

изучаемого участка недр (потенциального ПЗ) из естественного состояния в состояние безаварийной эксплуатации.

ЛИТЕРАТУРА

1. Аликин, Э.А. Методика оценки эксплуатационной емкости глубоких водоносных горизонтов для захоронения в них вредных жидких отходов / Э.А. Аликин // Разведка и охрана недр. — 2015. — № 7. — С. 46–49.

2. Аликин, Э.А. Концепция геологического изучения участков недр для захоронения в них вредных жидких отходов (ВЖО) / Э.А. Аликин // Разведка и охрана недр. — 2016. — № 5. — С. 62–64.

3. Аликин, Э.А. Рамочная классификация прогнозной вместимости и эксплуатационной емкости глубоких водоносных горизонтов / Э.А. Аликин // Недропользование XXI век. — 2017. — № 6. — С. 144–149.

© Аликин Э.А., 2021

Аликин Эдуард Александрович // alikin@psu.ru

ТЕХНИКА И ТЕХНОЛОГИЯ

УДК 549.731.14:622.7.09(575.172)

Хасилов Х.Н.¹, Омонов Х.А.¹, Рустамов Б.З.², Адиллов А.Ю.², Мовланов Ж.Ж.³ (1 — АО «Узбекистон темир йуллари», 2 — Горно-металлургический комплекс на базе месторождения Тебинбулак, 3 — ГП «Институт минеральных ресурсов»)

ТЕХНИЧЕСКАЯ ЦЕЛЕСООБРАЗНОСТЬ ОСВОЕНИЯ МЕСТОРОЖДЕНИЯ ТИТАНОМАГНЕТИТОВЫХ РУД ТЕБИНБУЛАК

*Важное значение в отрасли черной металлургии имеют запасы железных руд, в том числе титаномагнетитовые. В последние годы во всем мире резко возрос интерес к месторождениям титаномагнетитовых руд, которые являются стратегическим минеральным сырьем любой страны. Залежи практически есть на каждом континенте (Европейские государства, Страны Азии, Россия, Африка, Южная и Северная Америка, Новая Зеландия и т.д.). Мировые прогнозные ресурсы железной руды достигают примерно 600 млрд т, а разведанные запасы — 260 млрд т, мировые подтвержденные запасы железной руды составляют 212,7 млрд т [4]. **Ключевые слова:** титаномагнетит, черная металлургия, железная руда, интрузивные породы, ванадий, концентрат, обогащаемость, технико-экономическое обоснование, рентабельность, 3D модель.*

Khasilov Kh.N.¹, Omonov Kh.A.¹, Rustamov B.Z.², Adilov A.Yu.², Movlanov Zh.Zh.³ (1 — Uzbekistan temir yullari, 2 — Mining and metallurgical complex on the basis of the Tebinbulak field, 3 — Institute of Mineral Resources)

TECHNICAL FEASIBILITY OF DEVELOPMENT OF TITANOMAGNETITE ORE DEP OSIT TEBINBULAK

Iron ore reserves, including titanomagnetite ones, are important in the iron and steel industry. In recent years, worldwide interest in titanomagnetite ore deposits, which are strategic mineral raw materials of any country, has sharply increased. There are practically deposits on every continent (European states, Asian countries, Russia, Africa, South and North America, New Zealand, etc.). The world forecasted resources of iron ore reach about 600 billion tons, and the explored re-

*serves are 260 billion tons, the world proven reserves of iron ore are 212.7 billion tons. **Keywords:** titanomagnetite, ferrous metallurgy, iron ore, intrusive rocks, vanadium, concentrate, enrichment, feasibility study, profitability, 3D model.*

Введение

На территории Республики Узбекистан имеется крупное месторождение титаномагнетитовых руд Тебинбулак. Оно расположено приблизительно в 740 км северо-западнее Ташкента. Регион — часть Центрально-азиатской степной области с наклонными равнинами. Месторождение локализуется на северо-западной оконечности гор Султан-Увайс в Караузьякском районе Республики Каракалпакстан (рис. 1). Ближайший административный центр г. Нукус, шестой по величине город Узбекистана, столица автономной Республики Каракалпакстан. Население Нукуса превышает 300 000 человек. Город расположен в 75 км северо-западнее от месторождения Тебинбулак.

Ванадийсодержащие титаномагнетитовые руды распространяются в основной и ультраосновной интрузивной породе, которой свойственно повышенное содержание ванадия и титана. За рубежом с этим промышленным типом руд связано 6,5 % подтвержденных запасов железных руд, около 60 % запасов TiO_2 и более 90 % запасов V_2O_5 . Страны, обладающие крупнейшими запасами таких руд, — Китай, Россия, Канада, Норвегия, ЮАР, США, Финляндия и Бразилия. Песчаные месторождения обнаружены в Австралии, Индии и прибрежных странах Африки. В табл. 1 приведена характеристика крупных месторождений титаномагнетитовых руд мира.

Содержание и соотношение титана, ванадия и железа в титаномагнетитовых рудах значительно варьируют. Руды могут быть существенно титановыми или железными. Промышленную ценность месторождений повышает наличие ванадия, который во многих случаях относится к основным компонентам руды.

Из-за различия в генезисе месторождений за рубежом используют разнообразные системы добычи и переработки таких руд.

Ванадийсодержащие титаномагнетитовые руды перерабатывают двумя способами — для производства стали и ванадиевых продуктов. Последовательность первого:

чугун — ванадиевый шлак — сталь; второго: содовый обжиг — выщелачивание — пентаоксид ванадия.

Китай обладает богатым резервом ванадийсодержащих титаномагнетитов, которые распределены на обширной территории. Объем их резервов и добычи занимает третье место среди железных руд в Китае. Существуют достоверные запасы в 6,19 млрд т. Крупнейшим месторождением является район Панчжихуань-Сичанг.

Из табл. 1 видно, что содержание железа, титана и ванадия в титаномагнетитовых рудах колеблется в широких пределах. В промышленности для получения товарных титановых шлаков используются лишь богатые по титану руды канадских месторождений. Все остальные титаномагнетитовые руды, за редким исключением, перерабатываются с получением только железа или ванадия.

Таблица 1

Характеристика крупнейших в мире месторождений титаномагнетитовых руд по [3]

Месторождение, бассейн	Содержание (среднее), %			
	Fe _{общ}	Fe ₂ O ₃ расчетный	TiO ₂	V ₂ O ₅
Бушвельдский массив (ЮАР)	53–57	75,8–81,8	13	1,4–1,9
Аллард-Лейк (Канада)	40	57,2	34	0,3
Сент-Урбин (Канада)	40	57,2	48	0,1–0,3
Паньжихуань (КНР)	32	45,8	10	0,32
Чэнджэнь (КНР)	35,8	51,2	8,9	0,37
Тахароа (Новая Зеландия)	22	31,5	4,3	0,14
Барамби (Австралия)	26	37,2	10,0–15,0	0,7
Тахавус (США)	34	48,6	19	0,45
Отанмяки и Муста-Вааре (Финляндия)	22	31,5	8,3	0,33
Гусевогорское (Россия)	16,5	23,6	1,25	0,14
Собственно-Качканарское (Россия)	16,6	23,7	1,3	0,14
Суроямское (Россия)	13,9	19,9	1,26	0,16
Подлысанское (Россия)	24,7	35,3	8,0	0,10
Медведевское (Россия)	14,7	21,0	7,0	0,04–0,26
Гремяха-Вырмес (Россия)	35	50,1	10–13	0,3
Большой Сейим (Россия)	17,9	25,6	8–14	0,1
Кручининское (Россия)	15–18	21,4–25,7	8,4	до 0,01
Чинейское (Россия)	33,5	47,9	6,5	0,52
Ручарское (Россия)	16,8	24,0	2,5	0,09



Рис. 1. Расположение месторождения Тебинбулак (красный прямоугольник). Источник: Картографический отдел ООН



Рис. 2. Титаномагнетитовая порода (пироксениты)

В России перспективными регионами по ресурсам титаномагнетитов являются Урал, Кольский полуостров, Сибирь и Дальний Восток. Из эксплуатируемых месторождений наиболее значимы руды Качканарского рудного комплекса на Среднем Урале. Качканарский ГОК обладает производительностью по переработке руды в объеме до 50 млн т в год с производством ванадийсодержащего железного концентрата ($Fe_{общ}$ 62 % и V_2O_5 0,5–0,7 %), который поставляется в качестве сырья в Нижнетагильский и Чусовской металлургические комбинаты.

Использование титаномагнетитовых руд как железорудного сырья можно считать задачей решенной промышленностью. В Уральском регионе они являются ведущим типом руд. Важным условием их использования является обязательное обогащение руд с целью получения высокожелезистого ($Fe_{общ}$ — 55–65 %) титаномагнетитового концентрата.

Более 85 % ванадия в мире используется для легирования стали в основном в виде феррованадия и нитрида ванадия. Остальные 15 % используются в сфере цветных металлов, электронной, химической промышленности и т.д.

В связи с этим разработка месторождений данного типа руд считается экономически востребованной.

Вблизи месторождения Тебинбулак имеется вся необходимая инфраструктура, в том числе: железнодорожная станция Караузяк, автомобильная дорога А-380 по направлению Нукус–Зарафшан, теплоэлектростанция Тахиаташ, водный источник — р. Амударья, магистральный газопровод Газли–Нукус.

Месторождение было открыто в 1930-х годах и впервые описано в отчете 1939 г. С этого времени

Тебинбулак изучался в несколько этапов с использованием скважинно-алмазного бурения.

Геологическими особенностями месторождения Тебинбулак являются:

- интрузия имеет цилиндрическую форму, то есть лополитическую;

- литология представлена дунитами, клинопироксенитами и габбро, тогда как последние, по-видимому, интрузивные;

- все ультрамафические и мафические породы интродуцированы более молодыми дайками главным образом по составу сиенитами.

Концентрация ванадиевых титаномагнетитов в виде непрерывных линзообразных включений и плоских залежей расположена в западной части; восточная часть имеет более тонкие и неминерализованные утолщенные ответвления.

Тип месторождения по химическому составу близок к месторождением титаномагнетитов Качканарской группы.

В системе классификации ГКЗ, принимаемой на постсоветском пространстве, количество и качество руд оцениваются только по геологическим критериям и эти оценки при рассмотрении модифицирующих факторов (без поправки на разубоживание и потери) называются одним термином — «ресурсы». Поэтому, чтобы избежать двусмысленности и путаницы в отношении используемых терминов, предлагается использовать следующую терминологию:

Запасы по кат. А, В, C_1 , C_2 соответствуют минеральным ресурсам, определяющимся по системе

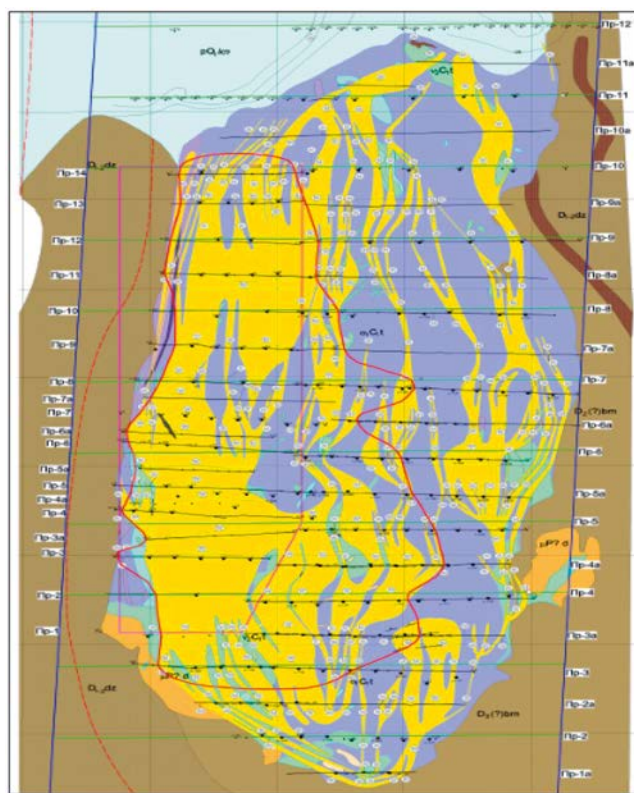


Рис. 3. Геологическая карта (месторождение Тебинбулак)

«CRIRSCO» ввиду аналогичных требований Российской системы классификации и шаблона CRIRSCO [2].

Титаномагнетит в основном локализуется в клинопироксените, реже в габбро. Скопления титаномагнетита значительно варьируют от массивных руд до рассеянных включений.

Начиная с 1930-х годов было проведено несколько разведочных стадий, каждая из которых улучшала геологическую информацию о Тебинбулакском интрузиве и связанную с ней железо-ванадиевую титаномагнетитовую минерализацию. В 1996 г. обобщены геологические данные, основанные на бурении и геофизических исследованиях. Кроме бурения минерализация также была исследована обширным бороздовым опробованием в разрез интрузивного тела. Валовая проба образцов отбиралась из кратерных ям в направлении центра интрузива (рис. 4).

На протяжении последних 6–7 лет Государственный комитет по геологии и минеральным ресурсам Республики Узбекистан проводит работы по детальной оценке месторождения Тебинбулак. Пробурено большое количество колонковых скважин со средней глубиной 350 м, а также изучены химические и физико-механические свойства руды.

В 2017 г. в ГКЗ на утверждение представлены материалы по оценке ресурсов-запасов месторождения Тебинбулак (табл. 2).

Эта оценка ресурсов не является первой и частично основана на предыдущих оценках, которые были сделаны в 1996 и 2015 гг. Все они следуют рекомендациям ГКЗ. Более ранние оценки прошлых лет подробно не рассматривались.

Основой для процессов переработки руд, принятых в ТЭО кондициях 2017 г., послужили результаты работ, проведенных АО «Узметкомбинат» совместно с компанией Outotec (Финляндия) в рамках разработки ПТЭО проекта. В 2014 г. проба руды, объемом 5,0 т была направлена в исследовательский центр компании Outotec для детального изучения свойств исходной руды, разработки схемы обогащения и производственного процесса. Это был образец богатой руды с содержанием 18,9 % Fe_{общ} и связанного железа титаномагнетитом — 61,8 %.

Для подтверждения результатов возможности обогащения руд в 2018 г. АО «Узбекистон темир йуллари» повторно направило в компанию Outotec две пробы (с содержанием железа 13,35 и 11,6 %), сформированные из дробленных керновых с содержанием связанного титаномагнетитом железа 45,0 %. Результаты выполненных работ по обогащению 2014 и 2018 гг. представлены в табл. 3.

Результаты лабораторных исследований проб 1 и 2 (2018 г.) показывают, что качество обогащения сравнимо с результатом 2014 г., и подтверждают высокую обогатимость руд месторождения Тебинбулак. Процесс обогащения, как и прежде, состоит из этапов многоступенчатого дробления и измельчения с помощью сухого и мокрого магнитного разделения.

Из-за низкого содержания железа и магнетита в образцах 2018 г. достижения массового извлечения является низким. Из-за более низкого содержания магнетита и жильных минералов в пробах 2018 г. применен процесс более мелкого дробления и измельчения для обеспечения максимального выхода железа в

концентрат, что ранее не предусматривалось при испытаниях проб 2014 г.

Основная часть

Согласно Постановлению Президента Республики Узбекистан от 12 января 2018 г. № ПП-3473 «Об организации работ по реализации инвестиционного проекта «Строительство горно-металлургического комплекса на базе месторождения Тебинбулак» АО «Узбекистон темир йуллари» приступило к реализации инвестиционного проекта по комплексному освоению месторождения титаномагнетитовых руд Тебинбулак. С целью качественного исполнения поставленных задач по освоению месторождения Тебинбулак АО «Узбекистон темир йуллари» совместно с привлеченны-



Рис. 4. Участки проведения работ. Слева сверху: место бурения DDH-001 (2012). Справа сверху: один из участков выборочной проверки 2014. Внизу — самая нижняя точка горных разработок: бороздовое опробование

Таблица 2
Материалы по оценке ресурсов-запасов месторождения Тебинбулак

Категория	Метод ГКЗ ¹⁾			Micromine ²⁾			JORC (2012) ⁵⁾
	млн т	Fe ₂ O ₃ (%)	Fe ⁴⁾ _{общ} (%)	млн т	Fe ₂ O ₃ (%)	Fe ⁴⁾ _{общ} (%)	
B	242	19,5 ³⁾	13,7	269	20,3	14,2	Измеренные (M)
C ₁	1268	18,5	12,9	1248	19,0	13,3	Указанные (I)
ВСЕГО	1510	19,2	13,4	1517	19,2	13,4	M+I

¹⁾ Секционный метод; ²⁾ 3D-Блок модели; ³⁾ Значения округлены; ⁴⁾ Fe_{общ} пересчитано с использованием коэффициента 0,69944; ⁵⁾ основаны на: Федеральное государственное учреждение «Государственная комиссия по запасам полезных ископаемых» (ФГУ «ГКЗ») Объединенного Комитета по международным стандартам отчетности о запасах (CRIRSCO) (2010).

Таблица 3
Результаты выполненных работ по обогащению 2014 и 2018 гг.

Номер образцов	Вес (кг)	Fe _{общ} (%)	TiO ₂ (%)	V ₂ O ₅ (%)	Доля магнетита (% Satmangan)	Результат обогащения (концентрат), %
Проба, 2014 г.	4800	18,9	1,92	0,18	16,2	Fe _{общ} — 66,4
Проба 1, 2018 г.	4077	13,35	1,60	0,12	8,3	Fe _{общ} — 66,5
Проба 2, 2018 г.	2036	11,60	1,53	0,11	5,6	Fe _{общ} — 67,4

ми независимыми консультантами в лице компаний Horst Wiesinger Consulting (Австрия) и DMT-Group (Германия) выполняет следующие работы:

- оценка ресурсов с дальнейшим утверждением экономически целесообразных извлекаемых запасов месторождения согласно международному стандарту JORC (Австрало-азиатский кодекс отчетности) [1];

- проведение комплекса научно-исследовательских работ по обогащению, восстановлению и дальнейшей переработке в металлургических переделах руд месторождения с определением эффективной технологической схемы;

- определение технологии извлечения ванадия, который является ценным материалом в различных отраслях и имеет высокую добавленную стоимость;

- разработка банковского технико-экономического обоснования проекта (Feasibility Study «FS») с определением основных параметров, в том числе рентабельности, срока окупаемости и экономической эффективности.

По горной части разработана эффективная технология отработки месторождения (разработка карьера) с определением объемов добычи руды и вскрыши, основного и вспомогательного оборудования, а также рассчитаны экономические аспекты, в том числе капитальные затраты, операционные расходы и себестоимость добычи руды. Технология предусматривает предварительное разрыхление скальных пород при помощи буровзрывных работ с циклической добычей с использованием электрических экскаваторов и карьерных самосвалов. Годовой объем добычи составляет до 25 млн т.

В части обогащения проведены исследования и опытно-промышленные испытания на представительных пробах руды, отобранных под руководством компетентного лица в исследовательской лабора-

тории SGA (Германия). Согласно результатам проведенных испытаний и исследований, определены технологические схемы получения концентрата с содержанием железа 67,0 % и обожженных окатышей с прочностью более 255 Н/окатыш. Разработаны технологические регламенты на строительство обогатительной фабрики производительностью до 1,8 млн т в год и фабрики по производству обожженных окатышей. Определены капитальные и операционные расходы, а также себестоимость производства концентрата и обожженных окатышей.

По металлургическому комплексу в исследовательских центрах Леобенского горного университета (Австрия) произведены опытно-промышленные испытания по восстановимости обожженных окатышей, выплавке с получением чугуна и стали с отделением ванадия в шлак.

По результатам определена инновационная технология восстановления железа — процесс Energiron/HYL-III с получением высококачественных металлизированных окатышей. Получаемое металлизированное сырье будет перерабатываться в сталеплавильном комплексе с применением электродуговых, кислородно-конвертерных печей, установок внепечной обработки и непрерывной разливки стали. В данном комплексе предусматривается применение дуплекс процесса с целью извлечения ванадия в шлак. Производительность комплекса будет составлять 1,1 млн т непрерывнолитых заготовок и более 32,0 тыс. т ванадиевого шлака.

Также предусматривается строительство прокатного комплекса по выпуску готовой стальной продукции в объеме 1 млн т в год, в том числе 800 тыс. т арматуры повышенной прочности (классов А-500, А-600, А-800, арматура из легированной стали), 100 тыс. т катанной проволоки диаметром Ø 5,5–20 мм и 100 тыс. т периодических профилей из легированной стали (швеллер, полоса, т-образный профиль, уголок, квадрат и т.д.). Рассчитаны предварительные капитальные вложения на строительство прокатного цеха.

По банковскому технико-экономическому обоснованию проекта разрабатывается финансово-экономическая модель проекта с определением основных параметров, в том числе капитальных вложений, рентабельности, срока окупаемости, маркетинговых аспектов и т.д.

Работы по утверждению запасов в соответствии с Кодексом JORC

Оценка ресурсов и утверждение запасов в соответствии с международным кодексом JORC в Узбекистане осуществляются впервые.

Первым этапом компетентным лицом (геологом) компании DMT-Group проанализирована работа на

Таблица 4
Основные параметры месторождения Тебинбулак

Класс запаса JORC 2012 г.	Масса (млн т)	Плотность (т/м ³)	Средняя величина магнетита (%)	Средняя величина общего содержания железа (%)
Измеренный	1019.0	3.1	6.8	12.7
Предполагаемый	32.0	3.1	6.5	11.6
Измеренный и предполагаемый	1051.0	3.1	6.8	12.7
Прогнозный	0.5	3.1	5.9	9.0

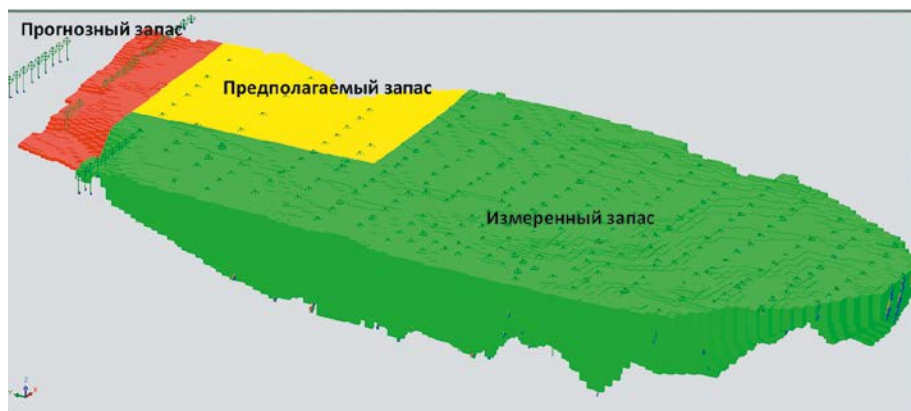


Рис. 5. Классификация запасов по кодексу JORC (2012 г.)

соответствие с Кодексом JORC, проделанная до настоящего времени Госкомгеологией, в том числе методика и проведение геологических работ, их результаты, а также материалы, представленные в ГКЗ. По результатам анализа со стороны компетентного лица была дана положительная оценка, но при этом выданы рекомендации на необходимость выполнения дополнительных работ и мероприятий.

Вторым этапом:

— разработана обновленная геологическая 3D модель месторождения Тебинбулак с применением современного программного обеспечения. По результатам определены общие ресурсы месторождения в объеме 1,23 млрд т, в том числе экономически целесообразных к отработке в объеме 850,0 млн т со средним содержанием железа 13,0 %, оксидов ванадия 0,16 %;

— изучены химические и физико-механические свойства руды в международно-аккредитованных лабораториях, в том числе в исследовательском центре университета Бохума (Германия), лаборатории компании ALS (Ирландия), исследовательском центре Studiengesellschaft für Eisenerzaufbereitung (SGA, Германия);

— под руководством компетентного лица по JORC (зарубежного специалиста) проведены исследования по определению содержания магнитной части железа в исходной руде (магнетит) с применением анализатора Satmagan на всех имеющихся геологических образцах проб в количестве 31 400 штук;

— произведены каротажные исследования (оптический и акустический) на глубинных скважинах с

применением специализированного оборудования под руководством компетентного лица.

По результатам вышеуказанных работ определены основные параметры месторождения согласно требованиям кодекса JORC, представленные в табл. 4 (рис. 5).

При этом промышленный объем ориентировочно составляет 850 млн т при длине карьера — 3 км, ширине — 1,2 км, глубине — 350 м. Срок разработки карьера при добыче 25,0 млн т руды в год составляет не менее 35 лет.

Выводы

Комплексное освоение месторождения Тебинбулак является стратегически важным проектом для Республики Узбекистан. Ввод горно-металлургического комплекса даст толчок к созданию новой отрасли с освоением передовых технологий добычи и переработки руд. С экономической точки зрения проект будет способствовать сокращению импорта

стальной продукции в республику и повышению экспортного потенциала в первую очередь от реализации ванадиевых продуктов, имеющих большой спрос на внешних рынках и высокую добавленную стоимость. С социальной точки зрения он будет способствовать экономическому укреплению и росту Республики Каракалпакстан путем создания большого количества рабочих мест, налоговых отчислений и платежей в центральные и местные бюджеты, развитию смежных обслуживающих отраслей.

ЛИТЕРАТУРА

1. Австралийско-Азиатский кодекс для подтверждения результатов разведки запасов полезных ископаемых и рудных запасов (2012 г.) — Объединенный комитет по запасам руды. — Издание JORC Code 2012. — 44 с.
2. Российское Федеральное государственное учреждение Государственная комиссия по запасам полезных ископаемых» (ФГУ ГКЗ) Комитета по международным стандартам отчетности минеральных запасов (CRIRSCO) (2010 г.): Руководство по согласованию стандартов отчетности российских минералов и шаблона CRIRSCO. — М. — С. 112.
3. Титаномагнетитовые руды — перспективная сырьевая база металлургии // УРМ №1 январь 2006. <http://www.urm.ru/ru/75-journal121-article1546>.
4. Топливо-энергетический комплекс мировой экономики // https://studref.com/629482/ekonomika/toplivno_energeticheskij_kompleks_mirovoy_ekonomiki#962;

© Коллектив авторов, 2021

Хасилов Хуснутдин Нуриддинович // info@uzrailway.uz
 Омонов Хайитбай Ахмадалиевич // omonov.1979@list.ru
 Рустамов Ботир Зафарович // brustamov1984@gmail.com
 Адилев Азизбек Юсупович // tgm24@mail.ru
 Мовланов Жахонгир Журабекович // jahongir79@mail.ru