

УДК 622.7

Е.Л. Чантурия

**ФЛОТАЦИОННОЕ ФРАКЦИОНИРОВАНИЕ
ЗОЛОТОСОДЕРЖАЩЕГО ПИРИТА
НА ПРОДУКТЫ РАЗЛИЧНОГО КАЧЕСТВА**

Семинар № 24

Введение

Потери золота при обогащении медно – цинковых колчеданных руд и составляют 40-90 %. Ранее проведенными исследованиями [1, 2] выявлено присутствие в руде Гайского месторождения медно-цинковых золотосодержащих колчеданных руд четырех минералоготехнологических разновидностей пирита, различающихся между собой габитусом, содержанием золота и других примесей, формами вхождения золота (таблица). Четвертая минералого – технологическая разновидность пирита представляет собой зерна пирита с включениями самородного золота и характеризующиеся высоким его содержанием (от 9 г/т до 1650 г/т при среднем значении 93 г/т). Изменения содержания золота и серебра в пирите этой разновидности находятся в тесной взаимосвязи друг с другом. Крупность частиц самородного золота, обнаруженного в пирите составляет 2–7 мкм. Частицы золота

такой крупности не могут быть раскрыты при измельчении (рис. 1).

Массовая доля пирита этой минералоготехнологической разновидности в общей массе пирита составляет 14.6 %, массовая доля золота, связанная с ней составляет 85 % от всего золота, ассоциированного с пиритом. Пирит этой группы, даже в тонких классах крупности -0,074 мм, находится в сростках со сфалеритом, и многие зерна находятся в тонком сростании с кварцем (пропитка). Полученная информация позволила предположить, что высокие потери золота, наблюдаемые при переработке колчеданных медно – цинковых руд связаны с этой разновидностью пирита. И, если до сих пор все потери золота с пиритом при переработке таких руд относили к потерям "неизбежным", то в настоящее время этих потерь можно избежать, если извлечь пирит с высоким содержанием золота в отдельный продукт и направить его на переработку по специальной технологии [3].

*Минералого – технологические разновидности пирита
Гайского месторождения*

Диапазон содержания Au в пирите, г/т	Выход пирита (массовая доля), %	Содержание элементов, ppm (г/т)						Распределение Au (массовая доля), %
		Co	Zn	As	Ag,	Te	Au,	
< 0,5	0,2	129,56	169,37	57,08	3,881	9,650	0,30	0,004
0,5 ÷ 1	15,2	210,78	830,32	474,260	4,933	0,302	0,89	0,842
1 ÷ 5	70,0	203,42	1561,99	1474,206	15,514	17,674	3,32	14,427
> 9	14,6	106,66	2798,85	2084,408	34,268	5,703	93,34	84,727
Среднее	100,0						15,3	100,0

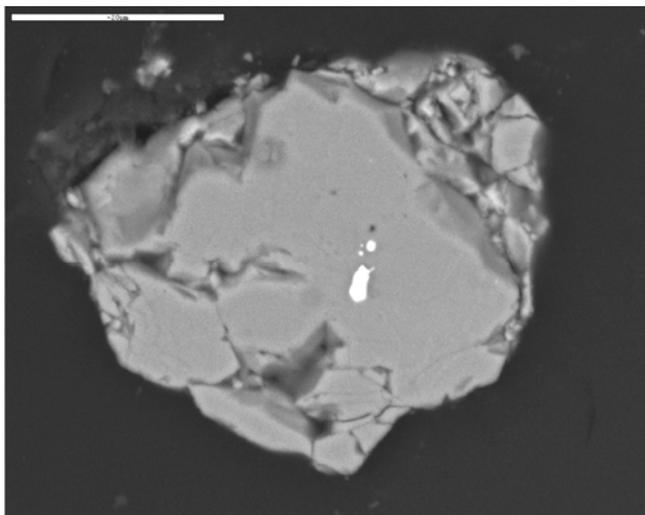


Рис. 1. Зерна самородного золота (белое) в пирите (серое) Гайского месторождения. Масштабная линейка 20 мкм

В настоящее время Гайская ОФ стабильно работает по схеме коллективно – селективной флотации, предусматривающей выделение "медной головки", коллективную флотацию сульфидов в коллективный медно – цинково–пиритный концентрат, выделение из него медно – цинкового концентрата в пенный продукт и получение пиритного концентрата камерным продуктом (хвосты медно-цинковой флотации), последующую селекцию медно – цинкового концентрата с получением цинкового концентрата камерным продуктом. Схема может включать в себя гравитационный узел для выделения свободного золота из продуктов измельчения с использованием конусных гидроциклонов и гравитационных столов, слив которых поступает на флотацию. Принято считать, что благородные металлы извлекаются в медный, цинковый и пиритный концентрат, соответственно извлечению в концентраты золотосодержащих сульфидов и свободного золота флотационной крупности.

Однако В.А. Бочаров подчеркивает, что, "на основании данных неоднократных опробований технологических процессов обогатительных фабрик, распределение золота по продуктам обогащения суль-

фидных, медных и медно – цинковых руд, определяется степенью извлечения в них пиритной серы, которая, в свою очередь, зависит от схемы и режима флотации и, прежде всего, рН среды и концентрации депрессирующих ионов" [4].

Из вышесказанного можно заключить, что сульфидное золото "идет" с пиритом, но не со всей его массой, а с частью пирита с повышенным содержанием золота. Куда выделяется эта часть пирита, там концентрируется и золото.

Расчет по данным, представленным ОАО "Гайский ГОК" (при содержании золота в руде 1,5 г/т) показывает, что потери золота от исходной руды

- с общими силикатными хвостами (выход 60 %) могут колебаться от 10 % при содержании Au в хвостах 0,25 г/т и до 44 % при содержании Au г/т.

- с пиритным камерным продуктом (хвостами медно – цинковой флотации) при их выходе 15 % могут колебаться от 7% при содержании Au 0,7 г/т и до 23 % при содержании Au 2,3 г/т.

Общие потери золота могут колебаться, соответственно, в диапазоне 20 % - 70 % от исходной руды, т. е. извлечение золота колеблется от 80 до 30 %.

В целом, можно уверенно утверждать, что потери золота при переработке руд определяются пиритом, как в коллективных хвостах, так и в хвостах медно – цинковой флотации.

Дальнейшие исследования проводились с целью

- выявления причин потерь пирита с высоким содержанием золота (9 г/т и бо-

лее) по существующей технологической схеме;

- установления возможности и условий для селективного флотационного выделения минералого-техно-логической разновидности пирита с повышенным содержанием золота из общей его массы для дальнейшей переработки по специальной технологии;

- снижения потерь золота при обогащении медно – цинковых руд на Гайской ОФ и повышение комплексности их переработки.

Объекты и методы исследования

Исследования проводились на моно-минеральных пиритных продуктах, выделенных из концентрата гравитационных столов (106.8-116.2 г/т Au и 30.8-26.7 г/т Ag) Гайской обогатительной фабрики путем их обогащения (доводки) гравитационными, магнитными и электрическими методами.

Изучение проводилось с использованием оптической микроскопии, неструктурного пленочного структурного травления, сканирующей электронной микроскопии (SEM), энергодисперсионного и рентгеноспектрального микроанализов, метода определения удельного сопротивления и термоЭДС, гравитации, магнитной и электрической сепарации, флотации, инструментального нейтронно-активационного анализа (ИНАА), атомно - адсорбционного анализа.

Флотация пирита проводилась бутиловым ксантогенатом (БКс).

Результаты исследований

Результаты проведенных исследований показали, что флотация пирита в условиях щелочности среды (рН 10, создаваемое известковым молоком), приближенных к реальным условиям коллективной сульфидной флотации предприятия (рН 9 -10 , 200 -260 СаО св.) приводит к депрессии пирита с высоким содержанием золота и переходу его в камерный продукт (рис. 2) и, соответственно, в условиях фабрики, в отвалы хвосты.

С повышением концентрации БКс и увеличением выхода пирита в пенный продукт, содержание золота в камерном продукте флотации, и, соответственно, его извлечение, возрастает. В результате в камерном продукте может быть сконцентрирован пирит с высоким содержанием золота до 333–564 г/т Au при извлечении золота 98–99 %. Полученные результаты свидетельствуют о весьма высоких потерях сульфидов и, в частности, пирита в процессе коллективной медно – цинково-пиритной флотации.

Предусмотренная на предприятии операция контрольной флотации хвостов с возвратом концентрата в голову процесса позволяет доизвлечь часть сульфидов меди, цинка и пирита, оставляя пирит с повышенным содержанием золота в камерном продукте.

Для извлечения металлов и серы из хвостов коллективной флотации Гинцветметом совместно с Унипромедью и Гайской обогатительной фабрикой разработана и внедрена технология с использованием трехпродуктового гидроциклона. По этой технологии "коллективные хвосты поступают на дофлотацию сульфидов при рН 9 – 10,5, создаваемом известью в начале коллективного цикла. Новым в данной технологии является применение модифицированных реагентов – собирателя ксантогената с электролитом (расход 10–15 г/т) и подкисляющего активатора на основе фосфорсодержащей медной соли для флотации пассивированных известью сульфидов (расход – до 50 г/т). После дофлотации сульфидов потери меди снизились на 1,6–2,2 %, цинка – на 2 – 8 %, серы – на 2,3–20,5 %" [5].

Как упоминалось выше, содержание пирита в коллективных хвостах колеблется от 5 до 10 %, т.е. от 3 до 6 % от исходной руды, а содержание золота в них от 0, 25 до 1,5 г/т. По - видимому, столь незначительное содержание пирита в коллективных хвостах не привлекало к нему должного внимания.

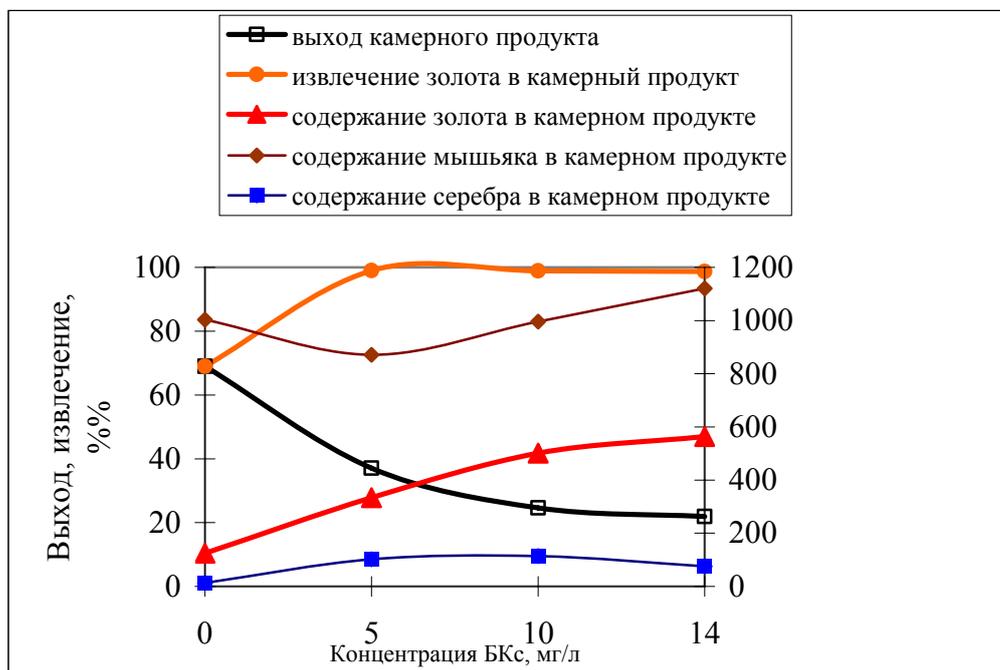


Рис. 2. Результаты флотации мономинеральной фракции пирита в щелочной среде (pH 10), создаваемой известковым молоком, при различных концентрациях бутилового ксантогената в пульпе

Между тем расчеты показывают, что при содержании общего золота в хвостах 1,1 г/т, пиритного золота 0,74 г/т, выходе хвостов от руды 60 % и содержании в них пирита 5,1 %, содержание золота в таком пирите составляет 14,5 г/т. Этот пирит по содержанию в нем золота и выходу (около 10 % в пересчете на пирит в руде) вполне соответствует четвертой минералого – технологической разновидности пирита гайского месторождения (таблица). Кроме того, содержание золота в этом пирите сопоставимо со средним значением содержания золота в пирите руд Гайского месторождения, перерабатываемых на ОФ, полученном при его минералого – технологическом изучении (таблица): 15,3 г/т. При этом следует иметь в виду, что данные по среднему содержанию золота в пирите по месторождению при минералого – технологическом изучении могут быть завышены из – за необходимости отбора зерен из богатого по золоту гравитационного концентрата фабрики.

Потери золота в отмеченных условиях при содержании золота в исходной руде 2 г/т могут составить:

- с коллективными хвостами от исходной руды – 33 %;
- с пиритом коллективных хвостов от исходной руды - около 22,2 %;
- в пересчете на пирит (при среднем содержании золота в пирите исходной руды по данным минералогического и фазового анализов 1,8 г/т) - около 82 %.

Таким образом, результаты проведенных исследований позволяют сделать вывод о возможности разделения пирита флотацией ксантогенатом в щелочной среде, создаваемой известковым молоком, на различные по содержанию золота минералого – технологические разновидности. Пирит с высоким содержанием золота выделяется камерным продуктом 333–564 г/т при выходе продукта 40–20 % и извлечении в него золота 99–98,7 %.

Можно также заключить, что значительные потери золота при переработке

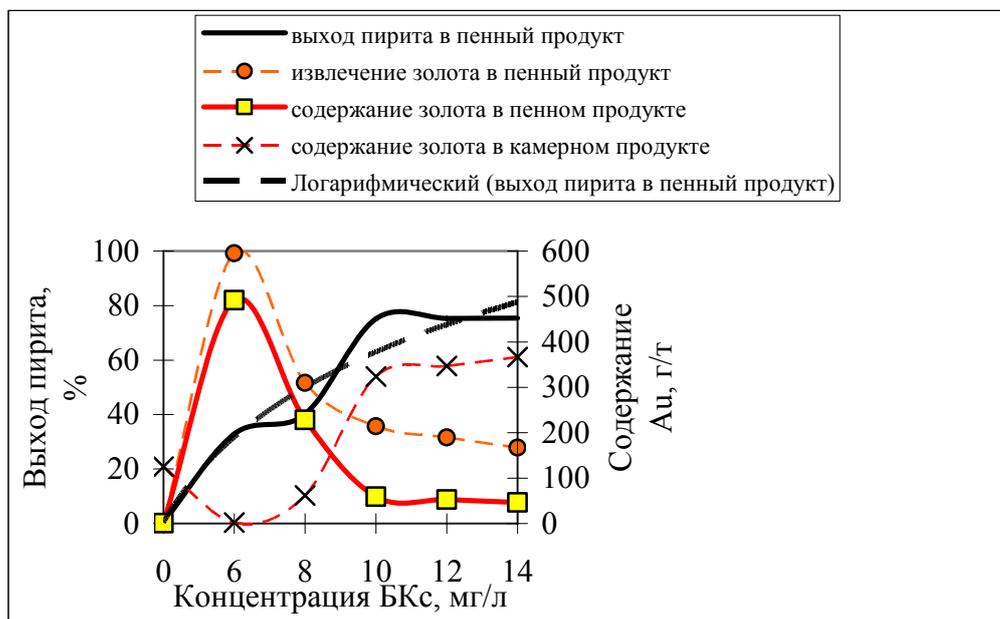


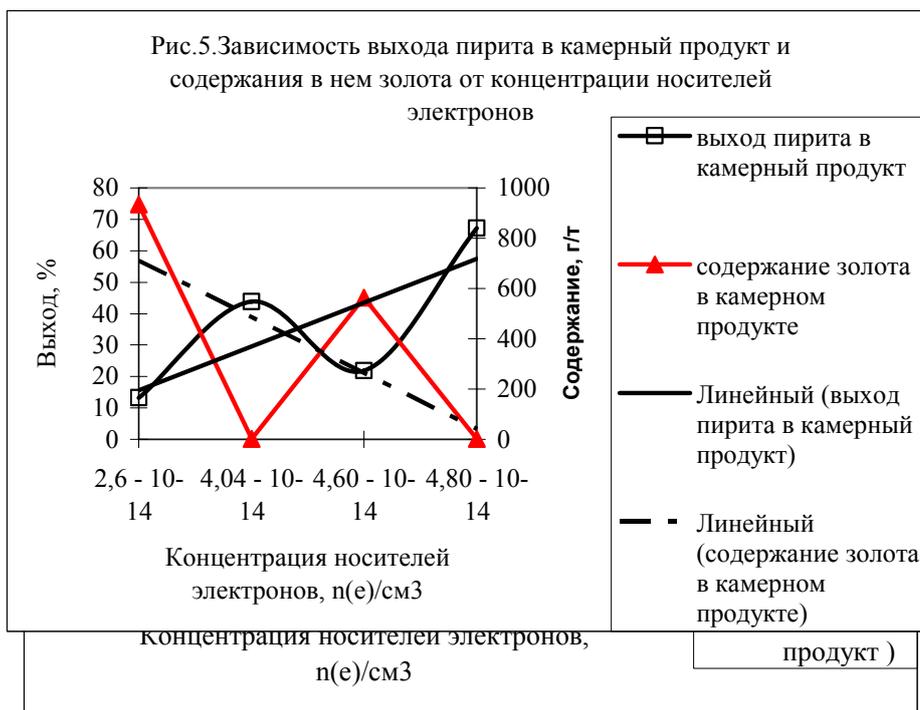
Рис. 3. Зависимость выхода пирита в продукты флотации, содержания и извлечения в них золота от концентрации бутилового ксантогената (рН 5,4)

руд происходят в одном из основных узлов существующей технологической схемы – коллективной сульфидной флотации. Пирит с наиболее высоким содержанием золота остается в камерном продукте и теряется с текущими хвостами фабрики.

В хвостах коллективной флотации ОФ теряется от 10 до 20 % пирита, причем на дальнейшее обогащение в составе коллективного сульфидного концентрата поступает пирит уже обедненный по золоту. Дальнейшая селекция коллективного медно – цинкового концентрата от пирита осуществляется в еще более щелочной среде, создаваемой известью (рН 12 и более), что приводит к полной депрессии пирита всех минералого–технологических разновидностей и получению пиритного продукта хвостами медно–цинковой флотации. Дальнейшее разделение пиритного продукта на различные по содержанию золота фракции возможно только после предварительной десорбции реагентов и обновления поверхности пирита.

Для выявления возможности разделения различных по содержанию золота минералого–технологических разновидностей пирита было изучено поведение пирита при флотации в кислой среде (рН 5,4), создаваемой раствором соляной кислоты (рис. 3).

При концентрации БКс 6 мг/л пирит с высоким содержанием золота переходит в пенный продукт с выходом 32,85 %, содержанием золота 491,88 г/т и извлечением золота 99 %. Камерный продукт флотации содержит 2,11 г/т золота. Дальнейшее увеличение концентрации БКс приводит к равномерному повышению выхода пенного продукта, что вполне согласуется с классическими представлениями о флотиремости пирита в кислой среде, но пирит с повышенным содержанием золота концентрируется в камерном продукте. Содержание золота в камерном продукте повышается, и при концентрации БКс 10 мг/л и 14 мг/л составляет 324 г/т и 367 г/т соответственно при извлечении золота в камерный продукт 64,3 % и 72 %, т.е. пи-



рит с повышенным содержанием золота переходит в камерный продукт флотации. Таким образом, при pH 5,4 и концентрации бутилового ксанто-гената до 6 мг/л возможно выделение пирита с повышенным содержанием золота в пенный продукт.

Изучение электрофизических параметров продуктов флотации мономинеральных фракций пирита показало, что все исследованные образцы обладают электронной проводимостью n – типа, но количественные значения электрофизических параметров пирита, выделенного в пенный и камерный продукты флотации, различны.

С увеличением концентрации носителей, (в данном случае электронов), уменьшается выход (извлечение) пирита в пенный продукт (рис. 4) и увеличивается – в камерный продукт (рис. 5). Это явление не зависит от pH среды и объясняется наличием свободных электронов в объеме

минерала, что повышает его электрохимический потенциал в отрицательную сторону, затрудняя переход электронов из жидкой фазы в твердую. В данном случае, затрудняя адсорбцию анионов ксантогената на поверхности пирита.

Полученные результаты полностью согласуются с данными, полученными ранее на сульфидных минералах другими исследователями [6]. Очевидно, разница в концентрации носителей связана с различием в концентрации донорных (Co, Ni) и акцепторных (As, Sb) примесей в пирите камерного и пенного продукта.

Для содержания золота в пирите пенных и камерных продуктов флотации в сравнении с выходом наблюдается обратная зависимость от концентрации носителей: в пирите пенного продукта с возрастанием концентрации носителей содержание золота равномерно возрастает, а в пирите камерного продукта – падает (рис. 4, 5).

Основные итоги исследования:

Установлена возможность выделения пирита с повышенным содержанием золота (более 9 г/т) с включениями самородного золота крупностью 2 – 7 мкм:

- в пенный продукт флотации в кислой среде (рН 5,4) при концентрации БКс до 6 мг/л

- в камерный продукт флотации в щелочной среде (рН 10), создаваемой известью при концентрации БКс 5 - 15 мг/л.

- богатые золотом продукты флотации могут содержать до 500–600 г/т золота при его извлечении 99 %. "Бедные" продукты флотации содержат около 2 – 2,5 г/т золота.

- характеристики полученных фракций пирита близки по содержанию золота и других элементов примесей к соответствующим характеристикам выделенных ранее и вышеупомянутых минералогическо-технологических разновидностей пирита Гайского месторождения.

Выводы

С экономической и технологической точек зрения, для снижения потерь золота при переработке медно – цинковых колче-

данных руд на Гайской ОФ, наиболее целесообразно:

- вести коллективную медно – цинково – пиритную флотацию при повышенной щелочности среды с использованием извести для депрессии пирита с повышенным содержанием золота и перевода его в коллективные хвосты с последующим доизвлечением в отдельном цикле без возврата продуктов обогащения в основной цикл;

- Доизвлечение пирита и перешедших с ним в коллективные хвосты сульфидов меди и цинка может быть осуществлено в отдельном цикле по технологии, предусматривающей использование трехпродуктового гидроциклона с последующей флотацией доизмельченных песков и среднего слива. Флотация должна осуществляться в кислой среде (рН 5,4 – 5,6) при концентрациях ксантогената до 6 мг/л. Полученный в результате обогащения сульфидный продукт должен не объединяться с продуктами обогащения основного цикла, а направляться на переработку по специальной технологии.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Чантурия Е.Л., Кринов Д.И., Бортников Н.С. // Горный информационно – аналитический бюллетень, 2004, № 7. – С. 309–315.

2. Чантурия Е.Л., Бортников Н.С., Кринов Д.И. Керзин А.Л. О взаимосвязи внутреннего строения, химического состава, и технологических свойств пирита на примере Гайского месторождения. Физико-технические проблемы разработки полезных ископаемых, №3, 2005, с.90-98.

3. Использование мощных электромагнитных импульсов в процессах дезинтеграции и вскрытия упорного золотосодержащего сырья / В.А. Чантурия, И.Ж. Бунин, В.Д. Лунин и др. // ФТПРПИ. – 2001. – № 4.

4. Бочаров В. А., Игнаткина В.А., Лапина Г.А., Хачатрян Л.С. Особенности извлечения золота из золотосодержащих сульфидных руд, 2004, с 297-301

5. Бочаров В.А., Рыскин М.Я.. Технология кондиционирования и селективной флотации руд цветных металлов. – М.: Недра,1993.

6. Шафеев Р.Ш. Взаимосвязь полупроводниковых свойств минералов с действием флотационных реагентов. Флотационные свойства полупроводниковых минералов. – М.: Недра, 1966, с 10 – 24.;

7. Плаксин И.Н., Р.Ш. Шафеев, Матвеев Ю.Н. О взаимосвязи электрофизических и электрохимических параметров реального кристалла. Флотационные свойства полупроводниковых минералов. – М.: Наука, 1966, с. 24 – 28.;

8. Чантурия В.А. Электрофизические параметры и адсорбционная способность минералов. Флотационные свойства полупроводниковых минералов. – М.: Наука, 1966, с. 28 – 32;

9. Шафеев Р.Ш., Саградян А.Л., Абрамян С.А., Исаакян Р.И. Исследование электрофизических параметров сульфидных минералов Армянской ССР (молибденит, халькопирит, пирит) Известия АН Армянской ССР, Науки о Земле, 2, 52 – 59, 1970.

Коротко об авторах

Чантурия Е.Л. – Московский государственный горный университет.

ДИССЕРТАЦИИ

**ТЕКУЩАЯ ИНФОРМАЦИЯ О ЗАЩИТАХ ДИССЕРТАЦИЙ
ПО ГОРНОМУ ДЕЛУ И СМЕЖНЫМ ВОПРОСАМ**

<i>Автор</i>	<i>Название работы</i>	<i>Специальность</i>	<i>Ученая степень</i>
САНКТ-ПЕТЕРБУРГСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ГОРНЫЙ ИНСТИТУТ им. Г.В. ПЛЕХАНОВА			
ЯНКИЛЕВИЧ Светлана Валентиновна	Обоснование эффективной технологии экологически чистого скважинного отбора микробиологических проб из подледниковых водоемов	25.00.15	к.т.н.