорость движения потока газа и нефти [21].

На основании петрофизических исследований термогазохимической обработки (далее – ТГХО) нефтенасыщенных кернов на установке PLS-200 с гидростатическим кернодержателем (CoreLaboratoriesInstruments, США), проведенных совместно с ТОО НИИ «Каспиймунайгаз», выявлено уменьшение количества тяжелых углеводородов от C_{33} до C_{40} на 2,83% и увеличение содержания легких углеводородов от C_{11} до C_{32} на 10,74%. В составе газов, выделившихся во время ТГХО, наряду с водородом до 7% присутствуют углеводороды от метана до пентана нормального и изостроения [21].

Выделяющиеся газы работают в качестве вытесняющего агента и увеличивают КИН до 15%, по сравнению с вытеснением водой. Улучшения физико-химических характеристик нефти свидетельствуют о протекании сложных процессов изменения структуры тяжелых углеводородов в нефти.

Впервые с использованием водородной энергетики АСА нового поколения разработан и запатентован способ [24, 25] извлечения цветных металлов из тяжелого нефтяного сырья с одновременной очисткой от серы (рис. 5).

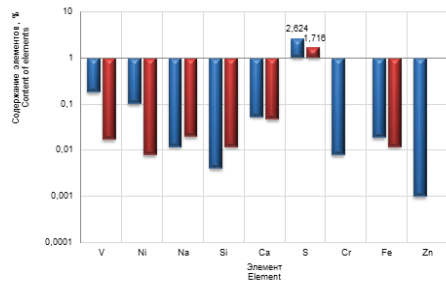


Рисунок 5. Содержание серы и металлов в гудроне ПНХЗ до (синий) и после обработки (красный) реагентом Rau-85
Figure 5. Content of sulfur and metals in tar in POCR LLP before (blue) and after treatment (red) with the reagent Rau-85

ПНХЗ / POCR LLP – Павлодарский нефтехимический завод / Pavlodar Oil Chemistry Refinery

Выявлено, что с применением композиционных составов, содержащих ЭАВ на основе АСА, можно значительно снизить содержание цветных металлов ванадия и никеля в тяжелом углеводородном сырье (мазут, гудрон) до 70–80%, а также содержание серы в тяжелом углеводородном сырье: нефть месторождения Каражанбас – 82%, нефтешламы – 98%, мазут – 64,6%, гудрон – 51% [22, 23].

Современные темпы развития нефтедобычи и нефтепереработки неизбежно связаны с потерями нефти, образованием отходов при аварийных разливах, что приводит к возникновению экологически опасных ситуаций. Нефть и её продукты, являясь тяжёлыми, трудноокисляемыми и токсичными веществами, серьёзно подавляют самоочищающую способность почвы и воды.

Осуществлён комплексный анализ физико-химических свойств проб воды и почвы с пруда-испарителя АНПЗ, в т.ч. кислотно-основные свойства (щёлочность) почв и грунтовых вод, степень засоления почв и минерализация грунтовых вод, содержание нефти в почве, анионов и катионов в водной вытяжке почвы.

Создано и испытано новое поколение сорбентов комплексного действия на основе сплавов алюминия, активированных металлами-активаторами In, Ga, Sn, а также сплавами Вуда, Дарсе, Розе для обеззараживания загрязнённых этоксикантами (вещество, обезвреживающее токсины) сточных пластиковых вод пруда-испарителя месторождений. Осуществлена сравнительная оценка эффективности очистки технической сточной воды пруда-испарителя левобережной части г. Атырау «Тухлая балка» путём обработки АСА нового поколения.

Осуществлены исследования по оценке агрофизических свойств почв (морфология, механический состав, влажность, плотность сложения почв, водопропускность почвенных агрегатов, влагоёмкость почвы, испаряющая способность почв, соотношение минеральной и органической части в почвах, содержание гумуса в почве и её фитотоксичность).

Установлено, что пробы почв с береговой линии и со дна пруда-испарителя относятся к тяжелым суглинкам с преимущественным содержанием глины и значительным количеством песка.

Содержание нефти в пробе почвы пруда-испарителя с береговой линии составляет 26,89%, в пробе почвы со дна пруда-испарителя «Тухлая балка» – 17,38%.

Методом атомно-эмиссионной спектроскопии с индуктивно-связанной плазмой (ICP-7400) осуществлен комплексный анализ химического состава и физико-химических характеристик водной вытяжки почв. Согласно полученным результатам анализа пробы различаются по содержанию выявленных в них элементов. По данным исследования pH изучаемые воды относятся к слабо щелочным (pH 7,4–7,77).

Тип засоления почв хлоридно-сульфатный, ведущая роль в засолении

принадлежит солям натрия, кальция и магния.

Выявлено, что почвы, отобранные со дна пруда-испарителя, малогумусные (бедные). Содержание гумуса в почве со дна полей испарения в левобережной части г. Атырау («Тухлая балка») составляет порядка 3–4%, в почве с береговой линии – порядка 2–3%, не более 1,5% в почве со дна полей открытого испарения (табл. 2).

Таблица 2. Содержание гумуса и нефти в почве со дна и береговой линии пруда-испарителя
Table 2. The content of humus and oil in the soil from the bottom and shoreline of the evaporation pond

Образец, дата отбора проб Sample, sampling date	Содержание гумуса % Content of humus, %	Содержание нефти, г/кг Content of oil, g/kg
Проба почвы со дна пруда-испарителя, 2019 г. Soil sample from the bottom of the evaporation pond, 2019	2,4	18,6
Проба почвы со дна пруда-испарителя, 2020 г. Soil sample from the bottom of the evaporation pond, 2020	2,4	17,9
Проба почвы с береговой линии, 2020 г. Shoreline soil sample, 2020	1,3	26,9
Проба почвы со дна пруда-испарителя, 2021 г. Soil sample from the bottom of the evaporation pond, 2021	2,4	15,4

Осуществлен рентгенофазовый анализ кристаллических фаз образцов почвы пруда-испарителя с береговой линии и со дна пруда-испарителя на дифрактометре D8 Advance (BRUKER). Сделан вывод о том, что минеральная часть исследуемых образцов почв имеет сложный минералогический и химический состав. Основной минерал, входящий

в состав почвы, – это первичный силикатный минерал кварц (SiO_2).

Изучена фитотоксичность почв, отобранных с пруда-испарителя «Тухлая балка» АНПЗ. О фитотоксичности судили по всхожести семян, длине побега и корней нефтестойких многолетних трав с разветвленной корневой системой (люцерна, донник, эспарцет). Анализ токсичности почв по интенсивности роста и развития растения показал, что почвы имеют среднюю степень токсичности.

Впервые теоретически обоснована возможность и эффективность использования нового поколения сорбентов комплексного действия на основе органоминеральных реагентов и активированных сплавов алюминия в технологиях обезвреживания нефтезагрязненных почвогрунтов, позволяющих снизить концентрацию этоксикантов, нейтрализовать последствия воздействия нефти и нефтепродуктов на почву, грунтовые и поверхностные воды.

Результаты оценки свойств почвогрунта после обеззараживания ком-

плексным сорбентом свидетельствуют о высокой степени обеззараживания и очистки нефтезагрязненных почв.

Разработанный подход к восстановлению загрязнённых почв нефтью и нефтепродуктами будет апробирован при детоксикации нефтезагрязнённых земель с целью восстановления плодородия нефтезагрязнённых территорий прудов открытого испарения АНПЗ. На основании проведенных исследований сделан вывод, что для восстановления агрохимических свойств нарушенных участков почвы, отобранной со дна пруда-испарителя АНПЗ, необходимо применение комплексных технологических приёмов, основными из которых являются периодическая перепашка почвы для перемешивания и аэрации разбросанных загрязнённых отходов по почве тонким слоем, последующей обработкой подобранными оптимальными композиционными составами, содержащими реагент Rau : углегумус : вода, запашка и посев нефтетолерантных растений [33].



Рисунок 6. Всхожесть семян люцерны на образце почвы, отобранной со дна пруда испарителя в полевых условиях
Figure 6. Germination of alfalfa seeds on a soil sample taken from the bottom of an evaporation pond in the field conditions

а) образец нефтезагрязненной почвы / oil-contaminated soil sample; б) образец почвы после обработки гуминовым удобрением «Казуглеумус» / soil sample after treatment with Kazuglegumus humic fertilizer;
 в) образец почвы после совместной обработки реагентом Rau-85 и удобрением / soil sample after combined treatment with Rau-85 reagent and fertilizer

Принимая во внимание нехватку водных ресурсов, серьёзное загрязнение окружающей среды и всё более строгие

стандарты сброса сточных вод в водоёмы, исследования по разработке способов очистки и утилизации природных и сточных

вод являются важными и актуальными. Опираясь на анализ литературных источников, был сделан вывод о том, что наиболее эффективными коагулянтами являются полиоксихлориды алюминия (далее – ПОХА) [32].

Нами впервые в основе синтеза ПОХА предложено использовать в качестве сырья сплавы алюминия, активированные галлием, индием и оловом (Rau-98,5).

Полиоксихлориды алюминия получали по разработанному способу, согласно которому обработку активированного алюминия осуществляют разбавленным раствором соляной кислоты. Температура поднимается от комнатной до оптимальной (50–90°C), без подвода тепла извне, за счёт взаимодействия реагентов. Процесс завершается за 2–3 ч (рис. 7).

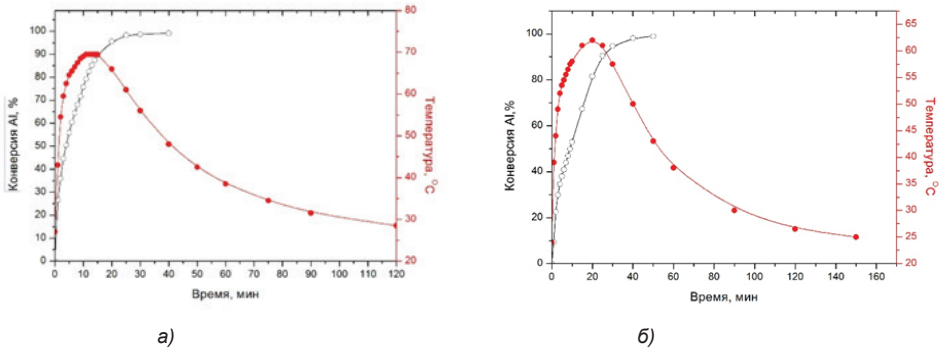


Рисунок 7. Кривые зависимости температуры процесса и конверсии алюминия от времени при синтезе коагулянта с 3%-ной HCl (1:50)
Figure 7. Curves of process temperature and aluminum conversion versus time during coagulant synthesis with 3% HCl (1:50))

а) на основе Rau-97 / based on Rau-97; б) на основе Rau-98,5 / based on Rau-98.5

Таблица 3. Результаты по измерению мутности и оценке эффективности очистки природных и сточных вод 0,1%-ным раствором в пересчёте на Al₂O₃ коагулянта № 20 на основе сплава алюминия Rau-97

Table 3. The results of measuring turbidity and evaluating the efficiency of natural and waste water treatment with a 0.1% solution in terms of Al₂O₃ coagulant No. 20 based on aluminum alloy Rau-97

Проба воды, мутность Water sample, turbidity	Доза коагулянта, мл/л Dose of coagulant, ml/l	pH воды / water pH		Мутность Turbidity, FNU	Эффективность, % Efficiency, %
		до обработки before treatment	после обработки after treatment		
Природная «Алматы Су» Natural "Almaty Su" 4,52 FNU	0,1	7,34	7,43	0,48	89,4
	0,5	7,38	7,48	0,32	92,9
	1	7,25	7,23	0,53	88,3
	5	7,25	7,13	0,62	86,3
	10	7,25	7,01	0,64	85,8
Природная «Медеу» "Natural Medeu", 26,1 FNU	0,02	7,12	7,15	1,98	92,4
	0,1	7,15	7,28	1,20	95,4
	1	7,15	7,28	0,82	96,9
	5	7,12	7,05	0,67	97,4
Сточная нефтезагрязненная вода (образец № 1) Waste oil-contaminated water (sample No. 1), 44,4 FNU	1	7,04	7,44	6,19	86,1
	2	7,38	7,17	0,55	97,8
	3	7,37	7,30	0,62	98,4
	4	7,37	7,25	0,42	99,0
	5	7,04	7,54	0,37	99,2

FNU – Formazin Nephelometric Unit

Таблица 4. Эффективность очистки нефтесодержащих сточных вод коагулянтном на основе сплава алюминия, активированного сплавом Дарсе
Table 4. Efficiency of treatment of oily wastewater with the coagulant on the basis of aluminum alloy activated by D'Arcet's alloy

Коагулянт, соотношение металлов в сплаве Coagulant, ratio of metals in the alloy	Расход коагулянта, г/т Coagulant consumption, g/t	Исходное содержание нефти, мг/л Initial oil content, mg/l	Остаточное содержание нефти, мг/л Residual oil content, mg/l	Эффективность, % масс. Efficiency, % mass
Al: сплав Дарсе 90 : 10 D'Arcet's alloy 90:10	10	17,8	3,9	78,1
Al: сплав Дарсе 90 : 10 D'Arcet's alloy 90 : 10	20	17,8	3,5	80,5
Al: сплав Дарсе 90 : 10 D'Arcet's alloy 90 : 10	50	17,8	3,7	78,9
Al: сплав Дарсе 90 : 15 D'Arcet's alloy 90 : 15	10	17,8	3,4	81,0

Разработанный способ позволяет получить ПОХА с необходимой степенью основности 41–82,6% и с массовой долей алюминия в пересчёте на Al_2O_3 30–48% [34]. С привлечением достаточного объёма аналитических и инструментальных методов (ИК-спектроскопии, XRD, SEM с EDS, РФА, рентгеноспектрального анализа) изучены микроструктура, фазовые компоненты, элементный состав ПОХА.

Параметры очищенной воды с использованием ПОХА находятся в пределах норм, установленных для питьевого водоснабжения и водоотведения сточных вод, предназначенных, для сброса воды в принимающий объект (табл. 3).

Снижение мутности воды, отобранной с водозаборной станции «Алматы Су», достигает 97,2%, а для оборотной воды с блока очистки воды (далее – БОВ) производства глубокой переработки нефти (далее – ПГПН) – 99,6%. Эффективность очистки сточных нефтезагрязненных вод от нефти достигает 78–81% [35–37] (табл. 4).

Заключение

В ходе лабораторных исследований изучено влияние окислительной среды (вода, перекись водорода, гидроксид натрия, серная и соляная кислоты) на выход и скорость выделения водорода, а также состав образующихся продуктов окисления АСА в зависимости от температуры, а также дисперсности

частиц сплава. Теоретически обоснована и экспериментально доказана возможность и эффективность использования АСА для разрушения аномально стойких водонефтяных эмульсий и нефтешламов. После обработки нефтешламов значительно уменьшается количество природных стабилизаторов эмульсий: асфальтенов, алифатических парафинов.

Показано, что с применением композиционных составов, содержащих ЭАВ на основе АСА, можно значительно снизить содержание цветных металлов ванадия и никеля в тяжелом углеводородном сырье (мазут, гудрон) до 70–80%, а также содержание серы в тяжёлом углеводородном сырье: нефть месторождения Каражанбас – 82%, нефтешламы – 98%, мазут – 64,6%, гудрон – 51%. Создано и испытано новое поколение сорбентов комплексного действия на основе сплавов алюминия, активированных металлами-активаторами In, Ga, Sn, а также сплавами Вуда, Дарсе, Розе для очистки пластовых вод месторождений, оборотных и сточных вод, детоксикации нефтезагрязнённых земель с целью восстановления плодородия нефтезагрязнённых территорий прудов открытого испарения АНПЗ.

Эффективность очистки сточных нефтезагрязненных вод от нефти достигает 78–81%. Снижение мутности оборотной воды с блока очистки воды БОВ-1 ПГПН достигает 99,6%.

ДОПОЛНИТЕЛЬНО

Источник финансирования. Работа выполнена за счёт средств грантового финансирования Министерства науки и высшего образования Республики Казахстан ИРН АР09260008, программно-целевого финансирования ИРН BR11765599 и финансовой поддержке ТОО «Атырауский нефтеперерабатывающий завод» (Договоры 277403/2019/1, 416473/2020/1, 571756/2021/1).

Конфликт интересов. Авторы декларируют отсутствие явных и потенциальных конфликтов интересов, связанных с публикацией настоящей статьи.

Вклад авторов. Все авторы подтверждают соответствие своего авторства международным критериям ICMJE (все авторы внесли существенный вклад в разработку концепции, проведение исследования и подготовку статьи, прочли и одобрили финальную версию перед публикацией). Наибольший вклад распределён следующий образом: Бойко Г.И. – концепция исследования, Сармурзина Р.Г. – автор идеи использования активированных сплавов алюминия для получения зеленого водорода, Галиева Н.П. – анализ известных литературных источников и патентной литературы по рассматриваемой тематике, Карабалин У.С. – идея по использованию энергии водорода для решения экологических проблем нефтегазовой отрасли, Тиесов Д.С. – обоснование идеи возможности модификации полимерных материалов для нефтегазовой отрасли, Аханова Т.Р. – разработка биологически активных полимерных материалов для роста и развития растений, Кеняйкин П.В. – разработка способов получения высокоосновных коагулянтов

и доказательство их эффективности для различных типов.

ADDITIONAL INFORMATION

Funding source. The work was carried out at the expense of grant funding from the Ministry of Science and Higher Education of the Republic of Kazakhstan URN AR09260008, program-targeted funding URN BR11765599 and financial support from the Atyrau Oil Refinery LLP (Agreements 277403/2019/1, 416473/2020/1, 571756/2021/1).

Competing interests. The authors declare that they have no competing interests.

Authors' contribution. All authors made a substantial contribution to the conception of the work, acquisition, analysis, interpretation of data for the work, drafting and revising the work, final approval of the version to be published and agree to be accountable for all aspects of the work. The largest contribution is distributed as follows: Galina I. Boiko – the concept of the study; Raushan G. Sarmurzina – the author of the idea of using activated aluminum alloys to produce green hydrogen; Nina P. Galiyeva – analysis of well-known literary sources and patent literature on the subject under consideration; Uzakbay S. Karabalin – the idea of using hydrogen energy to solve environmental problems in the oil and gas industry; Daniyar S. Tiessov – substantiation of the idea of the possibility of modifying polymeric materials for the oil and gas industry; Tanzilya R. Akhanova – development of biologically active polymeric materials for the growth and development of plants; Pavel V. Kenyaykin – development of methods for obtaining highly basic coagulants and proof of their effectiveness for various types.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Trowell K.A., Goroshin S., Frost D.L., Bergthorson J.M.* Aluminum and its role as a recyclable, sustainable carrier of renewable energy// *Applied Energy*. 2020. Vol. 275. doi:10.1016/j.apenergy.2020.115112.
2. *Najafpour M.M., Mehrabani S., Bagheri R., et al.* An aluminum/cobalt/iron/nickel alloy as aprecatalyst for water oxidation // *International Journal of Hydrogen Energy*. 2018. Vol. 43(4). P. 2083–2090. doi:10.1016/j.ijhydene.2017.12.025.
3. *Pini M., Breglia G., Venturelli M., et al.* Life cycle assessment of an innovative cogeneration system based on the aluminum combustion with water // *Renewable Energy*. 2020. Vol. 154. doi:10.1016/j.renene.2020.03.046.

4. *Egilegor B., Jouhara H., Zuazua J., et al.* ETEKINA: analysis of the potential for waste heat recovery in three sectors: aluminium low pressure die casting, steel sector and ceramic tiles manufacturing sector // *Int. J. Thermofluids*. 2020. Vol. 1–2. doi:10.1016/j.ijft.2019.100002.
5. *Blanco H.* What will an international marketplace for Hydrogen look like? // *Energy-post*. Дата обращения: 05.05.2023. Режим доступа: <https://energypost.eu/what-will-an-international-marketplace-for-hydrogen-look-like>.
6. *Mazloomi K., Gomes C.* Hydrogen as an energy carrier: prospects and challenges // *Renew. Sustain. Energy Rev.* 2012. Vol. 16. P. 3024–3033. doi:10.1016/j.rser.2012.02.028.
7. Авторское свидетельство № 535364/ 15.11.76, Бюл. № 42. Сокольский Д.В., Козин Л.Ф., Бармин В.П., Подгорный А.Н., Варшавский Н.А., Сармурзина Р.Г., Оспанов Е. Сплав на основе алюминия для получения водорода.
8. *Zhang F., Yonemoto R., Arita M., Horita Z.* Hydrogen generation from pure water using Al-Sn powders consolidated through high-pressure torsion // *J Mater Res*. 2016. Vol. 31. P. 75–82. doi:10.1557/jmr.2016.74.
9. *Дли М.И., Балябина А.А., Дроздова Н.В.* Водородная энергетика и перспективы ее развития // *Альтернативная энергетика и экология (ISJAEE)*. 2015. № 22. С. 37–41. doi:10.15518/isjaee.2015.22.004.
10. *Берш А.В., Клейменов Б.В., Мазалов Ю.А, Низовцев В.Е.* Перспективы развития водородной энергетика на основе алюминия // *Радиоэлектроника и телекоммуникации*. 2005. № 2(38). С. 62–66.
11. *Ilyukhina A.V., Kravchenko O.V., Bulychev B.M., Shkolnikov E.I.* Mechanochemical activation of aluminum with gallams for hydrogen evolution from water // *International journal of hydrogen energy*. 2010. Vol. 35. P. 1905–1910. doi:10.1016/j.ijhydene.2009.12.11.
12. *Шейдлин А.Е., Жук А.З.* Алюмоводородная энергетика // *Вестник Российской Академии наук*. 2010. Т. 80, № 3. С. 218–224.
13. *Ilyukhina A.V., Kravchenko O.V., Bulychev B.M.* Studies on microstructure of activated aluminum and its hydrogen generation properties in aluminum/water reaction // *Journal of Alloys and Compounds*. 2017. Vol. 690. P. 321–329. doi:10.1016/j.jallcom.2016.08.151.
14. *Huang T., Gao Q., Liu D., et al.* Preparation of Al-Ga-In-Sn-Bi quinary alloy and its hydrogen production via water splitting // *International Journal of Hydrogen Energy*. 2015. Vol. 40, No. 5. P. 2354–2362. doi:10.1016/j.ijhydene.2014.12.034.
15. *Ziebarth J.T., Woodall J.M., Kramer R.A., Choi G.* Liquid phase-enabled reaction of Al-Ga and Al-Ga-In-Sn alloys with water // *Int. J. Hydrogen Energy*. 2011. Vol. 36, No. 9. P. 5271–5279. doi:10.1016/j.ijhydene.2011.01.127.
16. Патент РК № 34988/ 09.04.21. Бюл. № 14. Сармурзина Р.Г., Бойко Г.И., Карабалин У.С., Тиесов Д.С., Любченко Н.П., Байгазиев М.Т., Бойко Е.А. Сплав для получения водорода и способ его приготовления.
17. Патент РК № 34806/ 22.07.21. Бюл. № 3. Сармурзина Р.Г., Бойко Г.И., Карабалин У.С., Тиесов Д.С., Любченко Н.П., Байгазиев М.Т., Бойко Е.А., Мамутов М.Э. Сплав для получения водорода на основе алюминия и способ его приготовления.
18. Патент РК № 34807/ 22.07.21. Бюл. № 3. Сармурзина Р.Г., Бойко Г.И., Карабалин У.С., Любченко Н.П., Тиесов Д.С., Байгазиев М.Т., Мамутов М.Э. Сплав для получения водорода на основе алюминия и способ его приготовления.
19. *Сармурзина Р.Г., Карабалин У.С., Тиесов Д.С., Любченко Н.П., Байгазиев М.Т.* Перспективы использования водородной энергетика в технологиях комплексной подготовки нефти, разрушения аномально стойких водонефтяных эмульсий и нефтешламов // *Нефть.Газ. Новации*. 2019. № 5 (222). С. 26–31.
20. Патент РК № 31164/ 16.05.16. Бюл. № 5. Сармурзина Р.Г., Карабалин У.С., Досмухамбетов М.Д., Исказиев К., Бойко Г.И., Молдабеков Б.Ш., Любченко Н.П. Способ обработки призабойной зоны пласта.
21. *Байгазиев М. Т, Сарсенбеков Н.Д., Бойко Г.И., и др.* Исследование воздействия активированного сплава алюминия на керны, насыщенные нефтями месторождений Казахстана // *Нефтяное хозяйство*. 2018. № 7. С. 68–89. doi:10.24887/0028-2448-2018-7-86-89.
22. Евразийский патент № 033942В1/ 12.12.19. Бюл. № 7. Сармурзина Р.Г., Бойко Г.И., Любченко Н.П., Байгазиев М.Т. Карабалин У.С., Акчулаков Б.У., Козырев Д.В. Способ разрушения нефтешлама.

23. Патент РК № 33660/ 07.06.19. Бюл. № 23. Сармурзина Р.Г., Бойко Г.И., Любченко Н.П., Байгазиев М.Т. Карабалин У.С., Акчулаков Б.У., Козырев Д.В. Способ разрушения нефтешлама.

24. Патент РК № 33863/ 06.07.19. Сармурзина Р.Г., Бойко Г.И., Любченко Н.П., Набидоллаев С.Е., Карабалин У.С., Акчулаков Б.У., Козырев Д.В., Бойко Е.А. Способ извлечения цветных металлов из тяжелого нефтяного сырья.

25. Патент РК № 34095/ 30.03.20. Бюл. № 11. Бойко Г.И., Сармурзина Р.Г., Карабалин У.С., Тиесов Д.С., Любченко Н.П., Набидоллаев С.Е., Бойко Е.А. Способ удаления серы из нефтяного сырья.

26. Yang B, Zhu J, Jiang T, et al. Effect of heat treatment on Al-Mg-Ga-In-Sn alloy reaction for hydrogen generation through hydrolysis // *International Journal of Hydrogen Energy*. 2017. Vol. 42, No. 38. P. 24393–24403. doi:10.1016/j.ijhydene.2017.07.091.

27. Кузнецова В.В., Лоик А.В. Энергоаккумулирующие вещества как альтернативное топливо для стационарных и транспортных энергоустановок // *Известия МГТУ «МАМИ»*. 2014. № 4(22). Т 1. С. 41–46.

28. Бойко Г.И., Сармурзина Р.Г., Любченко Н.П., и др. Перспективы использования активированного алюминия в водородной энергетике нефтегазовом комплексе // *Материалы Всемирного Конгресса инженеров и ученых «энергия будущего: инновационные сценарии и методы их реализации» WSEC*. 2017. Т. 3. Алматы. С. 125–130.

29. Sarmurzina R.G., Boiko G.I., Baigazyev M., et al. New generation of energy accumulating substances on the basis of activated aluminum // *Journal of chemical technology and metallurgy*. 2018. Vol. 53, No. 1. P. 119–124.

30. Sarmurzina R.G., Boiko G.I., Lyubchenko N.P., et al. Alloys for the production of hydrogen and active aluminum oxid // *National Academy of Sciences of the Republic of Kazakhstan. Series of geology and technical sciences 1*. 2022. Vol. 1, No. 451. P. 91–98. doi:10.32014/2022.2518-170X.145).

31. Sarmurzina R.G., Boiko G.I., Lyubchenko N.P., et al. Hydrogen obtaining from the system activated aluminum water // *National Academy of Sciences of the Republic of Kazakhstan. Series of geology and technical sciences 6*. 2022. Vol. 6, No. 456. P. 196–213. doi:10.32014/2518-170X.249.

32. Lee C.H., Tiwari B., Zhanga D., et al. Water purification: oil–water separation by nanotechnology and environmental concerns // *Environ. Sci.: Nano*. 2017. Vol. 4. P. 514–525. doi:10.1039/c6en00505e.

33. Бойко Г.И., Зияева Т.Р., Мухамедова Р.Ф., и др. Гуминовые кислоты и их полимерные формы как природные детоксиканты почвы от нефтяного загрязнения // *Теория и практика химической технологии (Марушкинские чтения-VI)*. 2021. № 2. С. 328–329.

34. Sarmurzina R.G., Boiko G.I., Kenzhaliyev B.K., et al. Coagulants for water based on activated aluminum alloys // *Global J. Environ. Sci. Manage*. 2023. Vol. 9(4). P. 673–690. doi:10.22034/gjesm.2023.04.2.

35. Патент РК № 35912/ 21.10.22. Бойко Г.И., Сармурзина Р.Г., Галиева Н.П., Кеняйкин П.В., Карабалин У.С., Тиесов Д.С., Бойко Е.А. Способ очистки нефтесодержащих сточных вод.

36. Патент РК № 35913/ 21.10.22. Бойко Г.И., Сармурзина Р.Г., Галиева Н.П., Кеняйкин П.В., Карабалин У.С. Тиесов Д.С. Способ очистки нефтесодержащих сточных вод.

37. Патент РК № 36031/ 30.12.22. Бойко Г.И., Сармурзина Р.Г., Галиева Н.П., Кеняйкин П.В., Карабалин У.С., Тиесов Д.С., Бойко Л.С. Способ очистки нефтесодержащих сточных вод.

REFERENCES

1. Trowell KA, Goroshin S, Frost DL, Bergthorson JM. Aluminum and its role as a recyclable, sustainable carrier of renewable energy. *Applied Energy*. 2020;275. doi:10.1016/j.apenergy.2020.115112.

2. Najafpour MM, Mehrabani S, Bagheri R, et al. An aluminum/cobalt/iron/nickel alloy as a precatalyst for water oxidation. *International Journal of Hydrogen Energy*. 2018;43(4): 2083–2090. doi:10.1016/j.ijhydene.2017.12.025.

3. Pini M, Breglia G, Venturelli M, et al. Life cycle assessment of an innovative cogeneration system based on the aluminum combustion with water. *Renewable Energy*. 2020;154. doi:10.1016/j.renene.2020.03.046.
4. Egilegor B, Jouhara H, Zuazua J, et al. ETEKINA: analysis of the potential for waste heat recovery in three sectors: aluminium low pressure die casting, steel sector and ceramic tiles manufacturing sector. *Int. J. Thermofluids*. 2020;1–2. doi:10.1016/j.ijft.2019.100002.
5. Blanco H. What will an international marketplace for Hydrogen look like? *Energypost*. Cited 2023 May 5. Available from: <https://energypost.eu/what-will-an-international-marketplace-for-hydrogen-look-like>.
6. Mazloomi K, Gomes C. Hydrogen as an energy carrier: prospects and challenges. *Renew. Sustain. Energy Rev*. 2012;16:3024–3033. doi:10.1016/j.rser.2012.02.028.
7. Author's certificate № 535364/ 15.11.76. Byul. 42. Sokolsky DV, Kozin LF, Barmin VP, Podgorny AN, Varshavsky NA, Sarmurzina RG, Ospanov E. *Aluminum-based alloy for production of hydrogen*.
8. Zhang F, Yonemoto R, Arita M, Horita Z. Hydrogen generation from pure water using Al-Sn powders consolidated through high-pressure torsion. *J Mater Res*. 2016;31(7):75–82. doi:10.1557/jmr.2016.74.
9. Dlya MI, Balyabina AA, Drozdova NV. Hydrogen energy and prospects of its development. *Alternative Energy and Ecology (ISJAE)*. 2015;22:37–41. doi:10.15518/isjaee.2015.22.004. (In Russ).
10. Bersh AV, Kleymenov BV, Mazalov YA, Nizovtsev VE. Prospects of development of hydrogen energy based on aluminum. *Radioelectronics and Telecommunications*. 2005. 2(38):62–66. (In Russ).
11. Ilyukhina AV, Kravchenko OV, Bulychev BM, Shkolnikov EI. Mechanochemical activation of aluminum with gallams for hydrogen evolution from water. *International journal of hydrogen energy*. 2010;35:1905–1910. doi:10.1016/j.ijhydene.2009.12.11.
12. Sheidlin AE, Zhuk AZ. Alumina-Hydrogen Energy. *Bulletin of the Russian Academy of Sciences*. 2010;80(3):218–224. (In Russ).
13. Ilyukhina AV, Kravchenko OV, Bulychev BM. Studies on microstructure of activated aluminum and its hydrogen generation properties in aluminum/water reaction. *Journal of Alloys and Compounds*. 2017;690:321–329. doi:10.1016/j.jallcom.2016.08.151.
14. Huang T, Gao Q, Liu D, et al. Preparation of Al-Ga-In-Sn-Bi quinary alloy and its hydrogen production via water splitting. *International Journal of Hydrogen Energy*. 2015;40(5):2354–2362. doi:10.1016/j.ijhydene.2014.12.034.
15. Ziebarth JT, Woodall JM, Kramer RA, Choi G. Liquid phase-enabled reaction of Al-Ga and Al-Ga-In-Sn alloys with water. *Int. J. Hydrogen Energy*. 2011;36(9):5271–5279. doi:10.1016/j.ijhydene.2011.01.127.
16. Patent RK № 34988/ 09.04.21. Byul. № 14. Sarmurzina RG, Boiko GI, Karabalin US, Tiyosov DS, Lyubchenko NP, Baigazyev MT, Boiko EA. *Alloy for hydrogen production and method of its preparation*. (In Russ).
17. Patent RK № 34806/ 22.07.19. Byul. № 3. Sarmurzina RG, Boiko GI, Karabalin US, Tiyosov DS, Lyubchenko NP, Baigazyev MT, Boiko EA, Mamutov ME. *Alloy for hydrogen production on the basis of aluminum and method of its preparation*.
18. Patent RK № 34807/ 22.01.21. Byul. № 3. Sarmurzina RG, Boiko GI, Karabalin US, Lyubchenko NP, Tiyosov DS, Baigazyev MT, Mamutov ME. *Alloy for hydrogen production on the basis of aluminum and the method of its preparation*.
19. Sarmurzina RG, Karabalin US, Tiessov DS, Lyubchenko NP, Baygaziev MT. Prospects of using hydrogen energy in technologies of complex oil treatment, destruction of abnormally stable water-oil emulsions and oil sludge. *Oil Gas Novations*. 2019;5(222):26–31. (In Russ).
20. Patent RK № 311164/ 16.05.16. Byul. № 5. Sarmurzina RG, Karabalin US, Dosmukhambetov MD, Iskaziev K, Boiko GI, Moldabekov BS, Lyubchenko NP. *Method of treatment of bottomhole formation zone*. (In Russ).
21. Baigazyev MT, Sarsenbekov ND, Boiko GI, et al. Study of impact of activated aluminum alloy on cores saturated with oil fields of Kazakhstan. *Petroleum industry*. 2018;7:68–89. doi:10.24887/0028-2448-2018-7-86-89. , (In Russ).

22. Eurasian Patent № 033942B1/ 12.12.19. Byul. № 7. Sarmurzina RG, Boiko GI, Lyubchenko NP, Baigaziyev MT, Karabalin US, Akchulakov BU, Kozyrev DV. *Method of oil sludge destruction*.

23. Patent RK № 33660/ 07.06.19. Byul. № 23. Sarmurzina RG, Boiko GI, Lyubchenko NP, Baigaziev MT, Karabalin US, Akchulakov BU, Kozyrev DV. *Method of oil sludge destruction*.

24. Patent RK № 33863/ 06.07.19. Byul. Sarmurzina RG, Boiko GI, Lyubchenko NP, Nabdollayev SE, Karabalin US, Akchulakov BU, Kozyrev DV, Boiko EA. *Method of extraction of non-ferrous metals from heavy oil raw materials*.

25. Patent RK № 34095/ 30.03.20. Byul. № 11. Boiko GI, Sarmurzina RG, Karabalin US, Tiessov DS, Lyubchenko NP, Nabdollaev SE., Boiko EA. *Method of removing sulfur from oil raw materials*.

26. Yang B, Zhu J, Jiang ., et al. Effect of heat treatment on Al-Mg-Ga-In-Sn alloy reaction for hydrogen generation through hydrolysis. *International Journal of Hydrogen Energy*. 2017;42(38):24393–24403. doi:10.1016/j.ijhydene.2017.07.091.

27. Kuznetsova VV, Loik AV. Energy storage substances as an alternative fuel for stationary and transport power plants. *Proceedings of the Moscow State Machine-Building University "MAMI"*. 2014;4(22):41–46. (In Russ).

28. Boiko GI, Sarmurzina RG, Lyubchenko NP, et al. Prospects of using active aluminium in hydrogen power engineering and oil and gas complex. *Proceedings of the World Congress of Engineers and Scientists "Energy of the Future: Innovative Scenarios and Methods of their Implementation" WSEC*. 2017;3:125–130. (In Russ).

29. Sarmurzina RG, Boiko GI, Baigaziyev M, et al. New generation of energy accumulating substances on the basis of activated aluminum. *Journal of chemical technology and metallurgy*. 2018;53(1):119–124.

30. Sarmurzina RG, Boiko GI, Lyubchenko NP, et al. Alloys for the production of hydrogen and active aluminum oxid. *National Academy of Sciences of the Republic of Kazakhstan. Series of geology and technical sciences 1*. 2022;1(451):91–98. doi:10.32014/2022.2518-170X.145.

31. Sarmurzina RG, Boiko GI, Lyubchenko NP, et al. Hydrogen obtaining from the system activated aluminum water. *National Academy of Sciences of the Republic of Kazakhstan. Series of geology and technical sciences 6*. 2022;6(456):196–213. doi:10.32014/2518-170X.249.

32. Lee CH, Tiwari B, Zhanga D, et al. Water purification: oil–water separation by nanotechnology and environmental concerns. *Environ. Sci.: Nano*. 2017;4:514–525. doi:10.1039/c6en00505e.

33. Boiko GI, Ziyaeva TR, Mukhamedova RF, et al. Humic acids and their polymeric forms as natural detoxicants of soil from oil pollution. *Theory and practice of chemical technology (Marushkin readings-VI)*. 2021;2:328–329. (In Russ).

34. Sarmurzina RG, Boiko GI, Kenzhaliyev BK, et al. Coagulants for water based on activated aluminum alloys. *Global J. Environ. Sci. Manage*. 2023;9(4):673–690. doi:10.22034/gjesm.2023.04.2.

35. Patent RK № 35912/ 21.10.22. Boiko GI, Sarmurzina RG, Galieva NP, Kenyaikin PV, Karabalin US, Tiessov DS, Boiko EA. *Method of treatment of oily wastewater*.

36. Patent RK № 35913/21.10.22. Boiko GI, Sarmurzina RG, Galieva NP, Kenyaikin PV, Karabalin US, Tiessov DS. *Method of treatment of oily wastewater*.

37. Patent RK № 36031/30.12.22. Boiko GI, Sarmurzina RG, Galieva NP, Kenyaikin PV, Karabalin US, Tiessov DS, Boiko LS. *Method of treatment of oily wastewater*.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ**Бойко Галина Ильясовна**

докт. хим. наук, профессор
ORCID 0000-0003-2719-7045
e-mail: g.boiko@satbayev.university.

Сармурзина Раушан Гайсиевна

докт. хим. наук, профессор
ORCID 0000-0002-9572-9712
e-mail: sarmurzina_r@mail.ru.

Галиева Нина Павловна

канд. хим. наук
ORCID 0000-0002-7133-808X
e-mail: amtek@bk.ru.

Карабалин Узукбай Сулейменович

докт. техн. наук, профессор
ORCID 0000-0002-7471-7851
e-mail: reception@kazenergy.com.

Тиесов Данияр Суиншликович

e-mail: cv@kpi.kz.

Аханова Танзиля Ринатовна

ORCID 0000-0002-8343-1150
e-mail: tanzilyazyayeva@gmail.com.

***Кеняйкин Павел Витальевич**

ORCID 0000-0002-4360-1573
e-mail: kenyaikin.p@gmail.com.

AUTHORS' INFO**Galina I. Boiko**

D. Sc. (Chemistry), professor
ORCID 0000-0003-2719-7045
e-mail: g.boiko@satbayev.university.

Raushan G. Sarmurzina

D. Sc. (Chemistry), professor
ORCID 0000-0002-9572-9712
e-mail: sarmurzina_r@mail.ru.

Nina P. Galiyeva

Cand. Sc. (Chemistry)
ORCID 0000-0002-7133-808X
e-mail: amtek@bk.ru.

Uzakbay S. Karabalin

D. Sc. (Engineering), professor
ORCID 0000-0002-7471-7851
e-mail: reception@kazenergy.com.

Daniyar S. Tiessov

e-mail: cv@kpi.kz.

Tanzilya R. Akhanova

ORCID 0000-0002-8343-1150
e-mail: tanzilyazyayeva@gmail.com.

***Pavel V. Kenyaikin**

ORCID 0000-0002-4360-1573
e-mail: kenyaikin.p@gmail.com.

*Автор, ответственный за переписку/Corresponding Author