

Бузова Ольга Васильевна

к.т.н., доцент, филиал в г Оренбург

РГУ нефти и газа (НИУ) имени И.М. Губкина

Buzova Olga Vasilyevna

Candidate of Technical, Sciences, Associate Professor, Branch in Orenburg

The Gubkin Russian State University

of Oil and Gas (National University)

Горшкова Полина Сергеевна, студент, филиал в г Оренбург

РГУ нефти и газа (НИУ) имени И.М. Губкина

Gorshkova Polina Sergeevna, Student, Branch in Orenburg

The Gubkin Russian State University of Oil and Gas (National University)

ОСОБЕННОСТИ ФАЗООБРАЗОВАНИЯ В ВАНАДИЙСОДЕРЖАЩИХ НЕФТЯНЫХ СИСТЕМАХ FEATURES OF PHASE FORMATION IN VANADIUM-CONTAINING PETROLEUM SYSTEMS

Аннотация. В приведённой работе рассматривается отечественная гидрометаллургическая технология извлечения ванадия из тяжёлых нефтей и остатков (радиационная активация, ультразвук, сорбция) с извлечением до 96%, модифицирующая коллоидную структуру сырья и снижающая коксообразование. Установлена роль ванадилпорфиринов в стабилизации нефтяных дисперсных систем.

Abstract. The work presents a domestic hydrometallurgical technology for vanadium extraction from heavy oils and residues (radiation activation, ultrasound, sorption) with up to 96% recovery, modifying the colloidal structure and reducing coke formation. The role of vanadyl porphyrins in stabilizing petroleum disperse systems is established.

Ключевые слова: Ванадий, нефтяные дисперсные системы, асфальтены, ванадилпорфирины, сорбционное концентрирование, радиационно-химическая активация.

Keywords: Vanadium, petroleum disperse systems, asphaltenes, vanadyl porphyrins, sorption concentration, radiation-chemical activation.

Ванадий (V) – редкий металл, ценный для аэрокосмической, машиностроительной и оборонной отраслей благодаря прочности и коррозионной стойкости [1]. Основные запасы ванадия содержатся в нефти и нефтяных коксах [2].

Российские нефти, особенно тяжелые и высоковязкие, богаты ванадием, который является ценным попутным компонентом, но усложняет добычу и переработку [1]. Лидером по содержанию ванадия в России является Ярегское месторождение в Коми, где в золе тяжелой нефти его концентрация достигает 40-65% [2]. Нефти Волго-Уральской провинции (Татарстан, Башкортостан) содержат 5-25% пятиоксида ванадия [3]. Повышенное содержание ванадия также встречается в нефтях Оренбургской области и Удмуртии [3, 4].

Ванадий, в основном в форме ванадилпорфиринов, играет ключевую роль в формировании и стабилизации нефтяных дисперсных систем (НДС), влияя на их коллоидно-химические свойства [4]. Он тесно связан с асфальтенами: высокое содержание ванадия коррелирует с увеличением количества и размера частиц асфальтенов, формируя развитую коллоидную структуру [5]. При низких концентрациях ванадия асфальтены образуют растворы. Ванадийсодержащие комплексы выступают центрами ассоциации асфальтенов [5]. Структурные элементы асфальтенов и металлопорфирины участвуют в создании НДС, которые могут разрушаться при высоких температурах [4].

Извлечение ванадия из нефтяных остатков (мазута, гудрона) обычно происходит из золы или кокса. Пирометаллургический метод включает сплавление золы с солями при 800-900°C, выщелачивание ванадата натрия и осаждение оксида ванадия [3]. Альтернативным



процессом извлечения и обеспечения высокой степени концентрирования ванадия из сложной органической матрицы предложена комбинированная технология, включающая предварительную радиационную активацию образцов гамма-излучением (~4.1 Мрад) с последующим кислотным или щелочным разложением в ультразвуковом поле (2.6 МГц) [1]. Ключевым этапом является селективное сорбционное концентрирование, реализуемое по схеме группового удаления сопутствующих катионов на катионите КУ-2-8 с последующей высокоэффективной сорбцией ванадия (V) на оксиде алюминия или комплексобразующем сорбенте ПАР-1 (эффективность до 96%) [2]. Последующая десорбция 3 М NaOH позволяет перевести целевой компонент в раствор для финального определения [2]. Восстановление ионов ванадия до металлической формы с наибольшим выходом осуществляется гипофосфитом натрия, в качестве альтернативы исследуется радиационно-химическое восстановление продуктами радиолитического разложения воды [2]. Для аналитического контроля разработан высокочувствительный метод люминесцентного титрования с резорцином (предел обнаружения до $1 \cdot 10^{-100}$), эффективность которого, как и других инструментальных методов (ААС, НАА), существенно повышается за счет предложенной схемы пробоподготовки, обеспечивающей концентрирование ванадия на 1–2 порядка [2]. Считается, что действие окислителей приводит не столько к окислению центрального иона металла, сколько к дестабилизации самих ванадиловых комплексов [1]. Это подтверждается значительным изменением дисперсности системы: удаление ванадия сопровождается резким уменьшением среднего размера частиц, что свидетельствует о распаде крупных ассоциатов и образовании структур с меньшей дисперсностью [1].

Извлечение ванадия из высоковязких нефтей, битумов и, в особенности, из вторичных нефтепродуктов (коксов, шламов, тяжелых остатков) является экономически и экологически императивом, позволяющим трансформировать токсичные отходы нефтепереработки в стратегически важный металлургический ресурс [1, 2]. Процесс его селективного выделения, основанный на радиационно-химической активации, ультразвуковом воздействии и последующей сорбции, индуцирует направленное фазообразование: разрушаются стабильные ванадилпорфириновые комплексы, ассоциированные с асфальтенами, что приводит к фазовому переходу металла из органорастворимой формы в водорастворимые ионные состояния (VO^{2+} , ванадаты) [1]. Это не только извлекает ценный компонент, но и модифицирует коллоидную систему нефтяного остатка – снижается стабилизирующее действие металлокомплексов, потенциально уменьшая склонность к агрегации асфальтенов и образованию кокса, что вторично оптимизирует технологические параметры дальнейшей переработки остаточного сырья [1].

Таким образом, ванадий – ключевой металл-примесь в российских нефтях (Ярегское, Волго-Уральское) [2, 3], образующий стабильные ассоциаты с асфальтенами (ванадилпорфирины) [4], что требует его комплексного извлечения. Существующие пирометаллургические методы [2] могут быть дополнены или заменены инновационной гидрометаллургической технологией (радиационно-химическая активация, ультразвук, сорбция) [1]. Она обеспечивает до 96% извлечения ванадия в водорастворимые формы, модифицирует остаточное сырье, снижая коксообразование [1]. Это превращает проблему токсичных отходов в возможность получения ценного сырья [1, 2].

Список литературы:

1. Горшкова, П. С. Влияние ванадия на процесс фазообразования нефтяной дисперсной системы / П. С. Горшкова, О. В. Бузова. – Текст: непосредственный // Молодой ученый. – 2026. – № 3. – С. 1-3.
2. Байманова А.Е. Изучение вопросов техногенной миграции элементов тяжелых металлов из состава нефтей / А.Е. Байманова, А.У. Рсымбетова, Г.И. Сабирова, С.А. Айткельдиева, Л.Б. Сейлова // Научно-технологическое развитие нефтегазового комплекса: Доклады V Международных научных Надировских чтений. – Алматы, Актобе, 2007. – С. 442–446.



3. Гарушев А.Р. Высоковязкие нефти – сырье для нефтепереработки и металлургии / А.Р. Гарушев, М.Ю. Маликова, Ю.И. Сташок // Нефтяное хозяйство. – 2007. – № 11. – С. 70–71.
4. Маслов А.В. Коэффициенты вариации содержания элементов-примесей в сырых нефтях некоторых месторождений Волго-Уральской области и Западной Сибири / А.В. Маслов, Ю.Н. Федоров, Ю.Л. Ронкин, О.П. Лепихина, К.Ш. Биглов // Литология и геология горючих ископаемых. – Екатеринбург: УГГУ, 2010. – С. 230–242.
5. Пунанова С.А. Геохимические особенности распределения микроэлементов в нафтидах и металлоносность осадочных бассейнов СНГ / С.А. Пунанова // Геохимия. – 1998. – № 9. – С. 959–972

