

свободно-конвективного теплообмена // Химическое и нефтегазовое машиностроение. 2013. № 12. С. 3–6.

2. Маршалова Г. С. Тепловой расчет и проектирование аппаратов воздушного охлаждения с вытяжной шахтой. дис. ... канд. техн. наук: 01.04.14 / Г. С. Маршалова. – Минск, 2019. – 153 с.

3. Данильчик Е. С. Повышение эффективности теплообменников воздушного охлаждения при свободно-конвективном теплообмене. дис. ... канд. техн. наук: 01.04.14 / Е. С. Данильчик. – Минск, 2022. – 194 с.

УДК 658.567.1

**М.Е. Евдокимова**

Санкт-Петербургский горный университет императрицы Екатерины II  
Санкт-Петербург, Россия

## **ВОЗМОЖНОСТЬ ПРИМЕНЕНИЯ ТИТАНОВОГО ШЛАМА ДЛЯ ПОЛУЧЕНИЯ КОАГУЛЯНТА**

*Аннотация.* Утилизация отходов переработки руд цветных металлов является важным фактором устойчивого развития минерально-сырьевого комплекса. В исследовании рассматривается титановой шлам как сырье для производства коагулянта на основе титана. Экспериментально подтверждена эффективность титансодержащего коагулянта по снижению мутности сточных вод.

**M.E. Evdokimova**

Empress Catherine II Saint Petersburg Mining University  
St Petersburg, Russia

## **FEASIBILITY OF USING TITANIUM SLUDGE FOR COAGULANT PRODUCTION**

*Abstract.* The utilization of waste generated from processing non-ferrous metal ores is an important factor for the sustainable development of the mineral resource complex. This study examines titanium sludge as a raw material for the production of a titanium-based coagulant. The effectiveness of the titanium-containing coagulant in reducing the turbidity of wastewater has been experimentally confirmed.

Получение товарных продуктов посредством утилизации отходов переработки руд цветных металлов является ключевым условием обеспечения устойчивого развития объектов минерально-

сырьевого комплекса (МСК). Металлургическая промышленность, как одна из материально- и энергоемких отраслей МСК, является источником значительного количества отходов в результате интенсивного использования ресурсов. Значительная часть отходов представлена шлаками, шламами, пылью и иными побочными продуктами, которые, по традиционному методу обращения с подобными отходами, располагаются в открытых накопителях – хвостохранилищах, шлакоотвалах и шламонакопителях. Таким образом, открытое размещение отходов, с одной стороны, формирует гидрогоехимические ореолы и потоки загрязнения, которые ответственны за привнесение в среду загрязнителей и деградацию экосистем, и, с другой стороны, является новым, техногенным месторождением полезных ископаемых, разработка которого способствует развитию отходоперерабатывающей отрасли, снижению загрязнения окружающей среды и экономии материально-технических ресурсов.

Одним из путей утилизации подобных отходов является их использование в качестве сырья для получения коагулянтов [1]. Так в работе рассматривается отход – осадок нейтрализации известковым молоком растворов кислотного травления титана и промывных вод (титановый шлам). Целью работы является определение оптимальных условий выщелачивания титанового шлама для получения коагулянта на основе титана. Цель исследования достигается решением следующих задач: произвести расчеты и экспериментально определить необходимые объемы растворителей для выщелачивания при перемешивании; подобрать оптимальный раствор выщелачивания, при котором достигается максимум перехода титана в раствор из отходов; оценить эффективность титанового коагулянта на модельных растворах.

Процесс получения коагулянта на основе титана базируется на изучении исходных свойств титанового шлама. Химический и фазовый состав отхода установлен методами рентгенофлуоресцентного и рентгеноструктурного анализов. В ходе проведения эксперимента установлено, что выщелачивание необходимо проводить в две стадии: предварительное разложение карбоната кальция слабым раствором соляной кислоты с последующим извлечением титана из осадка растворами 20%-й и 30%-й соляной кислоты, а также смесью соляной и азотной кислот (царской водкой) в соотношении 3:1. Параметры процессов включают варьирование времени, температуры и объемного соотношения твердой фазы и жидкости. Концентрация титана в фильтрате контролировалась методом атомно-эмиссионной спектрометрии.

Результат проведенных экспериментов показал, что максимальная степень извлечения титана при использовании 20–30% HCl колеблется в диапазоне 30-32% при времени процесса от 1 до 8 часов, а повышение температуры выше 40°C приводит к снижению эффективности выщелачивания из-за перекристаллизации титансодержащих соединений.

Раствор царской водки способен обеспечить наиболее высокую степень выщелачивания титана за 1 час при комнатной температуре (40,7°C), что свидетельствует о более рациональном протекании процесса.

В результате процесса выщелачивания был получен коагулянт – хлорид титана (IV), который в водных растворах гидролизуется с образованием оксихлоридов титана [2]. Эффективность коагулянта оценивалась на модельных растворах мутности. Результаты показали, что титановый коагулянт имеет высокую коагулирующую активность по отношению к взвешенным частицам и способствует снижению мутности до нормативных значений в дозировке 0,76 мг/дм<sup>3</sup>, а при дозировке 1,1 мг/дм<sup>3</sup> снижение мутности достигает 89%.

Таким образом, экспериментально подтверждена высокая эффективность использования отходов титанового производства для получения коагулянта, пригодного для очистки сточных вод. Полученные результаты лабораторных экспериментов свидетельствуют о целесообразности и перспективности применения данных отходов в качестве сырья для выпуска коагулянтов.

### **Список использованных источников**

1. Кузин, Е. Н. Получение и применение комплексного титансодержащего коагулянта из кварц-лейкоксенового концентрата / Е. Н. Кузин // Записки Горного института. – 2024. – Т. 267. – С. 413-420.
2. Gan, Y. Potential of titanium coagulants for water and wastewater treatment: Current status and future perspectives / Y.Gan, J.Li, L.Zhang [et al.] // Chemical Engineering Journal. - 2021. - Vol. 406. - P. 126837. DOI: 10.1016/j.cej.2020.126837.