

## **ОТЗЫВ**

**официального оппонента**

**на диссертационную работу Павловой Ульяны Михайловны  
«Интенсификация флотационной сепарации черносланцевого сырья  
с использованием физико-химических воздействий»,  
представленную на соискание учёной степени кандидата технических  
наук по специальности 25.00.13 – «Обогащение полезных ископаемых»**

### **1. Структура и объем работы**

Диссертационная работа состоит из введения, пяти глав, заключения, списка литературы, включающего 115 источников, и 2 приложений. Работа изложена на 137 страницах машинописного текста, содержит 56 рисунков и 41 таблицу.

### **2. Актуальность темы диссертации**

Углубленное изучение вещественного состава и технологических свойств новых нетрадиционных источников стратегических металлов имеет большое значение для обеспечения условий их последующего наиболее успешного вовлечения в переработку. К особой группе нетрадиционных источников минерального сырья относятся горючие сланцы с содержанием органического вещества 10-30%, широко распространенные в мире и России. Помимо углеводородных соединений в горючих сланцах выявлены повышенные концентрации металлов, таких как уран, ванадий, рений, редкоземельные металлы и др. С точки зрения металлоносности типичными являются горючие сланцы Прибалтийского сланцевого бассейна. Диктионемовые сланцы (граптолитовые аргиллиты) бассейна являются бедной, сложной, комплексной рудой, обладающей большими резервами, вовлечение в переработку которой будет определяться наличием новых решений по добыче самих сланцев и технологиям обогащения, позволяющим снизить затраты и обеспечить максимальную извлекаемую ценность в товарную продукцию. Известен успешный опыт извлечения урана из горючих сланцев Советского Союза и Швеции; никеля, урана, РЗМ – из углистых сланцев Финляндии. Осталась нерешенной проблема

глубокой комплексной переработки сланцев с извлечением горючей (энергетической) составляющей сланцев, металлов платиновой группы (МПП), расширения возможностей извлечения редких металлов.

Диссертационная работа Павловой Ульяны Михайловны, посвященная актуальным вопросам переработки этого проблемного рудного сырья: выявления особенностей вещественного, минералогического состава, установлению закономерностей интенсификации процессов рудоподготовки, флотации углеродистой составляющей и сульфидов, установлению связи с ними МПП и редких металлов, разработке технологических решений, обеспечивающих увеличение эффективности извлечения МПП и рения. Решение этих вопросов является актуальной задачей и представляет научный и практический интерес.

### **3. Научная новизна и результаты диссертационной работы**

В работе представлено подробное обоснование комплекса современных инструментальных исследований, выбранных для определения вещественного состава пробы черносланцевой руды. С помощью использования компьютерной томографии, электронной микроскопии, рентгенофлуоресцентного анализа и метода масс-спектрометрического в индуктивно связанной плазме, в работе выявлены особенности минералогического строения диктионемовых сланцев (ДС), а также наличие в образцах потенциально ценных компонентов: V, U, Re, Mo, Cu, Ni, Co, Pt, Pd, Ir, Rh, Ru. Горючий сланец состоит из минеральной составляющей (наблюдаются обломки полевых шпатов (преимущественно калиевого), кварц, глинистые минералы (гидрослюда, каолинит, хлорит), а также зерна пирита, барита, оксидов железа, сульфиды никеля, самородный никель, карбонатные минералы) и органического вещества). Пробу можно характеризовать как алюмосиликатно-карбонатную.

На основании изучения кинетики измельчения ДС автором получено уравнение кинетики измельчения ДС, позволяющее прогнозировать выход и прирост контрольного класса в питании флотации от времени измельчения,

обоснована целесообразность применения аминокислотной кислоты (АУК) в операции измельчения, которая играет роль активатора при измельчении и повышает эффективность последующей флотации.

С использованием метода математического планирования определены зависимости влияния реагентного режима (расход АУК и керосина) на содержание в концентрате углеродистой флотации таких элементов как – органический углерод, ванадий, молибден и ΣМПГ (палладий, платина, рутений, иридий).

Установлены параметры фотолитического воздействия на воду для создания оптимальных окислительно-восстановительных условий флотации сульфидов.

На основании комплекса полученных результатов обоснована принципиальная технологическая схема (рис. 4.1), включающая использование эффекта механоактивации на стадии измельчения руды и последующей углеродистой флотации за счет использования аминокислотной кислоты и фотолитического воздействия на сульфидную флотацию. Разработанные решения имеют патентную защиту: способ повышения извлечения платиноидов из нетрадиционного платиносодержащего сырья (патент РФ № 2576715 от 10.03.2016 г.) и способ флотационного извлечения редких металлов из черносланцевого сырья с использованием фотолиза (патент РФ № 2612162 от 02.03.2017 г.).

Научная новизна работы заключается в выявлении особенностей вещественного и минерального состава ДС, установлении зависимости влияния расхода аминокислотной кислоты и аполярного собирателя на содержание органического углерода в концентрате и ассоциированных с ним стратегических металлов; разработке и обосновании способов обогащения черносланцевого сырья с использованием механохимической активации на стадии рудоподготовки и фотолиза на стадии флотации.

#### **4. Достоверность и обоснованность научных положений и результатов работы**

Представленные в диссертации научные положения, выводы и рекомендации достаточно аргументированы и подтверждены проведенными исследованиями.

Первое защищаемое положение доказано во второй и третьей главах результатами выявления минералогических особенностей диктионемовых сланцев, разработанным способом повышения извлечения платиноидов из черносланцевого сырья, результатами анализа концентратов углеродистой флотации.

Второе защищаемое положение в полной мере доказано в четвертой главе обоснованием выбора эффективных физико-химических воздействий, прогнозом форм нахождения ценных компонентов с помощью термодинамического моделирования, разработанным комплексным подходом к обогащению черносланцевого сырья.

Достоверность и обоснованность изложенных в диссертационной работе положений, выводов и рекомендаций подтверждается представительным объемом данных, проанализированных с применением современных высокочувствительных методов, математической обработкой результатов исследований, а также положительным результатом их апробации на международных и всероссийских конференциях и форумах.

Несмотря на общий достаточно высокий уровень диссертационной работы Павловой У.М., необходимо отметить ряд замечаний.

1. На стр. 41 указано, что в исследовании ДС Прибалтийского бассейна горючих сланцев на первом этапе (40-е годы) в рамках атомного проекта был выполнен подсчет запасов U, а также Ni, Mo, V и S. Следовательно, в рамках выполнения геолого-разведочных работ проводились и технологические исследования, результаты которых следовало бы привести в обзоре.

2 Приведенные данные в главе 2 (рис. 2.10) дают общее представление о составе изучаемого объекта (количественная оценка наличия алюмосиликатной, известковитой и углеродсодержащей частей, суммарное количество акцессорных минералов). Далее идет качественное описание отдельных структур и минералов пробы. Целесообразно было бы дополнить эти данные результатами количественного рентгенофазового анализа по более детальному минеральному составу пробы, а также по возможности определить связь потенциально ценных металлов с составляющими пробы, что является ценной информацией для обоснования дальнейших исследований по извлечению полезных компонентов из руды.

3. В табл. 2.6 представлен химический состав минеральной части руды, отдельно есть данные по углероду и сопутствующим металлам. Целесообразно было бы представить общую таблицу данных химического состава, включающую содержание углерода и всех металлов, представляющих потенциальную ценность. Ничего не говорится о РЗМ в пробе, хотя в других работах указывается на наличие РЗМ в ДС, и у автора есть публикация на эту тему.

4. В табл. 3.1 не приведен гранулометрический состав материала +1,6 мм, который составляет 45,1%. Не понятно до какой крупности дробился исходный материал, что характеризует эта таблица, какая номинальная крупность дробления. По представленным данным в табл. 3.1 это не может быть питанием последующего измельчения, куда, как следует из текста, диссертации направляется материал крупностью -2+ 0 мм.

5. В главе 3 (п.3.4) автором применяется матрица планирования, соответствующая мелко факторному эксперименту (план Коно на кубе  $K^0$ ). При этом не пояснен критерий выбора данного плана. Также не обоснованы выбранные для исследования факторы и диапазоны их варьирования.

6. Для создания оптимальных условий извлечения рения автор выделяет область наиболее устойчивого состояния оксидов рения (раздел

4.2). Рений входит в состав сульфидов в виде изоморфной примеси. Поэтому следовало бы, прежде всего, определить сульфиды каких основных металлов (медь, молибден) необходимо извлекать и определить условия для оптимальной флотации именно этих сульфидов.

7. При исследовании сульфидной флотации в качестве варьируемого фактора выбрано время воздействия ультрафиолетового излучения, при этом не указаны характеристики УФ лампы (мощность, длина волны и т.д.).

8. По результатам работы следовало бы привести конечные балансовые показатели переработки сланцев по предложенной технологии с указанием выхода концентратов, содержания в них всех полезных компонентов и их извлечения, а также следовало бы привести минеральный состав концентратов. Получение этих данных из приведенных трехмерных моделей довольно затруднительно.

9. Данные укрупненной экономической оценки переработки ДС следовало бы привести в более развернутом виде с указанием конкретной конечной товарной продукции и расшифровкой основных статей по затратам на получение концентратов и затратам на получение из них конечных товарных продуктов металлов, имеющих рыночную стоимость.

10. Трудно согласиться с представленной оценкой экономической эффективности по формуле 5.1. Это, по сути, расчет величины извлечения металлов из руды, если берутся в расчет только извлеченные в данном случае МПГ и Re. Для полной оценки необходимо принимать в расчет и другие металлы, такие как U, V, Mo, PЗМ и др. Из этой формулы также не ясно как влияет на эффективность уровень цен, так как этот показатель присутствует и в числителе и в знаменателе формулы. Перспектива и эффективность освоения горючих сланцев оценивается и уровнем цен, в работах ИМГРЭ ранее указывалось, что ДС могут начать осваиваться как рудное сырье при достижении ураном порогового значения свыше \$80 за фунт  $U_3O_8$ .

В работе также имеются незначительные опечатки, и отсутствует ряд уточнений, необходимых для понимания представленных результатов.

Указанные замечания **не снижают** научной и практической ценности выполненного диссертационного исследования.

#### **4. Заключение о соответствии диссертации критериям «Положения о порядке присуждения ученых степеней»**

Диссертация Павловой У.М является законченной научно-квалификационной работой, в которой изложены научно обоснованные решения для создания рациональной технологии комплексной переработки диактонемовых сланцев, что является существенным вкладом в обеспечение расширения перспективной ресурсной базы редких и благородных металлов. В работе получены новые научные данные по составу, технологическим свойствам, методам интенсификации флотационных процессов. Совместно с ранее разработанными гидрометаллургическими процессами предложенные решения флотационного обогащения позволят обеспечить наиболее полное извлечение ценных компонентов из очень сложного по составу комплексного источника нетрадиционного минерального сырья.

В ходе выполнения работы автор освоила новейшие методы инструментальных исследований, планирования экспериментов, разработки математических зависимостей и построения моделей.

Основные результаты диссертации опубликованы в 10 печатных трудах, в том числе в 4 статьях в журналах, входящих в перечень ВАК Министерства образования и науки Российской Федерации (из них 2 статьи в международной базе цитирования Scopus), а также получено 2 патента на изобретения. Содержание реферата полностью соответствует основным идеям и выводам диссертации.

Диссертационная работа и автореферат Павловой Ульяны Михайловны на тему «Интенсификация флотационной сепарации черносланцевого сырья с использованием физико-химических воздействий»

отвечают общим требованиям ВАК, ГОСТ, предъявляемым к кандидатским диссертациям и соответствующим им авторефератам. Диссертация имеет достаточно четкую логическую последовательность изложенного материала. Текст диссертации написан грамотным литературным языком, хорошо структурирован, снабжен достаточным количеством исходных данных и расчетов.

Диссертация Павловой У.М. соответствует всем требованиям п.9 «Положение о порядке присуждения ученых степеней» (утвержденного постановлением Правительства РФ № 842 от 24.09.2013г.). Автор диссертационной работы Павлова Ульяна Михайловна заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук, по специальности 25.00.13 – «Обогащение полезных ископаемых».

Официальный оппонент,  
главный научный сотрудник -  
советник генерального  
директора по технологии,  
Федеральное государственное  
бюджетное учреждение  
"Всероссийский научно-  
исследовательский институт  
минерального сырья им.  
Н.М.Федоровского"  
д.т.н., профессор

Курков Александр Васильевич

Федеральное государственное бюджетное  
учреждение "Всероссийский научно-  
исследовательский институт минерального  
сырья им. Н.М. Федоровского"  
119017, г. Москва, Старомонетный пер., д.31.  
Телефон: (495) 951-50-43  
E-mail: [kurkov@vims-geo.ru](mailto:kurkov@vims-geo.ru)  
12.11.2018

