

## **ОТЗЫВ**

**официального оппонента на диссертационную работу**

**Зозули Артема Михайловича**

**«Совершенствование технологии блочного подземного выщелачивания скальных урановых руд (на примере Стрельцовской группы урановых месторождений)», представленную на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 25.00.22 – Геотехнология (подземная, открытая и строительная)**

### **Актуальность темы**

ПАО «Приаргунское производственное горно-химическое объединение» (ППГХО) располагает сырьевой базой на основе урановых месторождений Стрельцовского рудного поля. За период более 50 лет эксплуатации сырьевая база в значительной степени обеднена, хотя запасы руд весьма значительны. Остаточные запасы руд имеют низкое содержание урана, что не позволяет при современной цене на уран рентабельно вести добычу руд традиционными технологиями. Применение современных физико-химических технологий дает возможность решить вопрос повышения эффективности отработки бедных урановых руд. Одной из таких технологий является блочное подземное выщелачивание (БПВ). Проводимые ранее на предприятии работы по использованию этой технологии не имели достаточного успеха. Для масштабного внедрения БПВ для отработки бедных урановых руд требуется совершенствование технологических процессов подземного выщелачивания скальных руд. Поэтому нужно решить научно-техническую задачу, которая позволит технологии БПВ сделать одной из основных технологий эффективной отработки бедных урановых руд. В свете решения этой задачи тема диссертационной работы Зозули А.М. является весьма актуальной. Основная идея работы состоит в том, что повысить эффективность отработки бедных урановых руд возможно совершенствованием процессов взрывной рудоподготовки сырья для выщелачивания на основе установленных зависимостей параметров буровзрывных работ от горно-геологических характеристик горнорудной массы, а повысить извлечение урана в продуктивный раствор возможно предотвращением коагуляции замагазинированной руды и переотложения выщелоченного урана в виде гидроксида урана.

### **Научная новизна и значимость работы состоит в том, что:**

- предложена методика формирования оптимального гранулометрического состава магазинируемых руд на основе расчета параметров БВР с учетом концентрации свободного кремнезема во взрываемых рудах, мощности рудного тела и длины взрывных скважин;

- предложена методика формирования рудного магазина размещением обогащенной руды в нижней части камеры, а обедненной – в верхней, что позволяет повысить извлечение урана в продуктивный раствор;

- разработана технология устранения механической кольматации замагазинированной руды с помощью мощного водо-воздушного импульса через перфорированный трубопровод;

- разработана технология предотвращения переотложения выщелоченного урана подачей рабочего раствора с заданной концентрацией серной кислоты через пробуренные в замагазинированной рудной массе горизонтальные скважины;

- предложена методика прогнозирования показателей извлечения урана в продуктивный раствор на основе анализа геолого-технологической ситуации.

### **Практическая ценность работы заключается в том, что**

- усовершенствованная методика расчета параметров БВР при взрывной рудоподготовке позволяет заменить сложные технические расчеты использованием расчетных параметров полученных на основе установленных зависимостей их от физико-механических свойств горнорудного массива;

- применение послойной укладки магазинируемой руды в камере: обогащенной в нижней части, а обедненной в верхней и мероприятия по предотвращению переотложения урана позволяет повысить извлечение урана в продуктивный раствор на 18 %;

- технологическая схема устранения механической кольматации в процессе выщелачивания замагазинированной руды на основе воздействия на магазин водо-воздушного импульса совместно с другими мероприятиями позволяет достичь извлечения урана в продуктивный раствор в 85 %.

Все научно-технические решения, предложенные в диссертационной работе, внедрены в процесс проектирования горных работ.

Внедрение в промышленное производство научно-технических разработок автора позволит:

- вовлечь отработку дополнительно более 50 тыс. т урана, локализованного в бедных рудах;

- уменьшить эксплуатационные затраты на 10 %;

- продлить срок существования предприятия на 15 лет.

Суммарный расчетный экономический эффект от освоения результатов диссертационной работы составляет 237 млн руб. в год за счет повышения извлечения урана в раствор на 20 %.

**Степень обоснованности и достоверности научных положений, выводов и рекомендаций подтверждается правильным выбором поставленных задач исследования; адекватным для корректной оценки результатов иссле-**

дований количеством отобранных проб и проведенных анализов; высокой сходимостью теоретических показателей и результатов экспериментов, что подтверждается опытно-промышленными работами; применением при проведении испытаний современных технических средств; использованием при обработке информации сертифицированных компьютерных программ; высоким экономическим эффектом от внедрения разработок в производство.

### **Характеристика структуры и содержания работы**

Разделы диссертационной работы логически связаны, что позволяет четко проследить ход получения научных результатов. Выводы, полученные автором, не противоречат научным результатам других исследователей, а лишь дополняют эти исследования.

Диссертация состоит из введения, 4 глав, заключения и содержит 202 страницы машинописного текста, включая 76 рисунков, 14 таблиц, список использованной литературы из 108 наименований и 7 приложений.

**Во введении** обоснована актуальность темы, которой посвящена работа; сформулированы цель, основная идея и научные положения, выносимые на защиту, определена научная новизна и практическая значимость.

**В первой главе** приведен анализ горно-геологических условий локализации уранового оруденения месторождений Стрельцовского рудного поля; дана характеристика рудных образований, как объектов разработки; представлены физико-механические свойства руд и пород.

Проанализирована технология блочного подземного выщелачивания скальных урановых руд с учетом опыта как отечественного, так и зарубежного. Проведенный анализ дает возможность выявить как положительные, так и негативные факторы использования данной технологии отработки радиоактивных руд. Все это позволяет сформулировать конкретные задачи исследования.

**Во второй главе** рассмотрены вопросы взрывной рудоподготовки бедных урановых руд к подземному выщелачиванию. Приведены результаты научных исследований по установлению зависимостей параметров буровзрывных работ от физико-механических и горнотехнических характеристик руд и вмещающих пород месторождений Стрельцовского рудного поля. По результатам исследований выявлены зависимости параметров БВР от характеристик сырья, что позволяет наметить пути совершенствования рудоподготовки под БПВ. Установлено, что определяющим показателем, влияющим на величину параметров БВР, является содержание свободного кремнезема в породах, вмещающих оруденение. Проведенные исследования дают возможность усовершенствовать существующую методику расчета параметров БВР. По результатам проведенных исследований сформулировано первое научное положение.

**В третьей главе** рассмотрен вопрос повышения извлечения урана в раствор и предложена схема рудоподготовки сырья под БПВ.

В результате математического моделирования процессов фильтрации рабочих растворов через замагазинированную горнорудную массу установлено, что снижение извлечения урана в продуктивный раствор при выщелачивании происходит в результате переотложения выщелоченного урана в виде гидроксида уранила.

В процессе исследований выявлен механизм влияния геологических и физико-химических условий протекания процессов выщелачивания на успешность перевода урана в подвижное состояние. Основными факторами, влияющими на успешность выщелачивания, являются минеральный состав руд и содержание в них урана, пористость и трещиноватость руд, которые и определяют величину коэффициента диффузии. В результате исследований выведена формула определения этого показателя.

Для предотвращения переотложения урана в виде гидроксида уранила автором предложена технология формирования рудного магазина в камере размещением бедной руды в верхней части магазина, а более богатой – в нижней. Для этого взорванная руда выпускается из камеры и подвергается рентгенорадиометрической сортировке в подземных условиях с выделением сортов бедной и рядовой руды, которые затем возвращаются в камеру.

По результатам проведенных исследований сформулировано второе научное положение.

**Четвертая глава** посвящена повышению эффективности БПВ за счет предотвращения кольматации и достоверного планирования показателей извлечения урана в раствор.

Автор предложил технологию устранения кольматации замагазинированной руды при БПВ, размещением на участках камеры, где отмечены эти процессы, пневмо-импульсных устройств, которые разрушают зону кольматации с помощью мощного пневмо импульса. Способ декольматации замагазинированной в камере руды запатентован автором (Патент № 2685520).

Одним из факторов повышения эффективности БПВ является достоверное планирование показателей извлечения урана в продуктивный раствор. Для решения этого вопроса автором был проведен детальный анализ горно-геологической ситуации локализации уранового оруденения, проанализирована динамика среднемесячного понижения концентрации урана в продуктивном растворе, времени выщелачивания от закисления магазина до снижения концентрации урана в растворе ниже 10 мг/л, величины планового извлечения урана. По результатам проведенных исследований предложена методика расчета показателей БПВ в заданный период.

Результаты проведенных исследований позволили сформулировано третье научное положение

В заключении сформированы основные научные и практические выводы диссертационного исследования.

Исходя из анализа представленной работы, все защищаемые научные

положения, по мнению оппонента, являются доказанными.

### Замечания по работе

1. Первый пункт научной новизны «Предложен комплекс достоверного прогнозирования оптимального гранулометрического состава урановых руд, включающий впервые полученные зависимости параметров буровзрывных работ от содержания свободного кремнезема в обрабатываемых рудах различного вещественного состава, что позволяет усовершенствовать методику расчета параметров буровзрывных работ». Формулировка пункта не корректна, т.к. не позволяет увязать фразу «достоверное прогнозирование оптимального гранулометрического состава урановых руд» и «параметры БВР». Очевидно нужно было указать, что получение оптимального размета куска достигается подбором необходимых параметров БВР.

2. В автореферате, рисунки 7 и 8 одинаковые, хотя имеют разное названия. Это техническая ошибка?

3. В автореферате на рисунке 11, ось абсцисс имеет название «Глубина камеры», скорее всего речь, идет о высоте камеры?

4. В автореферате в формуле (22) показатель «В» обозначается как мощность камеры, скорее всего речь, идет о высоте камеры?

5. В записке диссертации рисунки 2.13 и 2.4 без аппроксимации зависимостей, что затрудняет их использование при расчете параметров БВР.

6. На стр. 108 делается вывод: «Таким образом, комплекс мероприятий по совершенствованию рудоподготовки камеры блочного подземного выщелачивания в перспективе создает условия для повышения степени извлечения полезного компонента до уровня 85 %». На чем основан этот вывод?

### Заключение

Отмеченные замечания не снижают общее положительное впечатление о представленной диссертационной работе. Работа посвящена решению важной научно-технической задачи по масштабному внедрению современной физико-химической технологии (блочного подземного выщелачивания) для отработки бедных урановых руд. Это позволяет наиболее полно использовать существующую сырьевую базу урановых руд, как стратегического сырья, особенно важно в условиях современной политической обстановки.

По мнению оппонента, материал в данной работе изложен грамотно, выводы и рекомендации убедительны и подтверждены графиками и формулами, схемами и зависимостями. Автореферат диссертации с достаточной полнотой отражает содержание и основные положения, новизну, научную и практическую значимость диссертации. Результаты диссертационного исследования опубликованы в 14 научных работах, в том числе основные научные результаты диссертации отражены в 6 научных работах – опубликованных в рецензируемых научных изданиях (рекомендованных Минобрнауки России)

и в 1 патенте РФ на изобретение.

Положения диссертационной работы апробированы на международных и всероссийских научных конференциях.

Список использованной литературы подтверждает глубокую проработку темы исследований и анализа опыта исследователей по данной технологии ведения горных работ.

Диссертационная работа Зозули А.М. «Совершенствование технологии блочного подземного выщелачивания скальных урановых руд (на примере Стрельцовской группы урановых месторождений)» соответствует критериям Положения о присуждении ученых степеней к кандидатским диссертациям (п.п. 9-14), является завершенной научно-квалификационной работой, в которой изложены новые научно обоснованные технологические решения управления качеством рудоподготовки горной массы к подземному блочному выщелачивания и процесса выщелачивания магазинированных бедных урановых руд, позволяющие повысить эффективность подземного блочного выщелачивания и улучшить технико-экономические показатели извлечения урана в продуктивный раствор, что имеет существенное значение для развития горнодобывающей промышленности страны.

Диссертация Зозули А.М. соответствует паспорту научной специальности 25.00.22 – Геотехнология (подземная, открытая и строительная).

Считаю, что автор диссертации Зозуля Артем Михайлович заслуживает присуждения ему ученой степени кандидата технических наук по специальности 25.00.22 – Геотехнология (подземная, открытая и строительная).

**Официальный оппонент:**



**Логачев Александр Владимирович**

**Логачев Александр Владимирович, доктор технических наук по научным специальностям 25.00.21 – Теоретические основы проектирования, 25.00.22 - Геотехнология (подземная, открытая и строительная), доцент, доцент кафедры «Горное дело», федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Южно-Российский государственный политехнический университет (НПИ) имени М.И. Платова»**

**Адрес: 346428, Ростовская область, г. Новочеркасск, ул. Просвещения 132. ЮРГПУ (НПИ)**

**Тел. 8(86352)55354**

**E-mail: [log.a@bk.ru](mailto:log.a@bk.ru)**

Я, Логачев Александр Владимирович, автор отзыва, даю согласие на

включение своих персональных данных в документы, связанные с работой диссертационного совета, и их дальнейшую обработку.

«16» 08 2022 г.

**А.В. Логачев**

Подпись Логачева А.В. заверяю:

И.о. ученого секретаря ученого совета «ЮРГПУ (НПИ)»



**С.А. Чипко**

16.08.2022г.