

магнетита извлечение ильменита и титанаугита возрастает примерно на 20%.

Из рис. 2 (а) и (б) видно, что в присутствии олеата натрия извлечение ильменита больше, чем титанаугита, поэтому магнитные свойства ильменита гораздо сильнее, чем у титанаугита. Таким образом, в присутствии олеата натрия магнетит обеспечивает лучшую намагничиваемость ильмениту, чем титанаугиту. Однако разность в извлечении ильменитом и титанаугитом не превышает 30%, что затрудняет их разделе-

ние. Также показано, что при добавлении силиката натрия извлечение ильменита практически не изменяется как при изменении величины рН, так и в зависимости от концентрации олеата натрия, а извлечение титанаугита в этих условиях заметно падает. Разность в извлечении ильменита и титанаугита возрастает до 53%. Таим образом силикат натрия избирательно влияет магнитные свойства поверхности ильменита и титанаугита, что приводит к улучшению эффективности их извлечения.

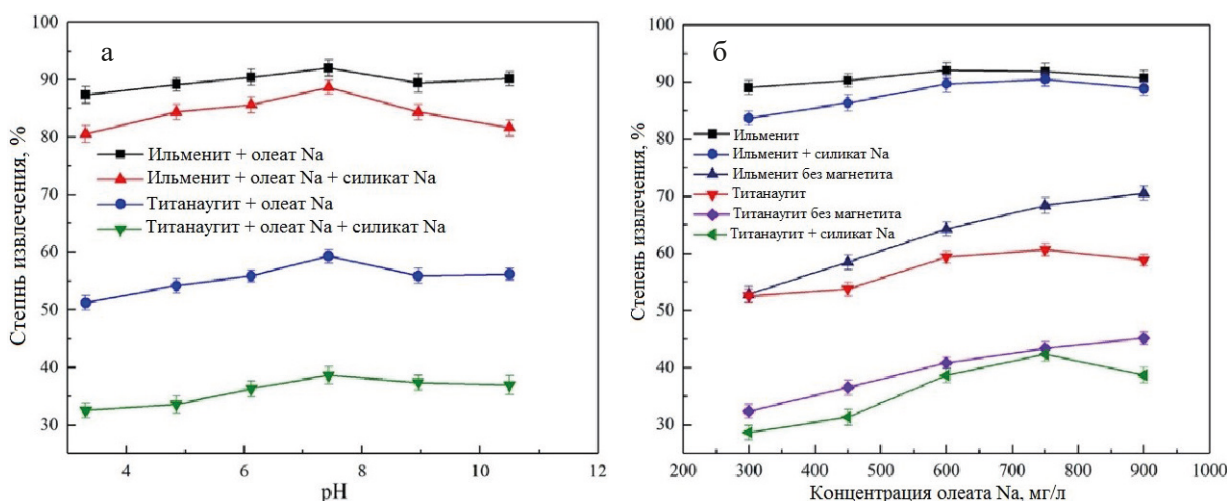


Рис. 1. Извлечение ильменита и титанаугита методом магнитной сепарации в зависимости от рН (а) и концентрации олеата Na (б) (а – олеат Na 600 мг/л, силикат Na 125 мг/л; б – рН 7,4, 125 мг/л силиката Na)

### Список литературы

1. Samal S., Mohapatra B.K., Mukherjee P.S., Chatterjee S.K. // *J. Alloys Compd.*, 2009. – №474. – P. 484–489.
2. Zhai J., Chen P., Wang H., Hu Y., Sun W. // *Minerva*, 2017. – №1. – P. 13.
3. Kothari N.C. // *Int. J. Miner. Process*, 1974. – №1. – P. 287–305.
4. Fan X., Rowson N.A. // *Dev. Chem. Eng. Miner. Process*, 2000. – №8. – P. 167–182.

## ФЛОТАЦИОННОЕ ОБОГАЩЕНИЕ ИЛЬМЕНИТОВЫХ РУД ИЗ ВЬЕТНАМА

Ш.Х. Ле, Т.Б. Киеу, В.А. Карелин

Научный руководитель – д.т.н., профессор ОЯТЦ ТПУ В.А. Карелин

Национальный исследовательский Томский политехнический университет  
634050, Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30, son.hut2006@gmail.com

Титан, благодаря сильным антикоррозионным свойствам и свойствам покрытий, играет исключительную роль в различных областях, таких как защита окружающей среды, медицинские устройства, аэрокосмическая, транспортная и военная промышленность [1–3]. За счет

постоянного потребления рутила ильменитовая руда становится основным сырьем для титановой промышленности [4]. Для обогащения ильменитовых руд обычно применяют методы гравитационной, электромагнитной и электростатической сепарации.

Обычно ильменит в рудах из Вьетнама представлен в виде частиц малого размера – песков, поэтому флотация, являющаяся одним из основных методов разделения, нашла наиболее широкое распространение в процессе обогащения ильменитовых руд [2]. В различных диапазонах pH катионы  $Fe^{2+}$  и  $Ti^{4+}$ , находящиеся на поверхности ильменита, могут взаимодействовать с анионным собирателем. Однако только половина катионов этих металлов, находящихся на поверхности частиц ильменита, выполняет роль активных центров, поэтому эффективность их взаимодействия с коллектором резко снижается. Поэтому, флотационные свойства ильменита в обычных условиях флотации по сравнению с другими оксидными минералами, такими как магнетит и рутил, даже при большом избытке коллектора очень плохие.

Для улучшения флотационных свойств исследуемых образцов ильменита проводили их ультразвуковую обработку. Для этого в ячейку из оргстекла устанавливали ультразвуковой зонд (мощностью 500 Вт). При проведении ис-

следований измеряли температуру пульпы; ее значение не превышало  $40^{\circ}C$ .

На рис. 1 показаны зависимости изменения степени извлечения методом флотации образцов ильменита после ультразвуковой обработки и без нее в зависимости от pH, времени воздействия ультразвука, его мощности и концентрации коллектора.

Показано, что исходный ильменит плохо флотируется в широком диапазоне pH. На кривых появляются два пика извлечения. Первый пик – при  $pH=4-5$ , при этом извлечение не превышает 37%.

При  $pH > 6$  степень извлечения увеличивается, а затем наблюдается второй пик в диапазоне  $pH=7-9$ , где извлечение составляет примерно 53%. При  $pH > 9$  или менее 4 степень извлечения снижается. Это происходит из-за сильной конкуренции между олеат-ионами NaOL и ионами  $OH^{-}$  в щелочном водном растворе. Оптимальный pH для флотации ильменита составляет от 4 до 6.

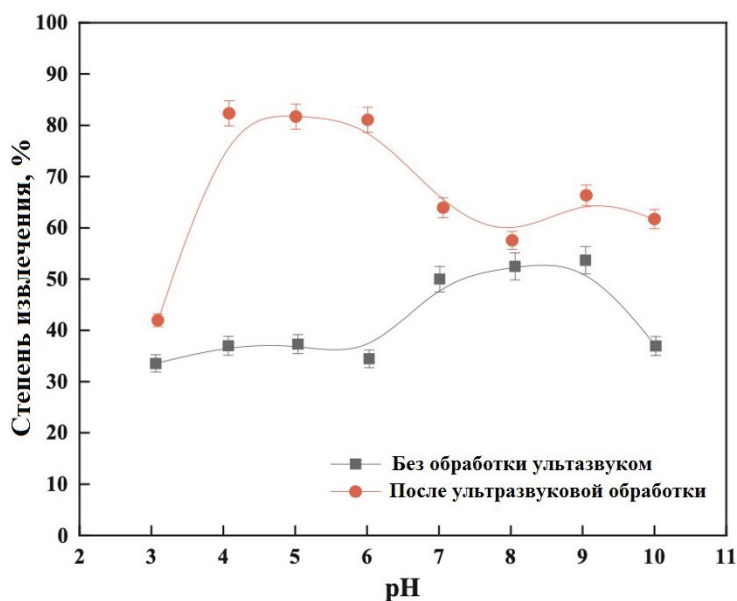


Рис. 1. Влияние ультразвуковой обработки на флотацию ильменита в зависимости от pH при концентрации  $NaOL 2 \cdot 10^{-4} M$ , времени ультразвуковой обработки 3 мин, мощности ультразвука 500 Вт

### Список литературы

1. Найфонов Т.Б., Белобородов В.И., Захарова И.Б. Флотационное комплексных титановых и циркониевых руд. – Апатиты: Кольский научный центр, Горный институт, 1993. – 156 с.
2. Шон Хай Ле, Н.В. Карелина, В.А. Карелин Особенности обогащения ильменитовых концентратов из Вьетнама // Химия и химическая технология в XXI веке. – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2020. – С. 457–458.

3. Tian J., Xu L., Wu H., Fang S., Deng W., Peng T., Sun W., Hu Y. // *J. Cleaner Prod.*, 2018. – V. 174. – P. 625–633.
4. Belardi G., Piga L., Quaresima S., Shehu N. // *Miner. Process.*, 1997. – V. 85. – P.145–156.

## ТЕХНОЛОГИЯ ВЫДЕЛЕНИЯ МЕТИЛИЗБУТИЛКЕТОНА ИЗ РЕАКЦИОННОЙ СМЕСИ

М.А. Маевский

Научный руководитель – к.т.н., доцент А.В. Фролкова

МИРЭА – Российский технологический университет

Институт тонких химических технологий имени М.В. Ломоносова

Россия, Москва, пр-т Вернадского, д. 78, rector@mirea.ru

Метилизобутилкетон (МИБК) является важным продуктом основного органического синтеза. Он используется при обработке целлюлозы, производстве красок, в качестве растворителя в процессах экстракции и депарафинизации.

Одним из развивающихся методов получения МИБК является одностадийный процесс его получения из изопропилового спирта (ИПС). В результате реакции образуется 6-ти компонентная смесь ацетон (АЦ) – ИПС – вода (В) – МИБК – метилизобутилкарбинол (МИБКБ) – диизобутилкетон (ДИБК). Для выделения целевого продукта из реакционной смеси ранее предложены схема, основанная на реализации первого заданного разделения в первой колонне, и схема, в которой используется процесс экстрактивной ректификации [1]. Другие варианты разделения не рассматривались.

В настоящей работе для разделения 6-ти компонентной смеси предложена схема, основанная на реализации промежуточного разделения (рисунок 1). Методом исследования является математическое моделирование в программном комплексе AspenPlus V.10.0. (уравнение NRTL). Математическая модель адекватно описывает

фазовое равновесие системы (ошибка не превышает 5 %).

Диаграмма парожидкостного равновесия характеризуется наличием 4-х бинарных (В-ИПС, В-МИБК, В-ДИБК, В-МИБКБ) и одного тройного азеотропа (ИПС-В-ДИБК). Концентрационный гексагон разбивается четырехмерной сепаратрической поверхностью, порожденной бинарным седловидным азеотропом В-ДИБК на 2 области дистилляции (устойчивые узлы – В и ДИБК, неустойчивый узел – АЦ).

Исходный состав смеси, поступающий в блок разделения, соответствует составу, образующемуся в реакционном блоке получения МИБК ( $F^0=100$  кмоль/ч,  $X_{\text{АЦ}}=49,34$  % мол.,  $X_{\text{ИПС}}=17,17$  % мол.,  $X_{\text{В}}=8,47$  % мол.,  $X_{\text{МИБК}}=19,27$  % мол.,  $X_{\text{МИБКБ}}=0,15$  % мол.). Параметры работы первой ректификационной колонны подобраны таким образом, чтобы в дистилляте полностью отделить три легколетучих компонента – ацетон, ИПС и воду. Вторая колонна предназначена для отделения АЦ от смеси ИПС-В. Целевой продукт МИБК отделяется от тяжелокипящих примесей в третьей колонне. Основными критериями оптимизации параметров работы ректификационных колонн являются минимальные энергозатраты и возможность выделения МИБК чистотой, отвечающей 99,82 % мол [2].

Представленная схема может составить конкуренцию предложенным в [1] вариантам разделения. Схема содержит меньшее количество ректификационных колонн, что приводит к упрощению технологии выделения МИБК, а, следовательно, к уменьшению капитальных затрат. Также преимуществом предложенной нами схемы является выделение МИБК в дистилляте, что обеспечивает более высокую степень чистоты продукта.

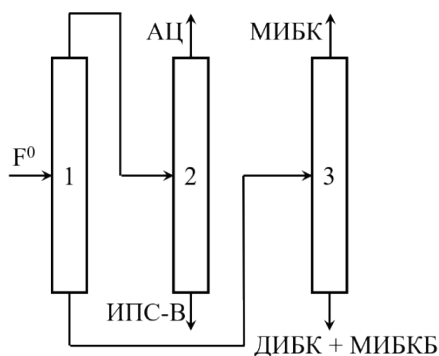


Рис. 1. Схема разделения смеси АЦ – ИПС – В – МИБК – МИБКБ – ДИБК