

ОТЗЫВ ОФИЦИАЛЬНОГО ОППОНЕНТА

на диссертационную работу

Чебана Антона Юрьевича

на тему «РАЗВИТИЕ АДАПТИВНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ СЕЛЕКТИВНОЙ
ВЫЕМКИ ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ ПРИ РАЗРАБОТКЕ
СЛОЖНОСТРУКТУРНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ»,

представленную на соискание ученой степени доктора технических наук
по научной специальности 2.8.8 – «Геотехнология, горные машины».

Структура и объем работы

На отзыв представлена диссертация, состоящая из введения, пяти глав, заключения, списка использованных источников из 330 наименований, общим объемом 269 страницы машинописного текста, включая 93 иллюстраций и 41 таблицы.

Актуальность темы диссертационного исследования:

В настоящее время относительно простые по геологическому строению и богатые по содержанию полезного компонента месторождения, практически, уже отработаны, что предопределяет необходимость все более широкого вовлечения в эксплуатацию сложноструктурных залежей, характеризующихся неравномерным (кластерным) распределением полезного компонента по их площади и мощности. Разработка подобных эксплуатационных блоков без должного качества селективной выемки и/или усреднения приводит к высокой вариативности вещественного состава добываемого минерального сырья, что ведет к снижению эффективности перерабатывающего комплекса и предопределяет увеличение потерь полезного компонента с отходами переработки. Таким образом, при разработке сложноструктурных месторождений вместо валовой выемки в ряде случаев целесообразно использование гибких (адаптивных) технологических схем добычи с последующей раздельной переработкой разносортного минерального сырья.

Научной проблемой является отсутствие системного подхода по обоснованию гибких технологических схем с комбинированием технологических процессов, обеспечивающих повышение эффективности освоения сложноструктурных месторождений высокоценных полезных ископаемых. В связи с этим, диссертационная работа Чебана Антона Юрьевича является, весьма, актуальной для горнодобывающей промышленности страны, поскольку посвящена вопросу научного обоснования адаптивных технологий разработки сложноструктурных рудных и россыпных месторождений с гибкой комбинацией технологических процессов выемки и формирования добычных потоков разносортного минерального сырья, что, в конечном счете, способствует расширению минерально-сырьевой базы месторождений и увеличению сквозного извлечения полезных компонентов.

Обоснованность и достоверность научных положений, выводов и рекомендаций, сформулированных в диссертации:

Обоснованность научных положений, выводов и рекомендаций, сформулированных в диссертации, подтверждается выбранными методами исследования. Использован комплекс методов, включающий в себя: анализ и обобщение научно-технической литературы и имеющихся эмпирических данных; обобщение производственной и проектной практики разработки сложноструктурных залежей; методы многофакторного планирования экспериментов; аналитические и графоаналитические методы; экономико-математическое моделирование; системный анализ и лабораторные эксперименты при исследовании параметров технологических процессов и моделей горного оборудования; методы математической

статистики обработки результатов экспериментов; метод экспертных оценок; технико-экономические расчеты и анализ при определении области применения разработанных технологий.

Достоверность научных результатов, выводов и рекомендаций обеспечена применением современных методов анализа и моделирования, удовлетворительной сходимостью результатов экспериментальных и теоретических исследований, использованием апробированных методов и теоретических положений геотехнологии, а также привлечением проектных и фактических материалов предприятий горной промышленности.

Оценка содержания диссертации, ее завершенность

Следует отметить последовательность, логичность и четкость изложения материала в диссертации. Во введении обоснована актуальность работы, сформулированы цель и задачи исследования, основные защищаемые научные положения, представлена научная и практическая значимость полученных результатов исследования.

В **первой главе** приведены результаты анализа состояния и проблемы практики работы горнорудных предприятий, также рассмотрены используемые технологии и оборудование для селективной выемки разносортного минерального сырья при открытой разработке сложноструктурных залежей. Оценено влияние содержания полезного компонента в рудах цветных и благородных металлов на его извлечение в концентрат. Проведен анализ изменения качества минерально-сырьевой базы золотороссыпных месторождений. Обоснована необходимость глубокой дифференциации объектов выемки и переработки во взаимосвязи с существующими и перспективными техническими средствами для добычи и обогащения. Разработана система показателей для оценки сложности внутренней структуры рудных включений. Предложено вести опережающую селективную выемку крупных богатых включений сложноструктурных эксплуатационных блоков с применением усовершенствованных технико-технологических решений для последующей переработки с использованием специальных технологий, обеспечивающих максимальное извлечение полезного компонента.

Во **второй главе** автором предложен критерий максимума суммарного чистого дисконтированного дохода, получаемого при добыче и переработке запасов сложноструктурных месторождений с выделением не менее трех сортов руд, границы которых определяются технологическими режимами и параметрами их переработки, характеризующимися различными затратами и уровнем извлечения полезного компонента. Автором рекомендована схема формирования рудопотоков при отработке сложноструктурного блока, для руд которого характерно фракционирование по классам крупности с существенно различающимся содержанием полезного компонента с выделением посредством внутрикарьерного грохочения фракций обогащенных и обедненных полезным компонентом, для направления их на переработку с рудами соответственно более высокого или низкого качества, что применительно к рассматриваемому золоторудному месторождению позволит увеличить извлечение металла на 5,5%. Также обоснована целесообразность применения адаптивных технологических схем при разработке сложноструктурных россыпных месторождений.

Третья глава посвящена обоснованию путей совершенствования схем оконтуривания, комбинированной подготовке к выемке и собственно выемке руд сложноструктурных эксплуатационных блоков. Оценена изменчивость содержаний полезного компонента в рудах на примере характерных месторождений высокоценного минерального сырья. Автором разработан алгоритм выбора последовательности разработки сложноструктурных рудных месторождений с учетом возможности опережающей селективной выемки богатых включений.

При этом локальное сгущение скважин, производимое для уточнения контуров богатых включений, используется в дальнейшем для взрывного рыхления или заливки разупрочняющего раствора с последующим механическим рыхлением. На основе экспериментальных исследований обоснована возможность разупрочнения раствором поверхностно-активных веществ руд средней трудности разрушения со снижением их прочности на 20-40% и переводом в класс легкоразрушаемых. Предложена адаптивная технология открытой разработки маломощных рудных тел с высоко-градиентной зональностью, а также технико-технологические решения по доработке прибортовых запасов с применением взрывных зарядов специальной конструкции.

В **четвертой главе** рассматриваются вопросы повышения эффективности безвзрывной разработки сложноструктурных месторождений, характеризующихся высокой изменчивостью качественных и прочностных параметров участков залежей. Проведен анализ особенностей строения сложноструктурных пластов с позиций их последующей безвзрывной разработки посредством машин послойного фрезерования. В результате обобщения опыта работы карьерных комбайнов при разработке месторождений различных полезных ископаемых автором построены графики изменения их технической производительности в зависимости от прочности горных пород на сжатие. Обоснованы технико-технологические решения с применением усовершенствованных карьерных комбайнов при отработке сложноструктурных массивов, представленных минеральными образованиями преимущественно невысокой крепости с наличием относительно крепких включений, предполагающие предварительное разупрочнение данных включений посредством нарезания щелей и заливки в них раствора поверхностно-активных веществ, что позволит увеличить производительность механического рыхления в 1,5-1,7 раза. Кроме того, применение на усовершенствованном карьерном комбайне промежуточного бункера позволит вести безостановочное фрезерование, что дополнительно увеличит производительность комбайна на 12-15%. Обоснованы параметры колесного скрепера ДЗ-115 с комбинированным рабочим оборудованием.

В **пятой главе** автором проведен анализ строения россыпей в аспекте и взаимосвязи с потерями полезных компонентов при обогащении. Выполнен анализ технических средств и технологий, применяемых при разработке золотороссыпных месторождений Дальневосточного региона, с позиций возможности повышения их эффективности, а также представлен алгоритм выбора последовательности разработки сложноструктурных россыпей, с последующей раздельной переработкой разносортных песков, включая многостадийное обогащение. Предложена усовершенствованная технология открытой разработки сложноструктурных россыпных месторождений с применением модернизированного колесного скрепера для выемки богатых песков, что позволяет значительно уменьшить пересортицу богатых песков с рядовыми. В результате аналитических и экспериментальных исследований обоснованы технические параметры модернизированного колесного скрепера с интенсификатором загрузки ковша в виде промежуточной подгребающей стенки. Обоснована адаптивная технология разработки глубокозалегающих сложноструктурных россыпей с различными формами нахождения золота, предполагающая извлечение богатых песков средствами механической выемки и скважинного гидроразмыва пласта, при этом рядовые и бедные пески подвергаются дифференцированному скважинному выщелачиванию растворами с различными концентрациями. Использование предлагаемых гибких технологических схем позволит увеличить извлечение золота из сложноструктурных продуктивных пластов на 5-14% в сравнении с известными технологиями.

В заключении обобщаются результаты и выводы, полученные в ходе решения поставленных автором задач диссертационной работы.

Соответствие содержания диссертации заявленной специальности

Содержание диссертационной работы и основные результаты соответствуют требованиям, предъявляемым к работам по паспорту научной специальности 2.8.8 – «Геотехнология, горные машины», а именно пунктам 1, 5 и 8 направлений исследования: 1. Научные основы создания и развития технологий и оборудования для комплексного освоения и сохранения недр в различных горно-геологических и природно-климатических условиях; 5. Способы вскрытия шахтных (карьерных) полей, их подготовки, системы разработки, комплексная механизация, технологические процессы добычи твердых полезных ископаемых; 8. Технология и оборудование для управления качеством добываемой горной массы и формирования транспортной системы грузопотоков.

Научная новизна работы

- В работе предлагается система показателей оценивающая сложность внутренней структуры оруденения эксплуатационных блоков как горнотехнических объектов, позволяющая дать их интегральную и дифференцированную оценку при выборе геотехнологических решений, что позволяет трансформировать геологические данные в информацию пригодную для выбора оборудования, осуществляющего селективную выемку разнородного минерального сырья. При этом учитываются не только содержания полезного компонента в руде, но и ее прочность, что важно для реализации адаптивных технологий селективной выемки.

- Предложено новое технологическое решение, предполагающее оконтуривание и селективную выемку посредством различного горного оборудования разнородного минерального сырья для его последующей раздельной переработки, с привлечением продуктивных фракций некондиционных (особо бедных) руд и отходов переработки богатых руд.

- Разработан алгоритм построения гибких технологических схем для освоения залежей с учетом ценности руд, обоснован критерий максимума суммарного чистого дисконтированного дохода получаемого при освоении месторождения с выделением не менее трех сортов руд, границы которых определяются технологическими режимами и параметрами их переработки.

- Предложены методики определения основных параметров рабочего оборудования модернизированного колесного скрепера, оснащенного интенсификатором загрузки в виде промежуточной подгребающей стенки, определена заполняемость удлиненного ковша в зависимости от связности разрабатываемых песков, а также сопротивления, возникающие при этом.

- Обоснованы принципы адаптивной технологии разработки сложноструктурных глубокозалегающих россыпей с опережающей селективной выемкой песков с повышенным содержанием золота и последующей отработкой участков рядовых и бедных песков методом скважинного выщелачивания с применением экологоэкономических растворов переменной концентрации.

Значимость результатов для науки и производства

Диссертация содержит ряд важных научных результатов, в частности, предложена система показателей оценки сложности внутренней структуры оруденения, разработано новое техническое решение по оконтуриванию и селективной выемке богатых включений сложноструктурных эксплуатационных блоков, обоснован критерий максимума чистого дисконтированного дохода, посредством которого возможно определять границы содержания полезного компонента по сортам руд. Результаты исследований имеют и существенное практическое значение, в частности: предложены схемы отработки сложноструктурных месторождений твердых полезных ископаемых с осуществлением внутрисортной селекции,

уменьшением потерь и обеспечением максимальной сохранности природного качества минерального сырья; разработана технология безвзрывного рыхления сложноструктурных участков рудных массивов, характеризующаяся высокой изменчивостью качественных и прочностных свойств с применением машин послойного фрезерования; разработаны эффективные адаптивные технологические схемы подготовки и отработки рудных тел, которые рекомендованы к применению в различных горно-геологических и горнотехнических условиях сложноструктурных месторождений; часть технологий передана для реализации горнодобывающим предприятиям ведущим разработку золоторудных и золотороссыпных месторождений Дальнего Востока. Результаты диссертационной работы используются при подготовке горных инженеров по специальности «Открытые горные работы» в ФГБОУ ТОГУ, а также при подготовке аспирантов в ИГД ДВО РАН.

Замечания

По диссертационной работе имеются следующие замечания и вопросы:

1. В первой главе диссертации желательно было бы провести более глубокий анализ существующих геотехнологий ведения селективной выемки на сложноструктурных месторождениях с приведением соответствующих схем.

2. Во второй главе диссертации представлены результаты сравнительных технико-экономических расчетов для предлагаемых и известных технологий добычи и переработки по двум золоторудным и двум золотороссыпным месторождениям, целесообразно было бы представить аналогичный расчет и для разработки какого-либо сложноструктурного месторождения другого вида извлекаемых ценных компонентов (алмаза, платины, меди и т.п.).

3. Чем обосновано применение в адаптивной технологии отработки сложноструктурного рудного тела штокверкового типа (стр. 132) взрывание эксплуатационного блока под пригрузкой?

4. На сколько эффективна будет селективная выемка взорванной богатой рудной массы гидравлическими экскаваторами с ковшами небольшой вместимости ($1-2\text{м}^3$)? На каком уровне в данном случае оценивается коэффициент наполнения ковша? Не нарушит ли опережающая выемка богатых включений параметров основной отработки эксплуатационного блока?

5. Приведенная на рисунке 2.5. схема добычи и переработки золотосодержащих песков сложноструктурного выемочного блока предполагает их селективную выемку и отдельную переработку, при этом богатые пески подаются на многостадийное обогащение. С учетом того, что большинство предприятий россыпной золотодобычи имеют относительно невысокие объемы добычи и переработки минерального сырья, будет ли такая схема целесообразна для них, так как очевидно, что потребуются большие дополнительные капитальные и эксплуатационные затраты, при этом количество богатых песков будет недостаточным для высокопроизводительной работы комплекса многостадийного обогащения?

6. Известно, что горно-геологические данные по содержанию полезных компонентов и их распределению в объеме россыпных и рудных месторождений (в плане и по мощности), довольно часто не подтверждаются практикой их освоения. Какими качественными и количественными данными Вы оперируете при принятии технологических решений селективной выемки и формирования добычных потоков? Какова роль при принятии технологических решений опережающего эксплуатационного опробования запасов руд и песков?

Заключение

Несмотря на отмеченные выше замечания, диссертационная работа производит положительное впечатление.

Оценивая содержание диссертации в целом, считаю, что оно изложено технически и

стилистически грамотно, большинство приведенных в обоснование выдвигаемых научных положений, выводов проиллюстрировано схемами, таблицами, графиками, формулами, проанализирован обширный круг публикаций, что очень важно для комплексного решения проблемы научного обоснования малоотходных и энергосберегающих геотехнологий разработки сложноструктурных месторождений на основе комбинации процессов разупрочнения и разрушения горных пород и селективной выемки разнородного минерального сырья, что позволит повысить эффективность работы горнодобывающей промышленности Российской Федерации.

Основные положения диссертации и результаты исследований обсуждались на международных и всероссийских научных и научно-практических конференциях, проходивших в 2011-2025 годах и широко представлены в опубликованных 57 печатных работ, в том числе 29 статей в рецензируемых научных изданиях, рекомендованных ВАК при Министерстве науки и высшего образования РФ, 2 монографиях и 12 патентах РФ на изобретения, имеющих близкие к выносимым на защиту научным положениям названия.

Диссертация оформлена в соответствии с требованиями, предъявляемыми к оформлению диссертационных работ. Структура и содержание диссертации соответствуют целям и задачам исследования. Выводы и полученные результаты диссертации достоверны и обоснованы. Автореферат соответствует содержанию диссертации и оформлен в соответствии с требованиями ВАК. Тема диссертационной работы и ее содержание полностью соответствует паспорту научной специальности 2.8.8 – «Геотехнология, горные машины».

По совокупности использованных в работе современных методов исследований, полученных новых научных результатов и их практической значимости для горнодобывающей промышленности страны в части обоснования эффективных малоотходных и энергосберегающих технологий разработки сложноструктурных рудных и россыпных месторождений на основе комбинаций процессов разупрочнения и разрушения горных пород и селективной выемки полезного ископаемого из недр, рассматриваемая диссертационная работа соответствует требованиям п. 9 «Положения о порядке присуждения ученых степеней», утвержденного постановлением Правительства Российской Федерации от 24.09.2013 г. № 842, а ее автор, Чебан Антон Юрьевич, заслуживает присуждения ему ученой степени доктора технических наук по научной специальности 2.8.8 – «Геотехнология, горные машины».

Официальный оппонент:

Ткач Сергей Михайлович, доктор технических наук, директор ИГДС СО РАН. Тел. 8(4112) 39-00-41, e-mail: tkach@igds.ysn.ru. Научная специальность, по которой защищена диссертация: 25.00.22 – «Геотехнология (подземная, открытая и строительная)».

Я, Ткач Сергей Михайлович, даю согласие на включение своих персональных данных в документы, связанные с работой диссертационного совета, и их дальнейшую обработку.

27 августа 2026 г.

Ткач Сергей Михайлович

Сведения об организации: Институт горного дела Севера им. Н.В. Черского Сибирского отделения Российской академии наук – обособленное подразделение Федерального государственного бюджетного учреждения науки Федерального исследовательского центра «Якутский научный центр Сибирского отделения Российской академии наук» (ИГДС СО РАН).

Почтовый адрес: 677980, г. Якутск, пр. Ленина, 43, тел. (4112) 335930, e-mail: igds@ysn.ru, сайт: <http://igds.ysn.ru>

Подпись д.т.н. Ткача С.М. заверяю:

Зам. директора по научной работе ИГДС СО РАН, к.т.н.

Зубков В.П.

