

ОТЗЫВ

официального оппонента, д.т.н., профессора Бахаевой Светланы Петровны
на диссертацию **Поморцевой Анастасии Александровны**
по теме: «Инженерно-геологическое обеспечение устойчивости техногенных массивов
на участках кучного выщелачивания золота», представленную на соискание ученой степени
кандидата технических наук по специальности 2.8.3 – Горнопромышленная
и нефтегазопромысловая геология, геофизика, маркшейдерское дело и геометрия недр

1. Актуальность темы исследования

Кучное выщелачивание, как эффективный способ извлечения золота из некондиционных руд, в последние годы внедряется на крупных месторождениях России таких, как Гросс, рудник Таборный, Биркачан, Светлинское, Березняки и др. В настоящее время широкое развитие данный метод получил в пределах Куранахского рудного поля с производительностью по руде до 1500 тыс. т в год и подтверждёнными запасами свыше 500 т, где среднее содержание золота составляет 0,7 г/т.

Куранахское оруденение золота относится к карстовому типу и приурочено к стратиграфическому контакту верхней толщи нижнекембрийских отложений и подошвы нижнеюрских песчаников. Руды гидротермального происхождения, золотокварцевого типа, связаны с преобразованием доюрской коры выветривания, где первичные породы претерпели выщелачивание, дезинтеграцию, интенсивное ожелезнение в период мезозойской активизации. В современном виде они представлены рудным карстом. Руды характеризуются глинисто-гидрослюдистым составом с включением обломков кварца, лимонита, монтмориллонита и карбонатов, что придает им низкую фильтрационную способность. Эти особенности обуславливают необходимость предварительного окомкования руд перед выщелачиванием. Наиболее сложные инженерно-геологические условия возникают как раз при переработке такого рода руд, поскольку они склонны к снижению прочностных характеристик и изменению фильтрационных свойств под действием технологических растворов.

По мере увеличения объёмов, вовлеченных в добычу золота методом кучного выщелачивания окомкованных песчано-глинистых руд куранахского типа большое значение приобретает проблема инженерно-геологического обеспечения устойчивости многоярусных штабелей кучного выщелачивания. Устойчивость с точки зрения инженерной геологии предполагает не только геомеханическую характеристику сооружения, но и способность штабеля функционировать в нормальном режиме в течение всего срока службы, сохраняя стабильность фильтрационного режима и проектных параметров технологического процесса извлечения золота.

На сегодняшний день проблема инженерно-геологического обеспечения устойчивости штабелей кучного выщелачивания остается недостаточно изученной, что обусловлено сравнительно недавним внедрением этой технологии в России (в 1990-х годах). Вопросы, связанные с формированием и пространственно-временной изменчивости структуры инженерно-геологических свойств техногенных массивов штабелей в процессе эксплуатации, разработаны фрагментарно, в том числе в отношении рассматриваемых в диссертации штабелей, сложенных окомкованными песчано-глинистыми рудами куранахского типа, характеризующихся высокой неоднородностью, низкой фильтрационной способностью.

Отсутствие системных подходов к учёту инженерно-геологических факторов и их влияния на фильтрационные и деформационные процессы при проектировании и эксплуатации штабелей создаёт риски потери устойчивости сооружений, снижения эффективности выщелачивания и возникновения техногенных аварий. Таким образом, проблема инженерно-геологического обеспечения устойчивости техногенных массивов на участках кучного выщелачивания золота представляет собой актуальную научную задачу, имеющую как теоретическую, так и практическую значимость.

ОТЗЫВ

1

ВХ. № 9-110 от 09.09.25
Л.В. В.С.

Р.В.В.В.В.

2. Научная новизна и результаты работы

Научная новизна диссертационной работы, заключается в формировании комплексного научно обоснованного подхода к инженерно-геологическому обеспечению устойчивости техногенных массивов штабелей кучного выщелачивания золота на примере окомкованных песчано-глинистых руд куранахского типа, с учётом особенностей их физико-механических и фильтрационных свойств, изменяющихся в процессе эксплуатации.

Впервые для окомкованных песчано-глинистых руд куранахского типа проведен комплекс исследований, включающий лабораторные, стендовые и полевые опытно-фильтрационные испытания, выявившие закономерности изменения физико-механических и фильтрационных свойств окомкованных песчано-глинистых руд при взаимодействии с растворами, характеризующиеся резким снижением прочности окатышей и ухудшением фильтрационных свойств. Установлены пространственные особенности фильтрационной неоднородности штабелей, возникающие в результате сегрегации материала при отсыпке и последующего переуплотнения руд в процессе выщелачивания, что приводит к формированию малопроницаемых зон, характерных для глинистых пород и участков переувлажнения, неблагоприятно влияющих на устойчивость массива. Обосновано применение численного моделирования фильтрации в ненасыщенной среде с использованием модели Ван Генухтена–Муалема, откалиброванной по данным укрупнённых лабораторных испытаний, как основы для прогноза гидродинамического режима техногенного массива штабеля кучного выщелачивания и оценки допустимой интенсивности орошения с целью предотвращения потери устойчивости сооружения.

Научная ценность работы заключается в том, что автором предложен и реализован комплексный подход к оценке устойчивости штабелей кучного выщелачивания (в том числе при наращивании высоты сооружения, в случае применения многоярусных штабелей), объединяющий экспериментальные испытания, фильтрационное и геомеханическое моделирование, а также натурные наблюдения. Такой подход позволяет учитывать изменения свойств рудного массива штабеля в процессе эксплуатации, прогнозировать устойчивость сооружения в реальных гидродинамических и горнотехнических условиях, а также обосновывать технические решения, направленные на управление состоянием массива и повышение эффективности выщелачивания.

Существенным научным результатом является выявление критических значений интенсивности орошения и коэффициента фильтрации для объекта исследования, при которых обеспечивается оптимальный режим фильтрации и сохраняется устойчивость штабеля. Автором предложена зависимость между коэффициентом фильтрации и допустимой интенсивностью орошения, при которой исключается подъем уровня грунтовых вод в теле массива выше дренажного слоя. Геомеханическое моделирование напряжённо-деформированного состояния штабеля, проведённое автором подтвердило, что потеря устойчивости возможна только при полном насыщении штабеля кучного выщелачивания, что подчёркивает важность контроля гидродинамического режима в теле сооружения.

3. Степень обоснованности и достоверности научных положений, выводов и рекомендаций

Основные результаты работы отражены в трех научных положениях, выносимых на защиту.

Первое научное положение: Песчано-глинистые окомкованные руды являются специфическими техногенными грунтами, характеризующимися значительным снижением прочности окатышей до практически нулевых значений и резким уменьшением коэффициента фильтрации при полном водонасыщении вследствие взаимодействия с технологическими растворами, что необходимо учитывать при прогнозе устойчивости многоярусных штабелей на участках кучного выщелачивания золота.

Первое защищаемое положение раскрывается в третьей главе диссертации и основано на анализе экспериментальных данных, полученных при исследовании физико-механических и фильтрационных свойств окомкованных песчано-глинистых руд до и после воздействия технологических растворов. Проведённые лабораторные испытания показали, что при

выщелачивании происходит разрушение окатышей и включений карбонатных пород, приводящее к снижению прочности рудного материала на 50 %, а мелких фракций – практически до нулевых значений. Зафиксировано также снижение коэффициента фильтрации от исходного значения 11 м/сут до $< 0,5$ м/сут. Эти изменения обусловлены разрушением структуры окатышей и разуплотнением материала при водонасыщении и давлении вышележащих пород. Установленные закономерности подтверждают специфическое поведение агломерированных руд как техногенного грунта и обосновывают необходимость учёта этих факторов при прогнозе устойчивости штабелей кучного выщелачивания.

Второе научное положение: Фильтрационная неоднородность техногенного массива в штабелях кучного выщелачивания из окомкованных песчано-глинистых руд куранахского типа определяется сегрегацией рудного материала при его отсыпке и последующими изменениями структуры массива в процессе орошения технологическими растворами.

Второе научное положение раскрывается в третьей и четвертой главах диссертации. Доказано результатами натурных и лабораторных испытаний, подтверждающих фильтрационную неоднородность техногенного массива, формируемого при отсыпке штабеля кучного выщелачивания из окомкованных песчано-глинистых руд. Маркшейдерские наблюдения показали различную интенсивность оседаний поверхности штабеля. Сегрегация материала при отсыпке стакером приводит к неравномерному распределению фракций: мелкие частицы концентрируются в центральной части массива, а крупные — на откосах и в основании. Полевые опытно-фильтрационные испытания по методу В. М. Насберга выявили широкий диапазон изменения коэффициента фильтрации техногенного массива, что свидетельствует о выраженной анизотропии и неоднородности массива. После орошения в штабеле формируются малопроницаемые зоны, схожие по фильтрационным свойствам с глинистыми грунтами. Эти зоны снижают эффективность фильтрации, способствуют локальному переувлажнению и увеличивают геомеханические риски нарушения устойчивости штабеля кучного выщелачивания. Таким образом, наличие фильтрационной неоднородности техногенного массива, формирующейся в результате сегрегации рудного материала при отсыпке и последующих структурных преобразованиях в процессе эксплуатации, достоверно подтверждено данными натурных наблюдений, результатами поинтервальных полевых фильтрационных испытаний и анализом внутреннего строения штабеля.

Третье научное положение: Прогноз техногенного гидродинамического режима при обосновании оптимальной интенсивности орошения окомкованных песчано-глинистых руд на участках кучного выщелачивания должен осуществляться на основе моделей ненасыщенной фильтрации с учетом калибровки их параметров с помощью укрупненно-лабораторных испытаний.

Третье научное положение раскрыто в четвёртой главе диссертационной работы и обосновано результатами численного моделирования гидродинамического режима техногенного массива штабеля кучного выщелачивания, выполненного с применением модели Ван Генухтена–Муалема, описывающей фильтрацию в условиях ненасыщенной пористой среды. Параметры модели были определены на основе укрупнённых лабораторных испытаний, проведённых на физическом стенде, что обеспечило корректную калибровку и достоверность моделируемых процессов.

Результаты расчётов позволили установить зависимость степени водонасыщения массива от коэффициента фильтрации и интенсивности орошения. Показано, что при соблюдении диапазона интенсивности орошения 300–500 л/м²·сут водонасыщение не превышает предельного значения 0,8, обеспечивая сохранение зоны аэрации, необходимой для эффективного процесса выщелачивания и исключает формирование зоны полного водонасыщения выше уровня дренажного слоя.

Таким образом доказана инженерно-геологическая обоснованность применения моделей ненасыщенной фильтрации, откалиброванных по данным укрупнённых физико-механических и фильтрационных испытаний, для прогноза гидродинамического состояния массива, расчёта безопасной интенсивности орошения и оценки условий, обеспечивающих устойчивость и технологическую надёжность штабеля в процессе эксплуатации.

Защищаемые положения, выводы и рекомендации, представленные в диссертационной работе, обоснованы и имеют ссылки на апробированные источники, а также подтверждены результатами проведённых лабораторных и натурных экспериментов и, несомненно, обладают научной новизной и практической значимостью

4. Научные результаты, их ценность

Результаты диссертационной работы в достаточной степени освещены в 6 печатных работах, в том числе 2-х статьях – из перечня рецензируемых научных изданий, в которых должны быть опубликованы основные научные результаты диссертаций на соискание ученой степени кандидата наук (Перечень ВАК), 2-х статьях – входящих в международную базу данных и систему цитирования Scopus. Получен 1 патент на изобретение.

5. Теоретическая и практическая значимость результатов диссертации

1. Разработано и апробировано устройство для лабораторного изучения геотехнических и фильтрационных характеристик глинистых окомкованных руд, которое может быть использовано для оценки геотехнических и фильтрационных параметров окомкованных руд, подлежащих переработке методом кучного выщелачивания.

2. Разработана методика обоснования оптимальных геотехнических параметров и фильтрационного режима эксплуатации штабелей кучного выщелачивания и управления их устойчивостью, учитывающая специфику функционирования сложных инженерно-геологических сооружений техногенного происхождения, подверженных процессу выщелачивания.

3. Разработана и апробирована методика проведения полевых опытно-фильтрационных работ на площадке промышленного комплекса кучного выщелачивания.

6. Рекомендации по использованию результатов работы

Результаты работы могут быть использованы при проектировании и эксплуатации промышленных комплексов кучного выщелачивания в том числе в пределах Куранахского рудного поля для обоснования оптимальных параметров устойчивости формирования многоярусных штабелей кучного выщелачивания, в учебном процессе при проведении лабораторных работ, а также научных исследованиях по изучению геотехнических и фильтрационных характеристик песчано-глинистых руд.

7. Замечания и вопросы по работе

7.1. Подраздел **2.4** назван «Обоснование расчётной схемы для определения **устойчивых параметров** штабеля...». Однако по факту приведена только характеристика расчётных схем, не обосновано применение метода конечных элементов.

В тексте принято неверное словосочетание **устойчивые параметры** штабеля. Следует говорить определение параметров **устойчивого штабеля**. Устойчивым может быть объект, но не параметры.

Также не приведено обоснование выбора модели Ван Генухтен-Муалема для решения задач фильтрации. Следовало указать известные соискателю модели и показать преимущество выбранной для своих исследований.

7.2. В **главе 3** очень подробно описаны экспериментальные (лабораторные, стендовые и полевые) исследования состава и свойств окомкованных руд при этом в выводах нет рекомендаций относительно полезности результатов исследований для реальных условий эксплуатации изучаемого сооружения. Как и для чего использовать многочисленные графики? Как вести процесс кучного выщелачивания, чтобы он был более эффективным и безопасным для окружающей среды?

7.3. В Выводах **главы 3** изменение прочностных характеристик руд в процессе кучного выщелачивания приведено в абсолютных величинах, более наглядно и представительно – выглядят относительные значения. Например, вследствие замачивания образцов песчано-глинистых руд удельное сцепление уменьшается на 30%, что приведёт к уменьшению коэффициента устойчивости на 10%. В таком случае производственникам будет понятно, к чему может привести переувлажнение рудного материала.

7.5. Практическая значимость работы заключается в разработке Методики проведения полевых опытно-фильтрационных работ на площадке промышленного комплекса кучного выщелачивания. Следовало подготовить Методику в виде отдельного документа, чтобы им могли воспользоваться учёные и специалисты для проведения исследований на других объектах, так как добыча золота методом кучного выщелачивания в настоящее время применяется на многих рудниках.

Диссертация «Инженерно-геологическое обеспечение устойчивости техногенных массивов на участках кучного выщелачивания золота», представленная на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.8.3 – Горнопромышленная и нефтегазопромысловая геология, геофизика, маркшейдерское дело и геометрия недр, соответствует требованиям раздела 2 «Положения о присуждении ученых степеней» федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Санкт-Петербургский горный университет императрицы Екатерины II», утвержденного приказом ректора Горного университета от 20.05.2021 № 953 адм., а ее автор – Поморцева Анастасия Александровна – заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.8.3 – Горнопромышленная и нефтегазопромысловая геология, геофизика, маркшейдерское дело и геометрия недр.

Профессор кафедры маркшейдерского дела и геологии горного института федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Кузбасский государственный технический университет имени Т.Ф. Горбачева»,
д.т.н., профессор

Ваня
подпись

Подпись Александров С.П.
ЗАВЕРЯЮ
 ученый секретарь совета
С. К. М. М. Костюков
 « 03 » 04 2025г.

Эл. почта: rector@kuzstu.ru ; kuzstu@kuzstu.ru. Телефон: +7(3842)396960.