

УДК 622.234.42:622.7'017

М.В. Рыльникова, Емельяненко, Е.А. Горбатова

ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ТЕХНОГЕННЫХ ОБЪЕКТОВ МЕДНО-КОЛЧЕДАНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ

Исследовались технологические свойства техногенных объектов колчеданных месторождений. Определены основные технологические характеристики техногенного сырья, влияющие на переработку сырья. Приведены экспериментальные данные по кучному выщелачивания данного вида георесурсов.

Ключевые слова: обогатительная фабрика, бедные некондиционные руды, кучное выщелачивание.

ОАО «Учалинский горно-обогатительный комбинат» содержит на балансе техногенную сырьевую базу, которая, при относительно небольшом техническом перевооружении может быть использована как самостоятельный источник минерального сырья. Некондиционная фракция рентгенометрической сепарации (PPC) – отсев образуется в результате вовлечения в промышленную эксплуатацию бедных руд, ранее складированных в отвалах Учалинского рудника.

Отсев PPC формируется на предприятии с 2003 года с начала внедрения технологии покусковой радиометрической сепарации. Принципиальная технологическая схема сепарационной установки предусматривает дробление и классификацию рудной массы по крупности путем грохочения с выделением отсева, крупностью – 40 + 0 мм, и кондиционной фракции крупностью +40 мм. Последняя поступает на сепарацию, где выделяются куски с содержанием меди более 0,18 % и хвосты сепарации, которые являются отвальным продуктом и используются в качестве щебня при строительстве автодорог.

Подрешетный продукт – 40+0 мм, выделенный при грохочении, является некондиционным по крупности, что обусловлено требованиями технологии PPC. Выход данного класса при грохочении достигает 40 %. По сути, отсев рентгенометрической сепарации – это бедная руда Учалинского месторождения, которую несмотря на достаточно высокое содержание в ней меди и цинка не подвергают флотации в условиях Учалинской обогатительной фабрики ввиду ее высокой глинистости, содержания окисленных рудных минералов, образовавшихся в результате продолжительного хранения в отвалах и, в целом, из-за сложного и непостоянного вещественного состава, который зависит от типа руд, складированных в различные годы на отвале бедных некондиционных руд.

Масштабы накопления отсева PPC невелики – порядка 117 тыс. т. Однако удобное расположение отвала, достаточно высокое содержание ценных компонентов в отсеве PPC, крупность материала благоприятная для выщелачивания, делают данный вид отходов наиболее привлекательным

Таблица 1

Объемы накопления и запасы основных ценных компонентов в отвалах некондиционных руд Учалинского ГОКа

№ п/п	Объект складирования	Содержание					
		Cu, %	Zn, %	S, %	Au, г/т	Ag, г/т	Cd, г/т
1	Отвал №8 – отсева рентгенометрической сепарации, 117 тыс.т.	0,4 – 0,5	1,5 – 2,2	15 – 22	0,3 – 1	8 – 12,5	30 – 70
2	Отвал №15 – некондиционные окисленные руды, 200 тыс. т	0,55 – 0,63	1,5 – 2,0	25,8	0,93	15 - 16	н.д.*
3	Отвал №13 – вкрапленная руда текущей добычи, 8 тыс. т	0,6	3 – 3,5	27,5	1,0	16,0	н.д.*
4	Отвал №6. разубоженная руда с отвала №15 и некондиционная текущей добычи, 60 тыс.т	0,55 – 0,6	1,5 – 2,0	25 – 26	0,93 – 1	15 – 16	н.д.*
5	Отвал №7 – окисленные руды Молодежного месторождения, 300 тыс. т	0,48	0,58	22	0,2 – 0,5	0,7 – 1	н.д.*
	Итого, т	3723	8870	-	0,43	5,45	-

* - н.д. – нет данных

для внедрения и последующего развития методов физико-химической геотехнологии на ОАО «Учалинский ГОК».

Внедрение технологии кучного выщелачивания (КВ) для минерального сырья сложного вещественного состава при относительно невысоких капитальных вложениях позволит отработать параметры и режимы технологии КВ для их последующей реализации при переработке окисленных и некондиционных руд, накопленных на предприятии в больших объемах (табл. 1).

Целью исследований технологических свойств отсева РРС, проводимых в лабораторных условиях, являлось изучение, разработка и испытание технологических режимов извлечения ценных компонентов из бедных руд, представленных в отсева РРС. Методика предусматривала оценку усло-

вий выщелачивания руд в перколяционном режиме с инфильтрационно-капиллярной подачей растворителя.

Совместно с геологической службой подземного рудника «Учалинский» для лабораторных исследований была отобрана представительная технологическая проба отсева РРС общим весом 140 кг, класса -40 мм. Отбор проб из отвала производился горстевым методом.

Для установления необходимых технологических параметров выщелачивания отсева РРС в отобранной пробе изучался химический, минералогический, гранулометрический составы с оценкой содержания ценных компонентов по классам крупности и физико-механические свойства. Применялись спектральный, рентгенофазовый методы анализов, минерографические и другие исследования.

Таблица 2

Химический состав отсева сепарации руд Учалинского месторождения

Компоненты	Массовая доля, %	Компоненты	Массовая доля, %
SiO ₂	27,0	FeS	н/д
Al ₂ O ₃	3,92	S _{общ}	27,3
TiO ₂	0,14	S _(S)	26,49
CaO	2,9	S _(SO4)	0,81
MgO	1,1	C _{общ}	0,28
K ₂ O	0,65	C _{орг}	<0,05
Na ₂ O	0,4	CO ₂	1,04
P ₂ O ₅	0,16	H ₂ O	0,41
MnO	0,098	Cu	0,52
Fe _{общ}	24,4	Zn	3,12

Химический анализ (табл. 2) изучаемой пробы показал, что отсев РРС характеризуется достаточно низким содержанием кремнезема (27,0%). Суммарная доля щелочных металлов составляет 1,05%, по массе преобладает K₂O (0,65%) по сравнению с Na₂O (0,4%). Они входят в состав породообразующих минералов, таких как слюды, щелочные полевые шпаты и участвуют в образовании ярозита, как продукта разрушения силикатов и сульфидов железа. Содержание CO₂ (1,04%) в руде указывает на ее низкую карбонатность. Из цветных минералов имеет преобладание цинк (3,12%), которого в 6 раз больше, чем меди (0,52%). Железо в руде составляет 24,4%, сера представлена сульфидной (26,49%) и сульфатной (0,81%) формами. В пробе присутствует как общий углерод (0,28%), так и органический (<0.05%).

В просыпи РРС в значительных количествах содержатся: селен – 26 г/т, теллур – 30 г/т, таллий в количестве 3,25 г/т, золото – 1 г/т, серебро – 17,8 г/т.

По химическому составу отсев РРС пригоден для выщелачивания. Относительно невысокое содержание карбонатов позволяет судить о целесообразности применения сернокислых растворов. Достаточно высокое

содержание в отсева сепарации сульфидов свидетельствует о необходимости изыскания эффективных реагентов - интенсификаторов процесса выщелачивания.

Минералогическим анализом установлены особенности минерального и петрографического состава отсева РРС, включающего вмещающие породы и массивные медные и медно-цинковые руды, вкрапленных и густовкрапленных разновидностей.

К вмещающим породам РРС относятся диабазы с разной степенью уралитизации и сосюритизации, кварц – хлоритовые и кварц-серицитовые метасоматиты. Диабазы – породы зеленого или зеленовато-сиреневого цвета, порфировой структуры с вкрапленниками плагиоклазов основного состава. Текстура - флюидальная. Разбиты трещинами, полости которых выполнены кварцем. Кварц-хлоритовый метасоматит – зеленоватая порода, разбитая кварцевыми прожилками. Структура лепидобластовая. Текстура - сланцеватая. Кварц-серицитовый метасоматит – светлая горная порода. Структура - гранобластовая, лепидобластовая. Текстура - массивная с элементами сланцеватости. В основной массе кварц-серицитовых метасоматитов встречается пиритная вкрапленность.

Таблица 3

Гранулометрический состав отсева РРС и распределение меди и цинка по классам крупности

Класс крупности, мм	Вес фракции, кг	Выход класса, %	Суммарный выход, %	Содержание в классе, %		Распределение по классам, %	
				Cu	Zn	Cu	Zn
-100+40	3,14	3,14	3,14	0,41	0,88	2,47	0,885
-40+30	5,25	5,25	8,39	0,41	3,7	4,13	6,22
-30+20	30,5	30,5	38,89	0,70	5,5	41,05	53,76
-20+10	20,7	20,7	59,59	0,68	3,12	27,06	20,7
-10+5	10,05	10,05	69,64	0,57	3,12	11,01	10,05
-5+3	8,80	8,80	78,44	0,45	3,02	7,61	8,51
-3+0	21,9	21,9	100	0,31	2,41	13,06	16,91
Итого:	100,00	100,00		0,52	3,12		

Руды РРС представлены как сплошными, так и вкрапленными разновидностями. В сплошных рудах содержание нерудных минералов незначительное, во вкрапленных - количество рудных минералов достигает 15 % всей массы, в основном в кварцсодержащей матрице.

Главными рудообразующими минералами являются пирит, халькопирит, сфалерит. Подчиненное значение имеют борнит, тенорит, малахит, азурит. Из нерудных минералов наиболее распространены кварц, серицит, хлорит. Резко подчиненное значение имеют ярозит, гипс, кальцит.

Текстура руд отсева РРС – массивная, порфиоровидная, вкрапленная, прожилково-вкрапленная. Реже встречаются пятнистые, полосчатые и слоистые текстуры.

Структура руд отсева РРС изменяется от тонко- до крупнозернистой. Из зернистых структур наибольшим развитием пользуется мелкозернистая. Строение большинства сульфидов – аллотриоморфное, идиоморфное строение встречается только у пирита. Наблюдаются также следующие микроструктуры: распад твердых растворов, эмульсионная структура перекристаллизации.

В целом, вещественный состав непостоянен и зависит от сорта руд, пе-

рерабатываемых на радиометрической установке. Руды, представленные в отсева сепарации, частично окислены. Помимо первичных сульфидов минеральный состав руд слагают сульфаты и, в незначительной степени, карбонаты меди и цинка, являющиеся продуктами выветривания руд. Трещины и поры кусков всех типов руд частично заполнены вторичными минералами. Трещиноватость обеспечит требуемые фильтрационные свойства выщелачиваемому массиву, как в объеме, так и внутри рудных кусков.

Для исследования фильтрационных свойств отсева РРС в массиве был проведен гранулометрический анализ отобранной пробы, так как водопроницаемость, равномерность распределения выщелачивающих растворов в объеме будущего штабеля зависят от наличия мелкого класса.

Проба рассеяна по классам: -40+20; -20+10; -10+5; -5+3; -3+0 мм. В каждом классе крупности был определен выход и оценено содержание ценных компонентов (табл. 3).

В ходе проведенных исследований установлено, что благоприятными для выщелачивания фильтрационными характеристиками обладает массив, сложенный фракцией -40+3 мм. Для обеспечения требуемой фильтрации штабеля кучного выщелачивания це-

Таблица 4

Результаты определения физико-механических характеристик материала, представленного в отсеве РРС медно-колчеданных руд

Номер пробы	Наименование пород	Удельная масса, г/см ³	Пористость	Кэфф. крепости	Водопоглощение, %	Водонасыщение, %
1	диабазы	2,80	0,88	11	0,14	0,17
2	кварц-хлоритовый-метасоматит с прожилками кварца	2,84	1,20	12	0,09	0,12
3	кварц-серицитовый-метасоматит с вкраплениями пирита	3,20	5,93	6	0,17	0,19
3	густовкрапленная пиритсодержащая руда	3,60	1,19	5	0,10	0,14
4	сплошная серно-колчеданная руда	4,49	1,11	7	0,04	0,06

лесообразно мелкую фракцию – 3 + 0 мм отсеивать путем грохочения и использовать при приготовлении закладочной смеси, либо оценить возможность ее переработки в отдельных технологических циклах. С мелкой фракцией, выход которой составляет не более 25 %, теряется около 13 % меди и 16,5 % цинка. Компенсацией такому достаточно высокому уровню потерь служит существенное, в десятки раз, повышение фильтрационных свойств выщелачиваемого массива с соответствующим повышением уровня извлечения металлов в раствор.

Исследования физико-механических характеристик отсева РРС Учалинского месторождения проводились с целью определения пригодности изучаемой руды для выщелачивания (табл.4).

Результаты определения физико-механических характеристик материала, представленного в отсеве РРС показали, что наибольшей плотностью обладают сплошные серно-колчеданные руды, наименьшей – диабазы, кварц-хлоритовые и кварц-серицитовые метасоматиты и руды. Диабазы, кварц-серицитовый метасоматит с

вкрапленниками пирита обладают повышенными характеристиками водопоглощения и водонасыщения. Поэтому в процессе реализации физико-химической геотехнологии в них следует ожидать более интенсивных процессов выщелачивания за счет проникновения растворов вглубь кусков.

Оценка физико-механических характеристик анализируемого техногенного сырья показала достаточную устойчивость и крепость необходимую для формирования штабеля кучного выщелачивания. Изучение технологических свойств техногенного сырья крупностью -40+5мм на способность к выщелачиванию проводилось перколяционным способом.

В лабораторных исследованиях параметров и режимов выщелачивания бедная руда Учалинского месторождения крупностью -40+3 мм загружалась в перколятор послойно. Класс -3+0 мм предварительно отсеивался. Масса руды, уложенной в перколятор, составила 30,150 кг. По данным химического анализа содержание меди в исходной пробе отсева РРС - 0,52 %, цинка - 3,12 %, железа - 24,4%, кремния – 27,0%.

Перколяционное выщелачивание включало в себя несколько циклов. В свою очередь, каждый цикл состоял из трех этапов. Первый этап – закисление руды, второй этап – рабочий режим, третий – аэрация. Перед выщелачиванием для ускорения процессов выщелачивания массив предварительно смачивали водой. Отмечено, что на этой стадии вымывается незначительное количество мелкодисперсного материала, который обволакивает куски руды и заполняет полости открытых трещин, что подтверждает возможность укладки руды в массив без предварительной отмывки.

Предварительными исследованиями было установлено, что наиболее рациональной концентрацией серной кислоты в цикле закисления является концентрация 10 г/л. Более высокая концентрация серной кислоты (15,20 г/л) приводит к повышенному расходу растворителя на разрушение вмещающих пород, деструкции силикатов и сульфидов и, как следствие, к усадке массива. При этом происходит заиливание мелких пор и полостей мелкодисперсным материалом.

Закисление рудного массива осуществлялось в течение 10 дней путем равномерного орошения раствором серной кислоты. В процессе закисления продуктивный раствор циркулировал в течение 10 дней, а затем отбирался на анализ. Оценка уровня содержания ценных компонентов в продуктивном растворе проводилась путем измерения их содержания фотометрическим, пламенно-фотометрическим, гравиметрическим, атомно-абсорбционными методами. В продуктивных растворах определялся водородный показатель среды.

Исследования отсева РРС после этапа закисления показали, что во вмещающих породах появились и получили дальнейшее раскрытие трещи-

ны разных генетических типов, в метасоматитах произошло расслоение по плоскостям сланцеватости с образованием открытых трещин мощностью до 0,05 мм, что привело к увеличению контакта руды с выщелачивающим агентом, к росту скорости поступления выщелачивающего раствора и повышению извлечения ценных компонентов в продуктивный раствор во втором цикле выщелачивания (рис. 1).

При деструкции минералов горных пород образовалось значительное количество мелкодисперсного глинистого материала, который снизил фильтрационные свойства массива. На поверхности рудных кусков отложились соли мелантеритовой группы (рис. 2, 3, 4).

Рабочий режим выщелачивания протекал в фильтрационном режиме. Выщелачивание проводилось раствором серной кислоты с концентрацией 2 г/л, а также с использованием кислоты модифицированной торфяной вытяжкой. На втором этапе в режиме выщелачивания массива происходит растворение и вымывание, образовавшихся на этапе закисления отсева РРС различных сульфатов, а также повышение содержания кремневой кислоты в продуктивных растворах.

Во вмещающих породах обнажаются зерна и минеральные сростки сульфидов (рис. 5), что повышает скорость поступления выщелачивающего агента к рудным минералам и степень извлечения ценных компонентов в продуктивный раствор на втором этапе выщелачивания.

На конец второго этапа выщелачивания в техногенном массиве было установлено наличие мелкого технозема из пирита и слоистых силикатов, а также вторичных минералов - карбонатов, сульфатов кальция, цементированных гелями кремневой кислоты (рис. 6),

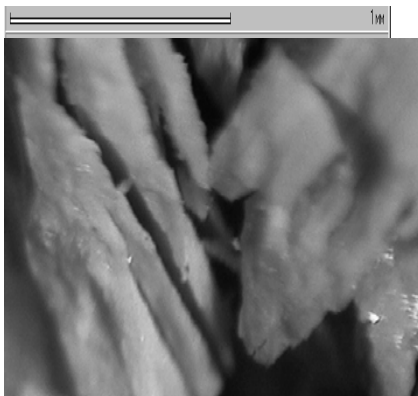


Рис. 1. *Расслоение метасоматитов по плоскостям сланцеватости*



Рис. 2. *Вторичные минералы железа и меди*

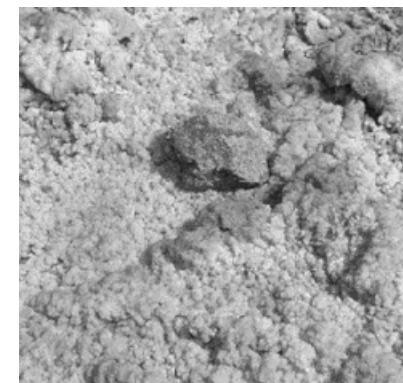


Рис. 3. *Отложение сульфатов на поверхности массива*

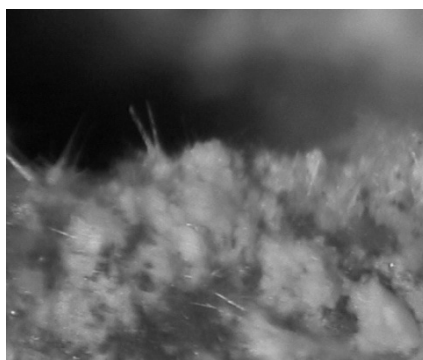


Рис. 4. *Игольчатые сульфатные образования*

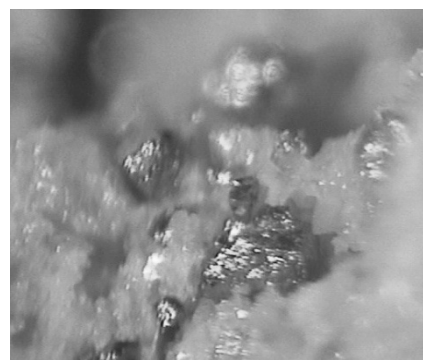


Рис. 5. *Кристаллы пирита на поверхности разрушающегося метасоматита*

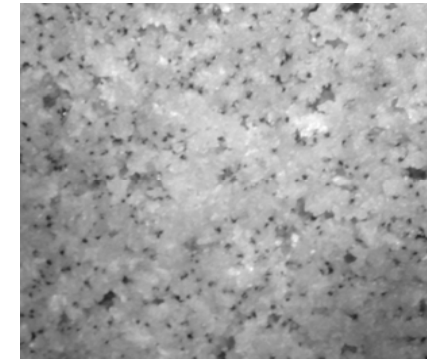
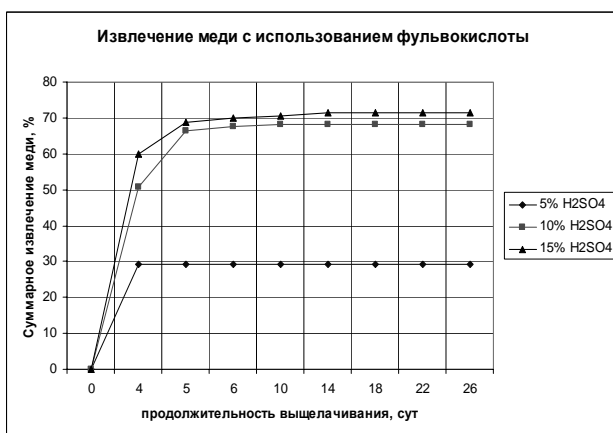
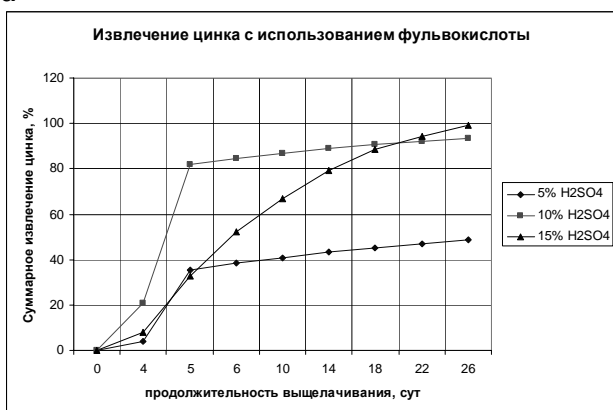


Рис. 6. *Продукт кристаллизации коллоидных растворов*



а



б

Рис. 7. Динамика извлечения меди (а) и цинка (б) при закислении руды раствором H₂SO₄ с концентрацией 5, 10 и 15 г/л и последующим выщелачиванием H₂SO₄ с концентрацией 2 г/л, модифицированной фульвокислотой

образовавшийся в результате разрушения отходов РРС, который частично забил пустоты массива, тем самым, снизив его фильтрационные свойства.

Аэрация массива перед вторым циклом выщелачивания позволила ускорить протекание реакций окисления сульфидов, тем самым повысить содержание ценных компонентов в продуктивных растворах

Анализ результатов исследований свидетельствует о достаточно высо-

ком уровне извлечения металлов в двух циклах выщелачивания с чередованием режимов закисления, рабочего и аэрации в течение 38 дней. Так, суммарное извлечение меди составило 19,07 %, цинка – 4,7 %, причем динамика процесса выщелачивания нарастающая. Уровень извлечения железа в раствор – незначительный, что является положительным фактором для переработки растворов. Высокое содержание его в растворах в первые 3 дня выщелачивания связывается с активным растворением окисленных минеральных форм. В последующих циклах выщелачивания было получено стабильное и относительно невысокое содержание железа в растворе, связанное с окислением пирита.

Была исследована возможность повышения уровня извлечения металлов в раствор с использованием интенсификаторов выщелачивания. Установлено, что эффективным модификатором раствора серной кислоты, рекомендуемым к использованию в рабочем режиме выщелачивания является фульвокислота – торфяная вытяжка, применение которой при ручном выщелачивании отсева медно-колчеданных руд, крупностью -0,25 мм позволило в лабораторных условиях получить практически полное извлечение меди и цинка (рис. 7).

В процессе выщелачивания отмечена общая тенденция снижения фильтрационных свойств массива за

счет механической и химической кольматации массива. Для обеспечения требуемых фильтрационных свойств штабеля выщелачивания целесообразен предварительный отсев тонкой фракции руды -3+0 мм.

Таким образом, изучение технологических свойств отсева РРС медно-колчеданных руд Учалинского месторождения, его сложный вещественный состав, наличие первичных и вторичных сульфидов, окисленных форм, глинистых минералов показало, что наиболее приемлемым мето-

дом переработки отсева сепарации руд Учалинского месторождения является кучное выщелачивание.

С целью эффективного вовлечения в промышленную эксплуатацию просыпи сепарации в 2008 году было принято решение о проведении исследований в опытно-промышленном масштабе в части уточнения параметров и режимов выщелачивания с использованием минерализованных рудничных вод и определением технологии переработки многокомпонентных продуктивных растворов. **ГИАБ**

КОРОТКО ОБ АВТОРАХ

Рыльникова Марина Владимировна – доктор технических наук, профессор, ведущий научный сотрудник Института проблем комплексного освоения недр РАН, info@ipkonran.ru,

Горбатова Елена Александровна – кандидат технических наук, заведующий кафедрой маркшейдерского дела и геологии, доцент ГОУ ВПО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова», г. Магнитогорск тел. 8 (3519) 29-85-40,

Емельяненко Елена Алексеевна - кандидат технических наук, доцент ГОУ ВПО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова», г. Магнитогорск, тел. 8 (3519) 29-85-40.



ДИССЕРТАЦИИ

ТЕКУЩАЯ ИНФОРМАЦИЯ О ЗАЩИТАХ ДИССЕРТАЦИЙ ПО ГОРНОМУ ДЕЛУ И СМЕЖНЫМ ВОПРОСАМ

Автор	Название работы	Специальность	Ученая степень
ШАХТИНСКИЙ ИНСТИТУТ (ФИЛИАЛ) ГОУ ВПО «ЮЖНО-РОССИЙСКОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО ТЕХНИЧЕСКОГО УНИВЕРСИТЕТА (НОВОЧЕРКАССКОГО ПОЛИТЕХНИЧЕСКОГО ИНСТИТУТА)			
ПЛЕШКО Михаил Степанович	Обоснование эффективной технологии крепления глубоких вертикальных стволов в сложных горно-геологических условиях	25.00.22	д.т.н
ВЕРЕЩАГИН Виталий Сергеевич	Обоснование параметров анкерной крепи протяжённых горных выработок на основе учета срезающих усилий в анкерах	25.00.22	к.т.н.