

УДК 553.494.311:622.7

Е.Е. Каменева

**ВЕЩЕСТВЕННЫЙ СОСТАВ И ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ
СВОЙСТВА ТОНКОВКРАПЛЕННЫХ ИЛЬМЕНИТ-
МАГНЕТИТОВЫХ РУД МЕСТОРОЖДЕНИЯ ПАЛАЛАХТА
(РЕСПУБЛИКА КАРЕЛИЯ)**

Показана принципиальная возможность обогащения руды по магнитной, гравитационно-магнитной и магнито-флотационной схемам.

Ключевые слова: месторождения, руды, технологические свойства руд.

Одной из первоочередных задач Республиканской целевой программой «Освоение недр и развитие горнопромышленного комплекса Республики Карелия на 2000-2002-2010 годы» является геологическое изучение и освоение группы железо-ванадий-титановых руд на Ведлозерской площади. В рамках этих работ программой предусмотрен поиск, оценка и разведка месторождений, разработка ТЭО освоения месторождения, проектирование и строительство ГОКа, производственной и социальной инфраструктуры [1].

Работы по геологическому и технологическому изучению месторождения ведутся с 2000 г. Рудная зона сложена богатыми и рядовыми рудами. Тип оруденения – ильменит-магнетитовый. Главное рудное тело сопровождается 3-4 телами богатых и рядовых руд меньшей мощности; компактное расположение серии этих объектов позволяет рассматривать их как единое месторождение. Вмещающие породы представлены сильно рассланцованными габбро и габбро-диабазами и фактически являются бедными и убогими рудами.

В процессе предварительных поисковых исследований показана

принципиальная возможность обогащения руды по магнитной, гравитационно-магнитной и магнито-флотационной схемам. В настоящее время первоочередными задачами по дальнейшему изучению ильменит-магнетитовых руд Ведлозерской площади является исследование их технологических свойств и разработка технологии обогащения.

Вещественный состав и технологические свойства руд изучены на материале 34 проб, характеризующих различные участки главного рудного тела Ведлозерской площади – проявления Палалахта. В результате минералого-петрографического исследования установлено, что текстура породы изменяется от вкрапленной у ильменитовой разновидности руды до неясновыраженной полосчатой со следами пострудных деформаций либо прожилковой массивной у магнетит-ильменитовой руды.

Основные рудообразующие минералы – магнетит, ильменит, кварц, плагиоклаз, амфибол, биотит. В небольшом количестве наблюдаются сульфиды (пирит, пирротин, халькопирит) и гранат.

В результате петрографического анализа установлено, что *ИЛЬМЕНИТ*

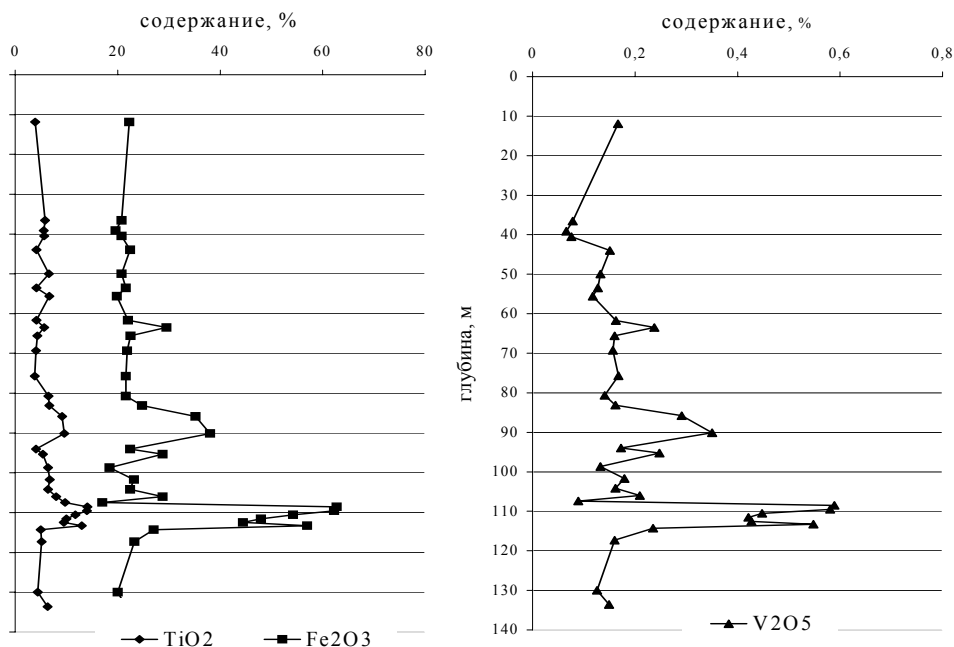


Рис. 1. Изменчивость состава руды

образует трещиноватые, удлиненные зерна и их агрегаты размером до 1мм с преобладанием зерен размером 0,2-0,3 мм. Ильменит содержит включения породообразующих минералов, но практически повсеместно насыщен субмикроскопическими пластинками и линзочками гематита. Количество включений так велико, что минерал можно считать *гемоильменитом*. Он срстается с магнетитом, размер зерен которого составляет до 0,4 мм в поперечнике (в среднем 0,1-0,2 мм). Часто зерна ильменита обладают двойниковым строением. Встречаются агрегаты зерен магнетита и ильменита с примесью сульфидов.

Магнетит развит как в сростках с ильменитом, так и в виде трещиноватых кристаллов октаэдрического габитуса размером от сотых до десятых долей миллиметра.

Пирит и пирротин отмечаются в виде сростков с магнетитом. Пирит фиксируется в виде микропросечек, выполняя трещины, возникшие после отложения ильменита и магнетита. Микропрожилки рудного вещества по трещинкам спайности и отдельности отмечаются в зернах амфибола и плагиоклаза.

Руда не выдержана по химическому составу: содержание TiO₂ колеблется в пределах 3,8-14,13%, Fe₂O₃ – 17,0-62,75%, V₂O₅ – 0,089-0,589% (рис. 1). Среднее содержание основных компонентов составляет, вес.% : TiO₂ – 8,1 %, Fe₂O₃ – 33,2 %, V₂O₅ – 0,27%.

По данным минералогического анализа количественное соотношение основных рудообразующих минералов непостоянно: содержание магнетита и ильменита колеблется в пределах 15 – 90 %.

Таблица 1

Химический состав текстурных разновидностей руд

Текстура	Распространенность по рудному телу, %	Содержание компонентов, вес. %		
		TiO ₂	Fe ₂ O ₃	V ₂ O ₅
Вкрапленная	7,4	8,0	28,75	0,209
Линзовидная	31,9	12,0	58,7	0,5
Плагиоклаз-амфиболовый сланец с магнетитом и ильменитом	60,7	6,1	20,3	0,16
Среднее в ильменит-магнетитовых рудах	100	8,1	33,2	0,27

По текстуре выделены три природных типа, различающиеся по химическому составу: 1) вкрапленная руда; 2) линзовидная руда; 3) плагиоклаз-амфиболовый сланец с магнетитом и ильменитом (табл. 1).

Технологические свойства изучены на материале усредненной лабораторной пробы, в состав которой вошли типы руд, различающиеся по химическому составу и текстурно-структурным особенностям. Содержание минералов в пробе составляло, вес. %: магнетит – 19,5, ильменит – 29,3, сульфиды – 0,9, кварц и полевые шпаты – 14,8, биотит – 1,6, амфибол – 33,8, гранат – 0,1.

Минералогический анализ измельченной до крупности -0,315 мм пробы показывает, что в классах -0,315+0,01 мм рудное вещество находится в сростках с породообразующими минералами (рис. 2), причем содержание сростков составляет 82,2-88,1 %. В классе -0,01+0,063 мм содержание сростков составляет 44,4 %, в классе -0,063+0,04 мм -32,1 %. Значительная часть рудных минералов наблюдается в виде точечных микровключений в зернах амфибола, плагиоклаза, кварца, чешуйках биотита.

Изучение искусственных аншлифов показало, что во фракции -0,04 мм сростки раскрыты более полно, но даже в этом классе часть рудных ми-

нералов находится в виде микровключений в амфиболе, кварце и плагиоклазе.

При разработке технологии обогащения тонковкрапленной руды важное значение имеет определение нижнего предела крупности при измельчении. Данные магнитного анализа, проведенного на материале различной крупности (время измельчения 3–20 мин.), позволяют сделать вывод, что зависимость содержания железа в магнитной продукте от времени (крупности) измельчения имеет экстремальный характер. При снижении верхнего предела крупности от 0,5 мм (3 мин.) до 0,074 мм (20 мин.) достигается повышение содержания Fe₂O₃ в магнитном продукте. Это связано с постепенным увеличением степени раскрытия сростков рудных минералов. Увеличение продолжительности измельчения приводит к росту содержания шламов, нарушению селективности сепарации и снижению содержания железа в магнитном продукте (рис. 3).

Время измельчения принято равным 12 мин. Измельченный продукт представляет собой тонкодисперсную систему с высоким содержанием фракции -0,044 мм, в котором концентрируется значительное количество магнетита -37,6 % и ильменита -53,7 % (табл. 2).

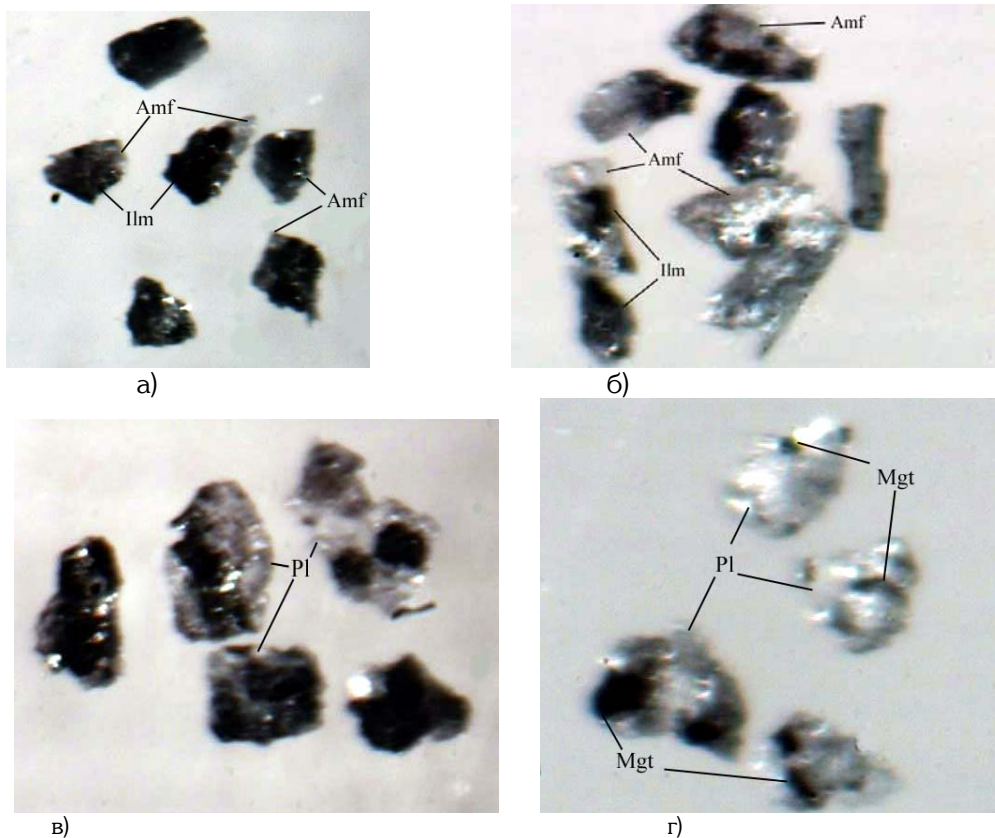


Рис. 2. Ильменит-магнетитовая руда: а, б - сростания ильменита с амфиболом, фракция $-0,1+0,071$ мм, в, г - сростания магнетита с плагиоклазом, фр. $-0,16+0,1$ мм (в); $-0,1+0,071$ мм (г)

Глубокое обесшламливание измельченного материала технологически не оправдано, так как приводит к значительным потерям полезных компонентов.

Опытами по магнитной сепарации показано, что в магнитный продукт переходит значительная часть ильменита. Микроскопическим анализом магнитных продуктов установлено, что свободные от сростков зерна ильменита присутствует во всех классах крупности, включая фракцию $+0,63$ мм, где содержание ильменита достигает 25-27%. В работах [2, 3] отмечается, что магнитные свойства ильменита зависят от содержания

Fe_2O_3 , от соотношения FeO/Fe_2O_3 , а также обусловлены включениями магнетита. Ильменит приобретает ферромагнитные свойства, если содержание в нем Fe_2O_3 составляет 25 вес. % и больше.

Микрозондовым анализом установлено, что в зернах ильменита меняется соотношение железистого и титанового компонента. Количество главных окислов в чистой разности составляет: TiO_2 - 25,31-52,11%; Fe_2O_3 - 8,94-47,8%, FeO - 21,6-52,99 %. Данные микрозондового анализа свидетельствуют о присутствии гематита, что согласуется с результатами петрографических исследований.

Таблица 2

Гранулометрический состав с распределением основных рудообразующих минералов по классам крупности измельченной ильменит-магнетитовой руды

Классы крупности, мм	Выход, %	Содержание, %		Распределение, %	
		Магнетит	Ильменит	Магнетит	Ильменит
+0,16	1,7	17,3	32,6	1,5	1,9
-0,16+0,1	7,1	20,3	30,5	7,4	7,4
-0,1+0,063	16,4	27,9	25,1	23,6	14,0
-0,063+0,04	25,2	23,1	26,6	29,9	22,9
-0,04	49,6	24,9	31,7	37,6	53,7
Исходный	100	19,5	29,3	100	100

Зерна ильменита (гемоильменита), содержащие 18,4-30,0% гематита (32,17-47,8% Fe_2O_3), переходят в магнитный продукт. Зерна с более низким содержанием гематита и чистые неизмененные зерна концентрируются в немагнитной фракции.

Отработка режима мокрой магнитной сепарации показывает принципиальную возможность получения магнитных продуктов, содержащих 51,4- 53,7 % $Fe_{общ}$ и 3,5-6,2 % TiO_2 на необесшламленном питании. Отмывка шламов крупностью 30 мкм позволяет повысить качество магнитного продукта, однако извлечение существенно снижается. В результате мокрой магнитной сепарации с предварительным обесшламливанием был выделен магнетитовый концентрат, содержащий 56,2 % $Fe_{общ}$ и 58,2% TiO_2 при извлечении 49,3 % $Fe_{общ}$. Низкое качество магнитных продуктов связано с присутствием гемоильменита, а также порообразующих минералов в мелкой фракции.

Испытаны две схемы получения ильменитового концентрата – флотационная и магнитная.

Режим флотации включал основную, контрольную операцию, перечистку черного ильменитового концентрата с применением жирнокислотного собирателя и реагента из класса оксиэтилированных соединений в слабкокислой среде при $pH=6,5$ -

6,8, создаваемой серной кислотой. Ильменитовый концентрат содержит 32,2 % TiO_2 при извлечении 53,5 % TiO_2 . В результате микроскопического анализа ильменитовых продуктов обнаружены сростки ильменита с амфиболом и плагиоклазом, а также нерудные минералы и магнетит в шламовой фракции, что и является причиной низкого качества ильменитового концентрата. Сростки ильменита с нерудными минералами равномерно распределяются в хвостах и концентратах, что приводит не только к получению концентратов низкого качества, но и к снижению извлечения.

По схеме магнитного обогащения получен ильменитовый концентрат, содержащий 32,3 % TiO_2 при извлечении 50,6 % TiO_2 . В концентрат извлекается только часть наиболее крупного ильменита и его бедные сростки с порообразующими минералами.

С целью интенсификации процесса обогащения изучена возможность ультразвуковой обработки. Экспериментами, проведенными на измельченном материале крупностью -0,315 мм, показано, что увеличение времени обработки от 2 до 10 мин. приводит к росту содержания железа в магнитном продукте, что объясняется раскрытием сростков магнетита. Дальнейшее увеличение продолжительности воздействия приводит к

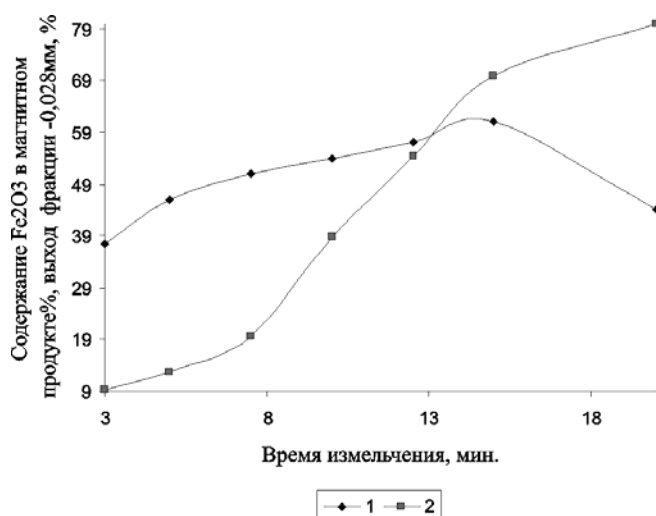


Рис. 3. Зависимость содержания железа в магнитном продукте (1) и выхода шламов -0,028 мм (2) от продолжительности измельчения

увеличению выхода шламовой фракции и ухудшению качества магнитного продукта.

Снижение содержания диоксида титана в магнитном продукте связано с частичной диспергацией гемоильменита и переходом гематита в свободную минеральную фазу, что подтверждается результатами минералогического анализа.

Важно отметить, что при ультразвуковом диспергировании, в отличие от механического измельчения в мельнице, где разрушение происходит ударом и истиранием, образуется значительно меньше тонких шламов, что является положительным факто-

ром для дальнейшей сепарации. Аналогичный вывод был сделан И.В. Шадруновой при обосновании технологии переработки некондиционных медьсодержащих георесурсов [4].

В связи с тем, что увеличение продолжительности озвучивания материала широкого диапазона крупности приводит к сильному ошамованию, изучено влияние крупности исходного материала на результаты ультразвуковой обработки. Для экспериментальных исследований были приготовлены фракции ильменит-магнетитовой руды различной крупности: -

0,315+0,1 мм, -0,1+0,04 мм, -0,044 мм. Фракции различались по соотношению содержаний основных компонентов. Постоянные условия опытов: плотность пульпы – 30 % тв., частота – 22 кГц.

Установлено, что максимальный эффект, обеспечивающий полное раскрытие сростков при незначительном образовании шламов крупностью -0,028мм, для наиболее крупной фракции -0,315+0,1 мм отмечается при времени озвучивания 12 мин., для промежуточной фракции -0,1+0,04 мм – 5-7 мин и 2-3 мин. для шламовой фракции -0,044 мм.

Таблица 3

Результаты обогащения по схеме магнитного обогащения с предварительной ультразвуковой обработкой

Наименование продуктов	Выход, %	Содержание, %		Извлечение, %	
		Fe _{общ}	TiO ₂	Fe _{общ}	TiO ₂
Объединенный магнетитовый концентрат	26,9	65,1	0,8	75,8	2,6
Ильменитовый концентрат	18,9	17,1	39,5	13,9	92,1
Хвосты	54,2	4,4	0,8	10,3	5,3
Исходная руда	100	23,2	8,1	100,0	100,0

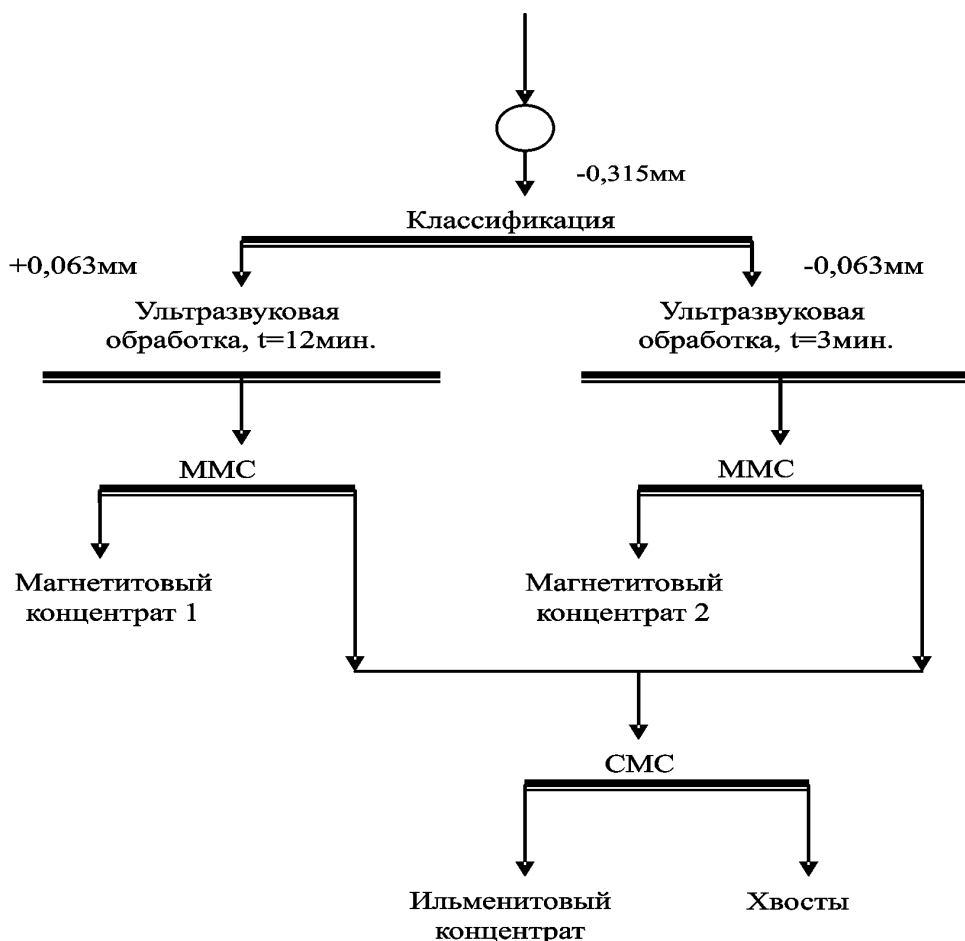


Рис. 4. Схема обогащения ильменит-магнетитовой руды с отдельной ультразвуковой обработкой песковой и шламовой фракций

Таким образом, технологический прием отдельной ультразвуковой обработки различных фракций крупности позволяет добиться селективного раскрытия сростков в каждой фракции без излишнего переизмельчения.

Технологическая схема обогащения ильменит-магнетитовой руды разработана в лабораторных условиях. Экспериментами показано, что ультразвуковую обработку целесообразно проводить после измельчения; при этом время измельчения

может быть сокращено до 5 мин., что позволяет сократить выход шламовой фракции.

Измельченный материал крупностью $-0,315$ мм делится на две фракции $-0,315+0,063$ мм и $-0,063$ мм. Крупная фракция подвергается ультразвуковому воздействию в течение 12 мин., шламовая – 3 мин. Суммарный выход фракции $-0,028$ мм составляет 13,3 %.

Магнетитовый концентрат выделялся методом мокрой магнитной се-

парации при напряженности магнитного поля 80 кА/м (песковая фракция) и 50 кА/м (шламовая фракция). Объединенная немагнитная фракция поступала на полиградиентную магнитную сепарацию с напряженностью магнитного поля 600 кА/м, в результате которой выделялся ильменитовый концентрат (рис. 4).

В результате получен магнетитовый концентрат, содержащий 65,1 % Fe_{общ} при извлечении 75,8 % Fe_{общ}, и ильменитовый концентрат с содержанием 39,5 % TiO₂ при извлечении 92,1% TiO₂ (табл. 3).

Минералогический анализ концентратов свидетельствует о достаточно высокой степени чистоты полученных продуктов. Магнетитовый концентрат содержит 91,1 % магнетита. В ильменитовом продукте концентрируется 81,29 % ильменита в свободном виде; 4,41 ильменита присутствует в сростках. Примеси амфибола (1,9-4,18 %), плагиоклаза (1,4-3,07 %) и слюд (2,2-3,47 %) связаны в основном с механическим захватом этих минералов в тонких классах и не оказывают существенного влияния на качество концентратов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Республиканская целевая программа «Освоение недр и развитие горнопромышленного комплекса Республики Карелия на 2000-2002-2010 годы» // Собрание законодательства Республики Карелия, 2000. - №9. - Ст. 1280. - С. 89-130.*

2. *Найфонов Т.Б.* Флотация титановых минералов при обогащении комплексных титаносодержащих руд – Л., Наука, 1979. – 165 с.

3. *Методические рекомендации по оценке измененности ильменита при*

изучении титановых руд и продуктов их переработки. – Институт минеральных ресурсов УССР, Симферополь, 1976. – 92 с.

4. *Шадрунова И.В.* Теоретическое и экспериментальное обоснование интенсивных низкотемпературных процессов выщелачивания некондиционных медьсодержащих георесурсов. Автореферат дис. ... докт.техн.наук, - М., 2003. – 32 с. **ИДБ**

КОРОТКО ОБ АВТОРЕ

Каменева Е.Е. – кандидат технических наук, доцент, руководитель Испытательной лаборатории строительных горных пород Петрозаводского государственного университета, rectorat@psu.karelia.ru



ДИССЕРТАЦИИ

ТЕКУЩАЯ ИНФОРМАЦИЯ О ЗАЩИТАХ ДИССЕРТАЦИЙ ПО ГОРНОМУ ДЕЛУ И СМЕЖНЫМ ВОПРОСАМ

Автор	Название работы	Специальность	Ученая степень
ИНСТИТУТ ГОРНОГО ДЕЛА УРАЛЬСКОГО ОТДЕЛЕНИЯ РОССИЙСКОЙ АКАДЕМИИ НАУК			
МЕЛЬНИК Виталий Вячеславович	Обоснование геомеханических факторов для диагностики опасности карстопроявлений при недропользовании	25.00.20	к.т.н.