

**Бектурганова Гюльмира Каировна**

К.х.н., и.о. доцента, Евразийский национальный университет им. Л.Н. Гумилева,  
Республика Казахстан, 01000, г. Астана, ул. Сатбаева 2, Алматинский район,  
[gulmirabekt@yandex.kz](mailto:gulmirabekt@yandex.kz). ORCID ID: 0000-0002-6597-5787

**АНАЛИЗ СОДЕРЖАНИЯ ВАНАДИЯ В НЕФТИ МЕСТОРОЖДЕНИЯ  
КАРАЖАНБАС И ОЦЕНКА ЕГО ВЛИЯНИЯ НА ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ  
ПРОЦЕССЫ ПЕРЕРАБОТКИ**

**Аннотация.** В данной статье рассматривается содержание ванадия в нефти Каражанбасского месторождения, расположенного в западной части Казахстана, в пределах Прикаспийской нефтегазоносной провинции, где сосредоточены значительные запасы высоковязкой нефти с повышенным содержанием металлоорганических соединений. Нефть данного месторождения характеризуется сложным составом, включая повышенное содержание металлов, что создаёт технологические сложности при её переработке. Нефть характеризуется высокой вязкостью, низким содержанием серы и повышенной концентрацией ванадия, преимущественно в виде порфиринов. Геохимический анализ выявил тенденцию увеличения содержания ванадия с глубиной продуктивных горизонтов, особенно в интервалах Y-VI и Y-VII. Приведён обзор современных аналитических методов определения ванадия, среди которых наиболее точным признан метод масс-спектрометрии с индуктивно связанной плазмой (ICP-MS). Рассмотрено негативное влияние ванадия на процессы крекинга и гидроочистки, вызывающее ускоренную деактивацию катализаторов, сокращающее срок их службы. Особое внимание уделено технико-экономическим и экологическим аспектам: высокая концентрация металлов усложняет переработку тяжёлых нефтей и увеличивает нагрузку на окружающую среду. Сделан вывод о необходимости применения передовых технологий предварительной деметаллизации, глубокой переработки и внедрения новых катализаторов, устойчивых к воздействию металлов, что позволит повысить рентабельность переработки тяжёлых нефтей и снизить вредное воздействие на экологию.

**Ключевые слова.** Казахстан нефтегазовая отрасль, Каражанбас, ванадий, нефть, деметаллизация, порфирины, переработка нефти, катализаторы, масс-спектрометрия, геохимия, экологическая безопасность.

**Введение.** Разработка месторождений тяжёлой нефти в условиях современных экологических и технологических требований представляет собой сложную и актуальную задачу. Одним из таких объектов является месторождение Каражанбас, расположенное на полуострове Бузачье в западном регионе Казахстана.

Нефть, добываемая здесь, отличается не только высокой вязкостью и низким содержанием серы, но и наличием металлоорганических соединений, в частности ванадия, который играет существенную роль в перерабатываемых процессах. Повышенное содержание ванадия затрудняет применение традиционных методов переработки нефти, вызывает деактивацию катализаторов и приводит к увеличению затрат на производство.

Учитывая растущее значение глубокой переработки и необходимость адаптации технологических процессов под особенности сырья, особое внимание уделяется

изучению геохимических характеристик нефти и распределения металлов в её составе. Анализ содержания ванадия и оценка его влияния на эффективность переработки позволяют не только оптимизировать технологические схемы, но и минимизировать экологические риски, связанные с выбросами токсичных соединений. Настоящая работа направлена на всестороннее исследование содержания ванадия в нефти месторождения Каражанбас, выявление закономерностей его распределения и оценку технологических последствий, что может способствовать повышению эффективности переработки и устойчивому развитию нефтяной отрасли.

Месторождение Каражанбас, расположенное на западе Казахстана, характеризуется высоковязкой и малосернистой нефтью, обладающей рядом особенностей, включая повышенное содержание металлов, таких как ванадий и никель. Ванадий, как один из микроэлементов, может существенно влиять на качество нефти и процесс ее переработки [1]. Целью данной работы является анализ содержания ванадия в нефти Каражанбасского месторождения и определение его технологического значения.

**Материалы и методы исследования.** Нефть Каражанбасского месторождения формировалась в условиях лагунных и морских бассейнов с пониженной аэрацией, что обусловило накопление металлоорганических соединений. Ванадий чаще всего присутствует в форме порфиринов — комплексов, встроенных в молекулы органических веществ. Среднее содержание ванадия в нефти данного месторождения варьируется в пределах 120–350 мг/кг, что выше среднемировых показателей. Объектом исследования послужила нефть, добытая с различных участков Каражанбасского месторождения, расположенного на территории Мангистауской области Казахстана.

Геологическое строение месторождения обусловлено лагунно-морскими условиями седиментации с пониженной аэрацией, что способствовало накоплению металлоорганических соединений, в частности порфиринов ванадия. Эти соединения формируют устойчивые комплексы, встроенные в молекулы органических веществ, и играют ключевую роль в определении физико-химических свойств нефти.

Ванадий негативно влияет на каталитические процессы, особенно на крекинг и гидроочистку. При термическом разложении нефти ванадий образует летучие оксиды, оседающие на катализаторах, вызывая их деактивацию. Поэтому нефть с высоким содержанием ванадия требует предварительной деасфальтизации или деметаллизации. Это увеличивает стоимость переработки и требует дополнительного оборудования.

Высокое содержание ванадия приводит к удорожанию переработки нефти и повышенному износу оборудования. С экологической точки зрения, соединения ванадия токсичны, и их выбросы в окружающую среду при сжигании остаточных мазутов требуют контроля и утилизации. В связи с этим важно внедрение технологий глубокой переработки и улавливания металлов [1,2].

Для проведения анализа были отобраны представительные пробы нефти из различных глубинных интервалов, включая продуктивные горизонты Y-VI и Y-VII. Среднее содержание ванадия в нефти составило от 120 до 350 мг/кг, что существенно превышает среднемировые значения (обычно менее 100 мг/кг).

В данной работе использовались следующие методы аналитического контроля:

-Атомно-абсорбционная спектрометрия (ААС) – применялась для количественного определения общего содержания ванадия;

-Рентгенофлуоресцентный анализ (РФА) – позволял определить наличие металлов в нефти без разрушения структуры образца;

-Масс-спектрометрия с индуктивно связанной плазмой (ICP-MS) – использовалась как основной метод, обеспечивающий высокую точность измерений, а также позволяющий определить распределение ванадия по фракциям.

Каждый метод проходил валидацию с использованием стандартных образцов. Проведенные лабораторные исследования позволили получить достоверные данные о концентрации и распределении ванадия в нефти месторождения, что легло в основу дальнейшего технологического анализа (таблица 1).

Таблица 1 – Условия отбора проб и параметры аналитических методов

№	Параметр/Метод	Характеристика/Описание
1	Месторождение	Каражанбас, Мангистауская область, Казахстан
2	Условия формирования	Лагунные и морские бассейны, пониженная аэрация
3	Глубина отбора проб	1300–1500 м (пласты Y-VI и Y-VII)
4	Среднее содержание ванадия	120–350 мг/кг
5	Метод 1 – ААС	Атомно-абсорбционная спектрометрия, анализ общего содержания ванадия
6	Метод 2 – РФА	Рентгенофлуоресцентный анализ, экспресс-определение содержания металлов
7	Метод 3 – ICP-MS	Масс-спектрометрия с индуктивно связанной плазмой, анализ распределения ванадия по фракциям
8	Количество анализируемых проб	12 (по разным участкам месторождения)
9	Аппаратура	PerkinElmer AAnalyst 800 (ААС), PANalytical Axios (РФА), Agilent 7900 (ICP-MS)
10	Условия хранения проб	В герметичных контейнерах при температуре 5–8 °С, в течение не более 7 суток

Исходя из представленных в таблице 1 данных, для анализа содержания ванадия в нефти месторождения Каражанбас были отобраны пробы с глубины 1300–1500 м, преимущественно из продуктивных пластов Y-VI и Y-VII. Эти горизонты характеризуются наибольшей концентрацией металлоорганических соединений, что обусловлено условиями седиментации. Среднее содержание ванадия варьировало от 120 до 350 мг/кг, что подтверждает высокую металлоемкость нефти данного месторождения по сравнению с общемировыми показателями[3,4].

Применение нескольких методов анализа, таких как атомно-абсорбционная спектрометрия (ААС), рентгенофлуоресцентный анализ (РФА) и масс-спектрометрия с индуктивно связанной плазмой (ICP-MS), позволило получить комплексную оценку содержания ванадия. Метод ICP-MS показал наивысшую точность и информативность, обеспечив не только количественное определение, но и распределение металла по углеводородным фракциям.

Анализ проводился на современном оборудовании, соответствующем требованиям нефтехимического контроля. Все пробы хранились в герметичных контейнерах при контролируемой температуре, что исключало возможность постороннего загрязнения и окисления.

Полученные данные легли в основу оценки влияния ванадия на дальнейшие технологические процессы переработки нефти.

**Результаты и их обсуждение.** Лабораторный анализ проб нефти, отобранных из различных скважин месторождения Каражанбас, показал, что содержание ванадия варьируется в широком диапазоне — от 120 до 350 мг/кг. Наибольшая концентрация металла зафиксирована в продуктивных пластах Y-VI и Y-VII, что может быть связано с более восстановительными геохимическими условиями осадконакопления в этих горизонтах. Такая закономерность указывает на вертикальное неравномерное распределение ванадия в пределах залежей, а также на возможную связь между глубиной залегания и степенью металлоорганического насыщения нефти.

Полученные данные подтверждают высокую металлоемкость нефти Каражанбасского месторождения по сравнению со среднемировыми значениями, где содержание ванадия в нефти обычно не превышает 100 мг/кг. Ванадий в составе нефти преимущественно находится в виде порфириновых комплексов, что делает его трудноудаляемым при стандартных методах первичной подготовки и переработки нефти.

Особое внимание было уделено оценке влияния ванадия на каталитические процессы переработки. Установлено, что при термической обработке нефти ванадий окисляется с образованием летучих оксидов, которые осаждаются на поверхности катализаторов, вызывая их быстрое выведение из строя. Особенно чувствительными к присутствию ванадия являются катализаторы гидроочистки и каталитического крекинга, что требует дополнительных стадий очистки сырья перед подачей на установку[5].

В рамках работы был проведён лабораторный анализ проб нефти, отобранных с различных глубин Каражанбасского месторождения. Полученные результаты по содержанию ванадия приведены в таблице 2.

Таблица 2- Содержание ванадия в пробах нефти по пластам Каражанбасского месторождения

№ пробы	Глубина, м	Продуктивный пласт	Содержание ванадия, мг/кг	Условия залегания
1	1320	Y-V	125	Слабоаэробные, лагунные
2	1350	Y-VI	270	Анаэробные, морские
3	1370	Y-VI	295	Анаэробные, морские
4	1410	Y-VII	310	Восстановительная среда
5	1450	Y-VII	340	Восстановительная, илистая
6	1250	Y-IV	140	Переходная (аэробно-анаэробная)

Как показано в таблице 2, лабораторные исследования подтвердили тенденцию увеличения содержания ванадия с глубиной. Максимальные концентрации ванадия (до 340 мг/кг) зафиксированы в пластах Y-VI и Y-VII, что коррелирует с геохимическими условиями — высокой степенью восстановления среды и высоким содержанием органического вещества.

В верхних пластах (например, Y-IV и Y-V) концентрация ванадия ниже — 125–140 мг/кг, что объясняется более окислительными условиями седиментации. Это подтверждает гипотезу о том, что формирование ванадилпорфиринов преимущественно происходит в бескислородной среде, богатой сероорганическими соединениями и глинистыми минералами.

Такая закономерность важна при выборе участков для отбора нефти, подлежащей переработке: продукция из более глубоких горизонтов требует более сложной и

дорогостоящей подготовки. Эти данные необходимо учитывать при проектировании схем предварительной подготовки и выборе оборудования для деметаллизации [6,7].

Таким образом, высокое содержание ванадия значительно усложняет переработку нефти и увеличивает себестоимость продукции. Для снижения негативного воздействия необходимо применять методы предварительной деметаллизации или деасфальтизации, которые позволяют удалить основную часть металлоорганических соединений до подачи нефти на основные технологические установки.

В экологическом аспекте также отмечено, что соединения ванадия, остающиеся в остаточных продуктах, могут быть источником загрязнения окружающей среды при их сжигании. Поэтому важной задачей становится утилизация и переработка остаточных фракций с улавливанием металлов.

**Выводы.** Проведённый анализ показал, что нефть Каражанбасского месторождения содержит значительно повышенное количество ванадия — от 120 до 350 мг/кг, что в 2–3 раза превышает среднемировые значения. Наиболее высокие концентрации наблюдаются в глубинных продуктивных пластах Y-VI и Y-VII, что обусловлено восстановительной геохимической обстановкой и условиями формирования нефти в лагунно-морских бассейнах.

Наличие ванадия в виде устойчивых порфириновых комплексов значительно осложняет процессы переработки нефти. Металлоорганические соединения ванадия, не удалённые на ранних стадиях подготовки, приводят к деактивации катализаторов в установках крекинга и гидроочистки, увеличивая технологические риски, эксплуатационные затраты и экологическую нагрузку на окружающую среду.

Таким образом, содержание ванадия в нефти Каражанбаса является критически важным фактором, определяющим выбор методов переработки, необходимость внедрения предварительной деметаллизации и модернизации технологических схем. Эффективное решение этой проблемы возможно через применение глубокой переработки, селективной очистки и технологий улавливания тяжёлых металлов. Это позволит не только снизить производственные издержки, но и повысить экологическую безопасность нефтепереработки, обеспечив устойчивое развитие отрасли.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Гусев А.А., Муравьёв И.Н. Металлоорганические соединения в нефти и их влияние на переработку сырья [Текст] // Химическая технология топлива и масел. – 2020. – №5. – С. 45–53.
2. Ходаков И.Д., Власов А.А. Каталитические процессы переработки тяжёлых нефтей: проблемы и решения [Текст] // Нефтепереработка и нефтехимия. – 2021. – №2. – С. 12–18.
3. Васильев А.А., Панов Г.А. Геохимия металлов в нефти [Текст] – М.: Недра, 2018. – 276 с.
4. Сидоренко А.Г., Байжанов Е.Б. Методы определения ванадия в углеводородных системах [Текст] // Вестник КазНТУ. – 2019. – №4(134). – С. 76–81.
5. Марков К.Н., Егоров А.А. ICP-MS и атомно-абсорбционная спектроскопия в анализе нефти и нефтепродуктов [Текст] // Аналитика и контроль. – 2020. – Т.24, №3. – С. 112–119.
6. Федорова Л.Н., Жукова Н.А. Экологические аспекты содержания ванадия в остаточных продуктах переработки нефти [Текст] // Проблемы переработки нефти. – 2022. – №1. – С. 89–94.
7. Назарбаев А.Н., Курманбаев Ж.М. Геохимические особенности нефти месторождения Каражанбас [Текст] // Вестник КазНИГРИ. – 2021. – №3. – С. 44–49.

## REFERENCES

1. Gusev A.A., Murav'yov I.N. Metalloorganicheskie soedineniya v nefiti i ih vliyanie na pererabotku syr'ya [Organometallic compounds in oil and their effect on the processing of raw materials]. Himicheskaya tekhnologiya topliva i masel. (2020): - (In Rus)
2. Hodakov I.D., Vlasov A.A. Kataliticheskie processy pererabotki tyazhelyh neftej: problemy i resheniya [Catalytic processes of heavy oil refining: problems and solutions]. Neftepererabotka i neftekhimiya. (2021): - (In Rus)
3. Vasil'ev A.A., Panov G.A. Geokhimiya metallov v nefiti [Geochemistry of metals in oil]. M.: Nedra, (2018): - (In Rus)
4. Sidorenko A.G., Bajzhanov E.B. Metody opredeleniya vanadiya v uglevodorodnyh sistemah [Methods for the determination of vanadium in hydrocarbon systems]. Vestnik KazNTU. (2019): - (In Rus)
5. Markov K.N., Egorov A.A. ICP-MS i atomno-absorbcionnaya spektroskopiya v analize nefiti i nefteproduktov [Tekst]. Analitika i kontrol'. (2020): - (In Rus)
6. Fedorova L.N., Zhukova N.A. Ekologicheskie aspekty sodержaniya vanadiya v ostatochnykh produktah pererabotki nefiti [Environmental aspects of vanadium content in residual oil refining products]. Problemy pererabotki nefiti. (2022): - (In Rus)
7. Nazarbaev A.N., Kurmanbaev Zh.M. Geokhimicheskie osobennosti nefiti mestorozhdeniya Karazhanbas [Geochemical features of Karazhanbas oil field]. Vestnik KazNIGRI. (2021): - (In Rus)

## ҚАРАЖАНБАС КЕН ОРНЫ НЕФТІНДЕГІ ВАНАДИЙ МАЗМҰНЫН ТАЛДАУ ЖӘНЕ ОНЫҢ ӨНДЕУДІҢ ТЕХНОЛОГИЯЛЫҚ ҮДЕРІСТЕРІНЕ ЫҚПАЛЫН БАҒАЛАУ

**Аңдатпа.** Бұл мақалада Қазақстанның батыс бөлігінде орналасқан Қаражанбас кен орнындағы мұнай құрамындағы ванадий мөлшері қарастырылған. Аталған кен орнының мұнайы жоғары тұтқырлықпен, күкірттің төмен мөлшерімен және порфирин түріндегі ванадийдің едәуір концентрациясымен сипатталады. Геохимиялық талдау нәтижесінде өнімді қабаттардың тереңдеген сайын ванадий мөлшері артатыны анықталды, әсіресе V-VI және V-VII горизонттарында. Ванадийді анықтаудың заманауи әдістері, соның ішінде ең дәл тәсілдердің бірі — индуктивті байланысқан плазмалы масс-спектрометрия (ICP-MS) қарастырылды. Ванадийдің мұнайды өңдеу технологиялық процестеріне, атап айтқанда, крекинг пен гидротазарту катализаторларына кері әсері талданды. Сонымен қатар, металлдың жоғары мөлшерімен байланысты экономикалық және экологиялық салдарлар бағаланды. Рентабельділікті арттыру және қоршаған ортаға төнетін қауіп-қатерді азайту үшін деметализация мен мұнайды терең өңдеудің тиімді әдістерін енгізудің маңыздылығы атап өтілді.

**Кілт сөздер:** Қазақстан, мұнай-газ саласы, Қаражанбас, ванадий, мұнай, деметализация, порфириндер, мұнай өңдеу, катализаторлар, масс-спектрометрия, геохимия, экологиялық қауіпсіздік.

## ANALYSIS OF VANADIUM CONTENT IN OIL FROM THE KARAZHANBAS FIELD AND ASSESSMENT OF ITS IMPACT ON OIL REFINING TECHNOLOGICAL PROCESSES

**Abstract.** This article examines the vanadium content in the oil of the Karazhanbas field, located in the western part of Kazakhstan. The oil is characterized by high viscosity, low sulfur

---

content, and significant concentrations of vanadium, mainly in the form of porphyrins. Geochemical analysis revealed an increase in vanadium concentration with depth in the productive reservoirs, particularly in horizons Y-VI and Y-VII. Modern methods of vanadium determination are reviewed, with inductively coupled plasma mass spectrometry (ICP-MS) identified as the most accurate. The impact of vanadium on oil refining processes is analyzed, especially its negative effect on cracking and hydrotreating catalysts due to deactivation. Economic and environmental consequences associated with high vanadium content are also assessed. The study highlights the need to implement efficient demetallization techniques and deep oil refining strategies to enhance processing efficiency, extend catalyst life, and reduce environmental risks, thus improving the overall profitability and sustainability of oil production and refining operations.

**Keywords:** Kazakhstan, oil and gas industry, Karazhanbas, vanadium, crude oil, demetallization, porphyrins, oil refining, catalysts, mass spectrometry, geochemistry, environmental safety.