

Название: “Освоение железомарганцевых конкреций российского разведочного района Кларион–Клиппертон: экономическая эффективность и ключевые факторы рентабельности”

Авторы:

Петров В., Герт А., Григорчук А., Черкашёв Г., Белякова В., Литовко С., Петухов С., Скаковский В.

Аннотация:

Выполнена оценка экономической эффективности освоения железомарганцевых конкреций (ЖМК) в пределах Российского разведочного района рудного поля Кларион–Клиппертон в Тихом океане с учетом действующих технологических решений, фискальных условий Российской Федерации и предполагаемых международных платежей Международному органу по морскому дну. Построена детерминированная модель дисконтированных денежных потоков, а также выполнено стохастическое моделирование методом Монте-Карло для учета неопределенности исходных параметров. Технологическая цепочка включает селективный сбор ЖМК по технологии, разработанной ООО «ГИКО», и их последующую переработку по толлинговой схеме. При принятых предпосылках проект характеризуется положительными интегральными показателями экономической эффективности, в том числе внутренней нормой доходности 31,0 % и дисконтированным сроком окупаемости 7 лет. Полученные результаты свидетельствуют о целесообразности дальнейшего развития отечественных технологий глубоководной добычи и переработки ЖМК, расширения инвестиционной поддержки таких проектов и совершенствования механизмов государственного и международного регулирования в сфере освоения минеральных ресурсов Мирового океана.

Ключевые слова:

железомарганцевые конкреции; зона Кларион–Клиппертон; российский разведочный район; глубоководная добыча; технико-экономическая оценка; экономическая эффективность; DCF-моделирование; метод Монте-Карло; МОМД

1. Введение

Интерес к проблеме освоения глубоководных твердых полезных ископаемых (ТПИ) [28, 30, 33, 46, 49], значительно возросший в последнее время, ставит перед научным и производственным сообществами не только вопросы технического и технологического характера, но и прикладные задачи, связанные с оценкой экономической эффективности подобных проектов. По имеющимся на данный момент данным, наиболее перспективным видом ТПИ для перехода от разведки к добыче являются железомарганцевые конкреции (ЖМК) [16, 28, 30, 33, 49]. ЖМК представляют собой новый перспективный нетрадиционный вид минерального сырья комплексного состава (Ni, Mn, Cu, Co), не имеющий прямых аналогов среди континентальных месторождений черных и цветных металлов [7].

Поскольку значительная часть рудных полей ЖМК расположена в пределах международного района морского дна [7], хозяйственная деятельность по их изучению и освоению регламентируется Конвенцией ООН по морскому праву [5] и документами Международного органа по морскому дну (МОМД) [26, 27, 28]. Российская Федерация выступает в роли поручившегося государства в рамках контракта АО «Южморгеология» с МОМД по разведке ЖМК в пределах Российского разведочного района (РРР-ЖМК) рудного поля Кларион-Клиппертон в Тихом океане [6, 13, 14, 28]. Вместе с тем наличие международно-правовых оснований для ведения работ и закрепленного контрактного статуса не означает готовности к промышленному освоению ЖМК с технологической и экономической точек зрения.

Готовность российской производственной базы к промышленному освоению ЖМК в настоящее время остается ограниченной. Имеется технологический задел в части добычи ЖМК, находящийся на стадии прототипных решений. В части переработки ЖМК отсутствуют подтвержденные результаты полупромышленных и промышленных испытаний. Это не позволяет в полной мере верифицировать капитальные и эксплуатационные затраты по всей технологической цепочке. В связи с этим экономические оценки освоения ЖМК на современном этапе неизбежно носят сценарный характер и зависят от принимаемых допущений в отношении технологических, рыночных и институциональных параметров. Проведение дальнейших НИОКР, создание и испытание опытно-промышленных технических средств добычи, а также отработка технологий переработки ЖМК требуют целевого финансирования, которое может быть предусмотрено, в частности, в рамках государственных программ, курируемых Минпромторгом России. Указанные

ограничения предопределяют необходимость экономической оценки освоения ЖМК, основанной на учете существующих технологических решений, параметров налогового режима и условий реализации проекта.

Данная работа посвящена определению показателей экономической эффективности освоения ЖМК с учетом существующих технологий добычи и переработки в России и за рубежом. Построена детерминированная модель дисконтированных денежных потоков с учетом всей технологической цепочки освоения участка рудного поля ЖМК и налогового режима (российского и международного) в соответствии с отраслевыми руководствами [2, 3, 8, 12], а также с учетом международного опыта построения моделей подобного типа и их структуры [15, 16, 25, 31, 46]. Это позволяет сопоставимо оценить целесообразность освоения ЖМК при заданных рыночных и институциональных предпосылках.

2. Материалы и методы

2.1. Характеристика железомарганцевого оруденения

Железомарганцевые конкреции обладают широким многообразием форм, размеров и прочих внешних характеристик. Вместе с тем наиболее распространены конкреции размером 5-10 см преимущественно сфероидальной или эллипсоидальной формы [7].

Распространение ЖМК имеет глобальный характер и охватывает все основные океанические бассейны. Скопления железомарганцевых корок и конкреций установлены в Тихом, Индийском и Атлантическом океанах, для которых накоплен сравнительно высокий объём геологических данных [7, 40]. Плащеобразные скопления конкреций, приуроченные к поверхности осадочных отложений абиссальных котловин на глубинах 4000-6000 м, принято называть рудными полями ЖМК [7, 24].

Рудные поля ЖМК характеризуются значительными площадями, достигающими первых миллионов квадратных километров. При весовой концентрации конкреций до 20 тыс. т/км² и повышенных содержаниях полезных компонентов их ресурсы могут достигать десятков миллиардов тонн, что определяет их как потенциально промышленно значимые объекты [7, 40].

Наиболее крупное и изученное рудное поле ЖМК с высокими содержаниями основных рудных компонентов расположено между разломами Кларион и Клиппертон в Тихом океане. Для данного района характерны средние содержания Mn – 26,8 %, Ni – 1,24 %, Cu – 1,04 %, Co – 0,22 % [7]. Именно в пределах этого рудного поля расположен PPP-ЖМК, закреплённый контрактом с МОМД [6, 13, 14]. Площадь PPP-ЖМК

составляет 75 тыс. км² [6, 13, 14]. Рассматриваемый район характеризуется сравнительно благоприятными геолого-экономическими условиями для освоения, включая плотность распределения конкреций, глубины залегания и степень изученности [7, 40].

2.2. *Сценарий и этапность освоения рудного поля ЖМК*

Предполагается, что добыча ЖМК будет осуществляться в пределах рудного поля Кларион-Клиппертон. Минимальный объем вовлекаемых в отработку запасов составляет 63 млн тонн ЖМК е.в.

С учетом того, что геологоразведочные работы и подсчет запасов в пределах РРР-ЖМК выполнены в рамках разведочного контракта с МОМД [6, 13, 14, 28], в настоящем исследовании принимается следующий сценарий освоения:

- 1-й год – проектирование и предпроектные затраты;
- 2–3-й годы – строительство добычного комплекса;
- 4–25-й годы – выполняется отработка разведанных запасов с поэтапным выходом на проектируемые мощности:

- 4-й год – 1 млн тонн ЖМК естественной влажности (е.в.);
- 5-й год – 2 млн тонн ЖМК е.в.;
- 6–25-й годы – 3 млн тонн ЖМК е.в.;
- 25-й год – ликвидация работ.

Таким образом, предполагается поэтапное наращивание объёмов добычи до проектного уровня с последующей длительной отработкой запасов в пределах уже разведанного участка, что способствует минимизации дополнительных рисков на начальной стадии проекта.

Наряду с базовым сценарием в работе дополнительно рассмотрен вариант освоения ЖМК вне пределов РРР-ЖМК. Этот сценарий используется для сопоставительной оценки влияния более ранней стадии изученности объекта на экономические показатели проекта.

2.2.1. *Технологии добычи ЖМК*

Технологическая схема добычи ЖМК в общем случае включает три основных функциональных блока: сбор конкреций на дне, подъём сырья на судно и первичная подготовка перед транспортировкой на берег [30, 33, 46]. При этом первые два блока определяют ключевые ограничения по производительности, энергопотреблению и уровню экологического воздействия [43, 44, 48].

В настоящее время выделяют три основных типа добычных систем ЖМК [30, 33, 46]:

1) Механическая схема предполагает физический подбор конкреций рабочим органом комбайна (скребковым, щётчным, и т.п.) с последующей подачей материала в систему подъёма [33, 46]. Её преимуществами являются конструктивная простота и потенциально более низкие эксплуатационные затраты [33, 49]. Вместе с тем для механических решений критическое значение имеют инженерно-геологические условия района работ, поскольку использование контактных рабочих органов повышает риск локального размыва и переотложения донных осадков [43, 44, 48].

2) Гидравлическая схема, используя эффект Коанда, основана на извлечении конкреций струями воды с последующим их поступлением в накопительный бункер и образованием пульпы [33, 49]. Подобный подход предъявляет повышенные требования к энергообеспечению, а также к управлению потоками воды и мелкодисперсной фракцией, поскольку именно они формируют основную часть взвеси [43, 44, 48].

3) Распределённый селективный сбор осуществляется с использованием автономных или полуавтономных устройств и алгоритмов искусственного интеллекта [4, 19, 33]. Потенциальным преимуществом данного подхода является более щадящее воздействие на донные отложения за счёт точного и выборочного подбора конкреций [43, 44, 45, 48]. Основные ограничения связаны со сложностью систем группового управления аппаратами, навигации и логистики накопления добытого материала.

Наряду с выбором способа сбора конкреций важным элементом технологической схемы является система подъёма собранного материала на судно:

1) Эрлифт основан на нагнетании сжатого воздуха в подъёмную трубу, что обеспечивает подъём пульпы за счёт снижения плотности смеси. Подобная система была успешно испытана на глубине ~5000 м в 2022 году компанией ТМС. Недостатками такого решения являются высокая энергоёмкость и чувствительность системы к засорению [30, 46].

2) Насосная система рассматривается как сравнительно простое и надёжное решение, способное обеспечивать высокую производительность. Вместе с тем её применение для глубоководной добычи ЖМК требует дальнейшей отработки за пределами стадии прототипов [30, 46].

3) Механическая тросово-скиповая схема конструктивно проще по сравнению с другими системами, однако её ключевым вопросом остаётся достижение коммерчески приемлемой эффективности. В данном случае материал поднимается не в виде пульпы

по трубе, а в специальных грузовых ёмкостях с использованием тросово-лебедочного комплекса [30, 46].

4) Подъём с использованием подводных аппаратов предполагает транспортировку собранных конкреций на поверхность непосредственно автономными подводными аппаратами [25]. Такой вариант представляет собой совмещённую схему сбора и доставки материала, однако его применение связано с повышенными требованиями к энергообеспечению и организации работы комплекса.

В качестве рабочей схемы добычи в настоящем исследовании принят вариант селективного сбора конкреций с кабельной системой подъёма, разрабатываемый ООО «ГИКО» [4]. Выбор данной схемы обусловлен, с одной стороны, потенциально меньшим антропогенным воздействием на окружающую среду по сравнению с альтернативными решениями [43, 44, 45, 48], а с другой – сравнительно более высокой степенью её проработанности в отечественной практике [4].

Предполагается, что сбор конкреций будет осуществляться группой автономных необитаемых подводных аппаратов, оснащённых системами машинного зрения [4]. Собранный материал разгружается в донный накопительный резервуар, который затем поднимается на борт судна, где ЖМК проходят первичную обработку, перевалку и подготовку к транспортировке на металлургические предприятия. Один такой аппаратный комплекс обеспечивает добычу около 300 тыс. т ЖМК естественной влажности в год. Соответственно, наращивание объёмов добычи достигается за счёт увеличения числа одновременно работающих комплексов.

В модели принято функционирование 10 таких комплексов, что соответствует проектной мощности 3 млн т ЖМК естественной влажности в год. При 330 сут/год эффективной работы это эквивалентно среднесуточной добыче порядка 9,1 тыс. т/сутки по проекту в целом, или около 0,9 тыс. т/сутки на один комплекс. Кроме того, учтены сроки службы основных компонентов добычного комплекса продолжительностью 5–10 лет и возможность их повторного ввода в эксплуатацию после капитального ремонта, стоимость которого принята равной 50 % первоначальной стоимости.

При принятых параметрах и сроке отработки запасов суммарные объёмы извлекаемых металлов за 22 года составят 82,0 тыс. т кобальта, 10 132,0 тыс. т марганца, 569,4 тыс. т никеля и 454,8 тыс. т меди. После выхода на проектную мощность добычи 3 млн т ЖМК в год среднегодовой уровень извлечения составит 3,9 тыс. т кобальта, 482,5 тыс. т марганца, 27,1 тыс. т никеля и 21,7 тыс. т меди соответственно (Рисунок 1).

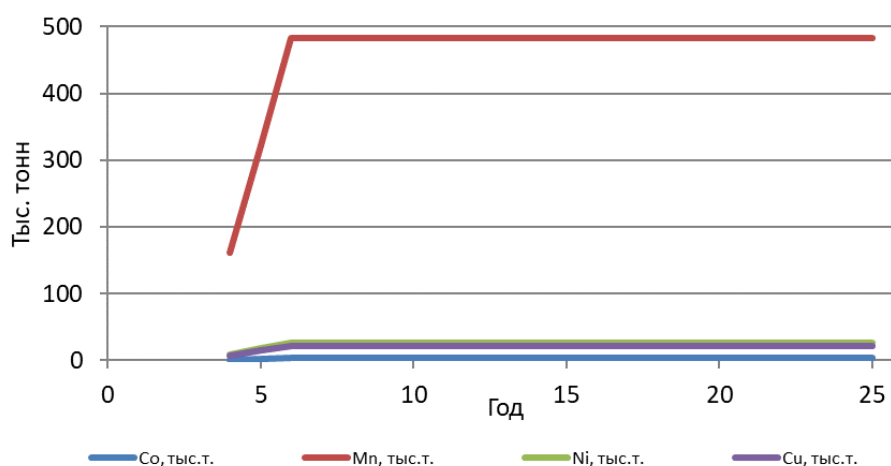


Рисунок 1 – Выход продукции при переработке ЖМК в течение жизни проекта

2.2.2. Технологии металлургической переработки ЖМК

Поскольку добытые со дна ЖМК не являются готовой товарной продукцией, экономическая оценка в настоящей работе выполняется по всей технологической цепочке – до получения продуктов переработки. Для переработки ЖМК рассматриваются две основные технологические схемы: гидрометаллургическая и комбинированная пиро-гидрометаллургическая [22, 35].

Гидрометаллургическая схема характеризуется высокой степенью извлечения как цветных металлов, так и марганца при относительно низких энергетических затратах [22, 29, 35]. К её преимуществам также относятся возможность использования сравнительно доступных и недорогих реагентов, потенциально более низкие капитальные затраты на производственные мощности и меньшая чувствительность к качеству исходного сырья. Вместе с тем недостатками подхода являются повышенный расход реагентов и сравнительно невысокая скорость протекания процессов, что может ограничивать производительность и усложнять масштабирование [22, 29, 35].

Комбинированная пиро-гидрометаллургическая схема характеризуется более высокой степенью промышленной готовности и рассматривается как один из наиболее реалистичных вариантов переработки ЖМК [22, 29, 35]. Её существенным преимуществом является эффективное разделение марганца и цветных металлов уже на начальных стадиях переработки, что упрощает последующие операции извлечения целевых компонентов [22, 35]. Вместе с тем внедрение и эксплуатация данной схемы связаны с высокими затратами на электроэнергию, а также с необходимостью предварительной подготовки сырья – как правило, сушки и окускования для обеспечения стабильного технологического режима.

С учётом указанных особенностей в качестве рабочей схемы в настоящем исследовании принята комбинированная пиро-гидрометаллургическая технология [16]. Такой выбор обусловлен, с одной стороны, её сравнительно более высокой технологической проработанностью, а с другой – наличием сопоставимых параметров извлечения и конечных продуктов переработки, используемых в зарубежных технико-экономических оценках и проектных проработках [16, 32]. Итоговые коэффициенты извлечения по данной схеме приняты, %: Cu – 88,90, Ni – 90,92, Co – 80,86, Mn – 75,85. Конечными продуктами переработки являются сульфат никеля, сульфат кобальта, марганцевый шлак (силикомарганец, $Mn \geq 44\%$) и катодная медь [16].

Принято допущение о переработке ЖМК по толлинговой схеме, что позволяет исключить капитальные затраты на создание собственного берегового перерабатывающего комплекса на начальном этапе проекта. Такой подход соответствует логике зарубежных предпроектных оценок, в рамках которых старт освоения часто рассматривается с использованием действующих металлургических мощностей.

2.3. Структура капитальных и текущих затрат

Для оценки экономической эффективности проекта в модели учтены основные стоимостные параметры по всей цепочке освоения ЖМК, включая капитальные затраты на создание морского добычного комплекса, текущие затраты на добычу, транспортировку и переработку сырья (Таблица 1).

Все денежные показатели в модели выражены в долл. США. Расчёты выполнены в постоянных ценах без инфляционной индексации, что согласуется с использованием реальных ставок при определении стоимости капитала (WACC). Налоги и иные платежи, начисляемые в рублях, пересчитывались в долл. США по курсу 92,2 руб./долл.

Таблица 1 – Ключевые стоимостные параметры проекта

Параметр	Принятое значение	Источник
CAPEX морского комплекса	~1 750 млн долл. США	ООО «ГИКО»
ОРЕХ добыча	~22,5 долл. США/т ЖМК е.в.	ООО «ГИКО»
ОРЕХ транспорт	~7 долл. США/т ЖМК е.в.	ООО «ГИКО»
ОРЕХ переработка (толлинг)	~105 долл. США/т ЖМК е.в.	ТМС, МІТ

2.3.1. Структура капитальных затрат

С учётом принятой технологической цепочки освоения ЖМК капитальные затраты (CAPEX) включают проектирование и предпроектную подготовку, создание морского добычного комплекса, а также ликвидационные затраты. В сценарии освоения участка в пределах PPP-ЖМК затраты на геологоразведочные работы в состав основного сценария не включаются, поскольку необходимый объём разведочных работ и подсчет запасов выполнены в рамках действующего разведочного контракта.

В составе CAPEX морского комплекса учтены затраты на приобретение основных элементов добычной системы, в том числе автономных подводных аппаратов, систем подъёма конкреций, а также навигационной системы. Абсолютные значения капитальных затрат предоставлены ООО «ГИКО» и при проектной мощности 3 млн т ЖМК е.в. в год приняты на уровне ~1 750 млн долл. США.

Поскольку срок службы отдельных компонентов добычного комплекса ограничен, в структуре капитальных вложений дополнительно учтены поддерживающие капитальные затраты, связанные с капитальным ремонтом и обновлением парка морского оборудования в течение жизненного цикла проекта. Таким образом, совокупный CAPEX включает не только первоначальные инвестиции в создание комплекса, но и последующие вложения, необходимые для поддержания проектной производительности. При этом собственно стартовые капитальные затраты составляют лишь около трети совокупных затрат на морское оборудование.

Для сценария освоения новых участков вне пределов PPP-ЖМК дополнительно учитываются затраты на геологоразведочные работы (ГРП) оценочной и разведочной стадий, необходимые для выделения добычного блока (123,0 млн долл. США).

Предпроектные и ликвидационные затраты учитываются в модели укрупненно и приняты экспертно на уровне 2,5% и 5% от затрат на морское оборудование соответственно. К предпроектным затратам дополнительно отнесены расходы на опытную добычу, рассматриваемую как этап подтверждения технологических и эксплуатационных параметров проекта.

В целом принятая структура CAPEX отражает высокую капиталоемкость морского звена проекта и существенную роль поддерживающих вложений на протяжении жизненного цикла добычного комплекса (Рисунок 2).



Рисунок 2 – Структура капитальных затрат проекта освоения ЖМК

2.3.2. Структура текущих затрат

Принятая технологическая цепочка освоения ЖМК определяет следующую структуру текущих затрат (ОРЕХ): добыча, транспортировка, переработка, прочие расходы и затраты на охрану окружающей среды.

Текущие затраты на добычу и транспортировку приняты на уровне около 22,5 и 7 долл. США/т ЖМК е.в. соответственно (ООО «ГИКО»). Прочие расходы включают сопутствующие и непредвиденные затраты и в модели приняты укрупнённо в размере 50 % от суммы затрат на добычу и транспортировку.

Затраты на переработку ЖМК приняты с учётом данных, приведённых в отчёте Массачусетского технологического института [31], а также предварительном технико-экономическом обосновании The Metals Company (TMC) [16] и составляют ~105 долл. США/т ЖМК е.в. Они рассматриваются как укрупнённая оценка совокупных расходов на переработку по толлинговой схеме и включают не только собственно технологические издержки, но и вероятную маржу толлинговой компании.

Затраты на охрану окружающей среды приняты укрупнённо, экспертным образом, в размере 5 % от суммы текущих затрат на добычу, транспортировку и переработку.

Итоговая структура текущих затрат представлена ниже (Рисунок 3). Наибольшая доля текущих расходов приходится на переработку, что отражает её ключевую роль в экономике проекта.



Рисунок 3 – Структура текущих затрат проекта освоения ЖМК

2.3.3. Сравнительный анализ затрат на добычу

В качестве источников информации использованы находящиеся в открытом доступе отчеты и статьи, содержащие сведения о технологических и стоимостных параметрах проектов Impossible Metals (IM), The Metals Company (TMC), Global Sea Mineral Resources (GSR) [15, 16, 25, 46], а также другие экономические оценки освоения ЖМК [31, 34, 39, 41]. Для обеспечения сопоставимости проектов исходные статьи затрат из различных источников были приведены к единой укрупнённой структуре капитальных и текущих затрат.

Проектные объёмы годовой добычи в рассмотренных сценариях варьируются от 1,3 до 8,5 млн т ЖМК естественной влажности [16, 25, 46], что отражает различия в масштабах проектов, конфигурации добычных систем и подходах к организации.

Подход TMC характеризуется высокой общей капиталоемкостью и ориентацией на крупномасштабную добычу. При этом использование существующих морских и береговых мощностей рассматривается как способ ограничения стартовых инвестиций по отдельным элементам инфраструктуры [16]. В структуре CAPEX почти весь объём затрат распределяется между созданием добычных комплексов и судами (~98 %) [16]. В составе текущих затрат наибольшую долю формируют страхование и техническое обслуживание, суммарно составляющие около трети OPEX, тогда как экологическая составляющая относительно невелика [16]. Такая конфигурация делает проект в наибольшей степени чувствительным к стоимости обслуживания морского комплекса и параметрам страхового покрытия.

Для GSR также характерна высокая доля затрат, связанных с судном (~43 % CAPEX) [46]. В структуре OPEX доминируют расходы на экологический мониторинг (около 29 %) и страхование (около 31 %) [46]. Это указывает на смещение приоритетов

в сторону управления экологическими и операционными рисками, что способствует повышению устойчивости проекта, но одновременно увеличивает удельные эксплуатационные расходы.

Решения Impossible Metals отличаются более компактной и сбалансированной структурой затрат по сравнению с TMC и GSR [25]. Компания рассматривает сценарии освоения ЖМК с использованием добычных аппаратов Eureka III и Eureka IV, различающихся прежде всего производительностью. В структуре CAPEX преобладают затраты на добычный комплекс (~60 %) и судно (27–37 %) [25]. Для OPEX характерны сравнительно высокие доли экологического мониторинга (~28 %), страхования (~19 %) и затрат на рабочую силу (~17 %), тогда как энергозатраты остаются относительно низкими (~10 %) [25]. Суммарные удельные затраты при использовании Eureka IV составляют порядка 125 долл. США/т, тогда как в других проектах сопоставимые показатели оцениваются примерно в диапазоне 160–210 долл. США/т [25].

Проект ООО «ГИКО», приведённый к сопоставимой структуре, отличается резким преобладанием капитальных затрат на создание добычного оборудования (~98 %). В структуре текущих затрат наибольшие доли приходятся на экологические мероприятия и материалы. Тем самым модель ГИКО характеризуется сравнительно низкой капиталоемкостью судового звена при более высоких требованиях к переменным эксплуатационным расходам. Это отражает специфику рассматриваемой технологии, ориентированной на селективный сбор и снижение антропогенного воздействия на окружающую среду.

Сопоставление удельных CAPEX и OPEX для различных концепций добычи ЖМК – TMC, GSR, ГИКО, IM Eureka III и IM Eureka IV – позволило выявить существенные различия в структуре затрат по ключевым статьям (Рисунок 4).

Полученные различия отражают не только особенности технических решений, но и различные стратегии распределения ресурсов в проектах освоения ЖМК. Для TMC характерен акцент на масштабную инфраструктуру и производительность, для GSR – на экологические и страховые резервы, для IM – на более сбалансированную и технологически компактную конфигурацию, а для ГИКО – на концентрацию капитальных затрат в добычном оборудовании при повышенной роли отдельных эксплуатационных статей. Тем самым сравнительный анализ показывает, что структура затрат определяется не только уровнем технологической зрелости проекта, но и выбранной моделью управления рисками, экологическими ограничениями и параметрами масштабирования добычи.

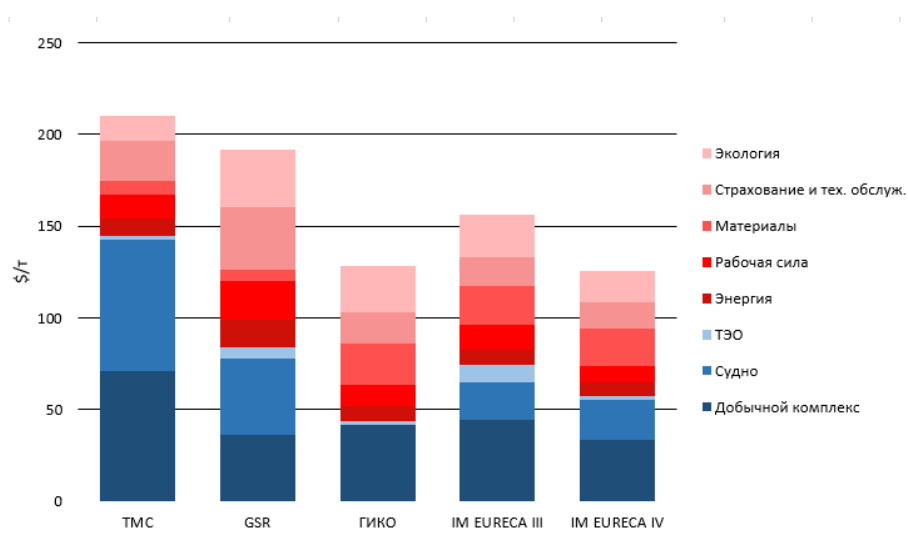


Рисунок 4 – Капитальные затраты (синий) и эксплуатационные расходы (красный) по системам добычи TMC, GSR, IM, ГИКО

2.4. Цена реализации продукции

Ввиду отсутствия сформировавшегося рынка ЖМК экономический результат проекта в настоящей работе моделируется не на уровне реализации ЖМК как сырья, а на уровне продажи продуктов, получаемых после металлургической переработки [16, 31]. Такой подход соответствует принятой в модели технологической цепочке, согласно которой добытые ЖМК перерабатываются на действующих металлургических мощностях по толлинговой схеме.

В модели использованы средневзвешенные прогнозные цены реализации продукции на весь жизненный цикл проекта, принятые в предварительном технико-экономическом обосновании TMC на основе внешних отраслевых прогнозов CRU International Limited и Benchmark Mineral Intelligence (Таблица 2) [16].

Таблица 2 – Цена реализации компонентов ЖМК [16]

Цена реализации	ед. изм	Значения	Прогнозирующий орган
Co	долл./т	55 198	BMI*
Cu	долл./т	11 440	BMI*
Mn	долл./т	546	CRU*
Ni	долл./т	21 633	BMI*

* CRU – CRU International Limited; BMI – Benchmark Mineral Intelligence [16]

2.5. *Налоговые отчисления*

Оценка экономической эффективности проекта выполнена с учётом комбинированной фискальной нагрузки, включающей элементы российской системы налогообложения, а также предполагаемые международные платежи в соответствии с формирующимся регламентом МОМД. Дополнительно в модели учтены отчисления в международный экологический фонд.

Поскольку окончательная редакция платёжного режима МОМД на дату расчётов отсутствовала [27], рассмотрены два альтернативных сценария международных платежей [31, 32, 42]:

- сценарий 1 (ad valorem) – в размере 2 % от валовой стоимости продукции в первые 5 лет эксплуатации с последующим увеличением до 6 %;
- сценарий 2 (комбинированный) – роялти в размере 2 % от валовой стоимости продукции и 15 % от прибыли, начиная с 6-го года эксплуатации.

Во всех сценариях в качестве базы для расчёта роялти принята стоимость извлечённых из добытых ЖМК никеля, меди, кобальта и марганца. Отчисления в международный экологический фонд заданы в модели укрупнённо на уровне 1 % в качестве сценарного допущения.

Налоговые элементы РФ учтены в соответствии с Налоговым кодексом РФ и иными федеральными нормативными актами – отчисления на обязательное страхование от несчастных случаев 0,5%, отчисления в Социальный фонд России 15,1-30,0%, налог на прибыль 25% [9, 10]. Прочие налоги и обязательные платежи в модели учтены укрупненно (1 %) на основе действующего налогового законодательства [9].

По состоянию на дату расчетов, в Налоговом кодексе не предусмотрено специальных льгот для разработки подводных месторождений [9]. В этой связи НДПИ рассчитан в соответствии с подп. 8 п. 2 ст. 342 НК РФ: ставка 8% для многокомпонентных комплексных руд с применением коэффициента Крента = 3,5 и территориального коэффициента Ктд = 1 [9].

В соответствии с действующей классификацией ТН ВЭД продукты переработки ЖМК, принятые в модели (сульфат никеля, сульфат кобальта, силикомарганец, катодная медь), экспортными пошлинами не облагаются.

Поскольку в действующем российском законодательстве отсутствует специальный порядок налогообложения имущества, используемого при добыче ЖМК в Международном районе морского дна, в модели принято допущение о применении режима, аналогичного налогообложению имущества, задействованного при разработке

морских месторождений углеводородного сырья, то есть налога на имущество организаций в рамках гл. 30 НК РФ с сопоставимым набором льгот.

Для пересчёта налогов и платежей, начисляемых в рублях, в доллары США в модели принят курс 92,2 руб./долл. [11]. При этом фактические параметры налогового режима для проектов в Международном районе морского дна могут отличаться от принятых в модели.

2.6. Параметры дисконтирования

В качестве базового параметра дисконтирования в модели принята средневзвешенная стоимость капитала (WACC). Её оценка выполнена для трёх гипотетических вариантов структуры капитала, различающихся соотношением собственного и заёмного капитала, при ставке налога на прибыль 25% (Таблица 3).

Стоимость собственного капитала определялась по модели CAPM (Capital Asset Pricing Model). В качестве безрисковой ставки использована реальная доходность казначейских инфляционно-индексированных облигаций США (TIPS) – для горизонта 25 лет ставка получена интерполяцией между значениями для 20- и 30-летних выпусков и составила 2,44% [17, 18]. Ожидаемая доходность рыночного портфеля с учётом странового риска России принята по данным Damodaran и составила 8,13% [21]. Для расчёта коэффициента чувствительности актива к изменениям рыночной доходности использован коэффициент по данным Damodaran для сектора Metals & Mining [20], который затем был приведён к значениям, соответствующим рассматриваемым вариантам структуры капитала.

В отсутствие подтверждённых условий долгового финансирования стоимость долга принята параметрически. В качестве ориентира использована предполагаемая доходность по высокорискованным проектам на уровне 10% годовых в долларах США. С учётом рыночных инфляционных ожиданий (2,29% на 10-летний период) [23] номинальная ставка приведена к реальной по соотношению Фишера и составила ~7,5%.

Таблица 3 – Оценка средневзвешенной стоимости капитала

Доля собственного капитала	Доля заемного капитала	Коэффициент чувствительности актива	Стоимость собственного капитала, %	WACC, %
1	0	1,01	11,6	11,62
0,8	0,2	1,20	13,3	11,80
0,6	0,4	1,52	16,2	11,98

Расчётный диапазон WACC составляет 11,62–11,98%, что позволило принять в модели ставку дисконтирования 12% в качестве базового значения для высокорискованного капиталоемкого проекта.

Без учёта странового риска расчётные значения WACC составляют 7,22–8,02% для соответствующих вариантов структуры капитала. Эти значения сопоставимы со ставкой 8%, принятой в зарубежных технико-экономических оценках, включая ТМС и ИМ [16, 25, 38]. Поэтому в работе дополнительно приведены показатели эффективности проекта при ставке дисконтирования 8%.

2.7. Стохастическое моделирование

Для учёта рисков и неопределённостей, сопровождающих освоение ЖМК, в работе выполнено стохастическое моделирование методом Монте-Карло с использованием программного продукта Crystal Ball [36, 47].

В модели варьировались ключевые параметры, способные оказывать существенное влияние на показатели экономической эффективности проекта: объёмы добычи, капитальные и текущие затраты, а также цены реализации продуктов металлургической переработки. Диапазоны изменения и типы распределений заданы экспертно с учётом неопределённости исходных данных и практики построения финансовых моделей на ранних стадиях проектирования [46, 47].

Для большинства параметров использовано распределение BetaPERT. Такой выбор соответствует практике моделирования проектных рисков в условиях ограниченной статистической базы [37, 47]. Для годового объема добычи принято равномерное распределение.

Прогнозирование выполнялось по совокупности финансово-экономических показателей проекта, включающей ЧДД недропользователя, внутреннюю норму доходности, дисконтированный срок окупаемости, а также доходы бюджета и отчисления в МОМД.

Число испытаний определялось автоматически с использованием механизма Precision Control при доверительной вероятности 95% [37]. Для ЧДД недропользователя использована абсолютная точность ± 5 млн долл. США, для дисконтированного срока окупаемости – $\pm 0,5$ года, для ВНД, доходов бюджета и отчислений в МОМД – относительная точность 1%. Итоговое количество испытаний составило 45 150.

3. Результаты

3.1. Детерминированная модель освоения участка PPP-ЖМК

При принятых ценах реализации продуктов переработки суммарная выручка за весь период освоения участка оценивается в ~27,6 млрд долл. США. Накопленный денежный поток недропользователя становится положительным на 7-й год реализации проекта, то есть через четыре года после начала добычи, и сохраняет положительное значение до завершения разработки.

С учётом принятых предпосылок фискальной нагрузки рассчитаны сводные показатели экономической эффективности проекта при двух вариантах международных платежей: ad valorem и комбинированном (Таблица 4).

Таблица 4 – Сводные показатели эффективности добычного проекта при различных вариантах налогообложения (долл. США – \$)

		Вар. 1 (ad valorem)	Вар. 2 (комбинированный)
Чистый денежный поток	млн \$	3 859	3 967
Чистый дисконтированный доход	млн \$	752	764
Срок окупаемости дисконтированный	лет	7	7
Внутренняя норма доходности	%	30.9%	31.0%
Доходы бюджета РФ дисконтир.	млн \$	2 393	2 396
Отчисления в МОМД дисконтир.	млн \$	311	438
Сбор в экологический фонд, дисконтир.	млн \$	71	

Независимо от выбранного варианта международных платежей проект сохраняет положительные интегральные показатели экономической эффективности. Чистый дисконтированный доход недропользователя составляет 752–764 млн долл. США, внутренняя норма доходности – ~31%, дисконтированный срок окупаемости – 7 лет. Доходы бюджета РФ в дисконтированном выражении составляют 2 393–2 396 млн долл. США, а дисконтированные отчисления в МОМД – 311–438 млн долл. США. Динамика налоговых и иных обязательных платежей, а также дисконтированные денежные потоки проекта представлены ниже (Рисунок 5, Рисунок 6).

Таким образом, в рамках детерминированной постановки модель показывает, что освоение участка в пределах PPP-ЖМК при принятых технологических, ценовых и налоговых предпосылках может быть экономически осуществимым. Вместе с тем положительные значения ЧДД и ВНД сами по себе не снимают вопроса об

инвестиционной привлекательности проекта, поскольку его реализация сопряжена с повышенными технологическими, институциональными и регуляторными рисками.

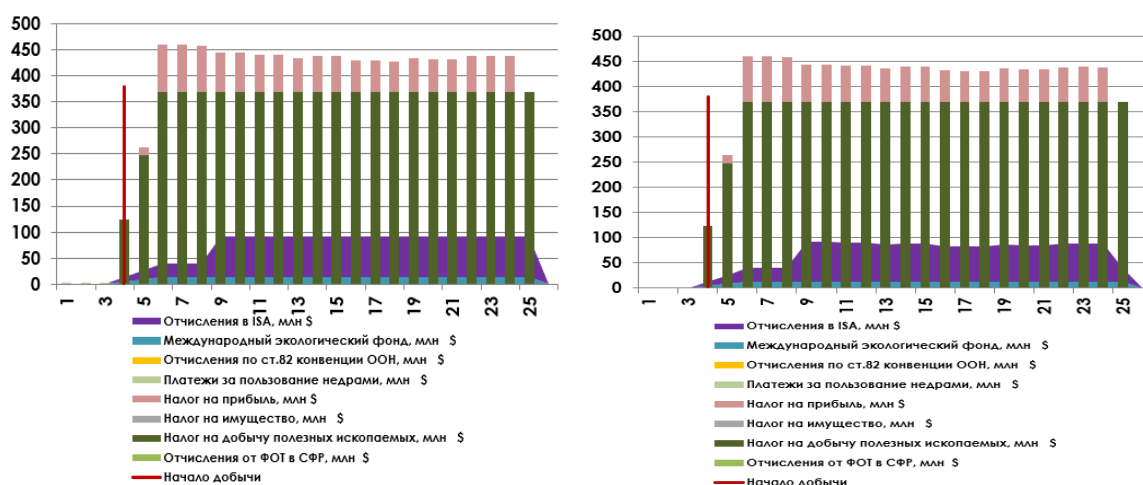


Рисунок 5 – Динамика отчислений и платежей при освоении ЖМК

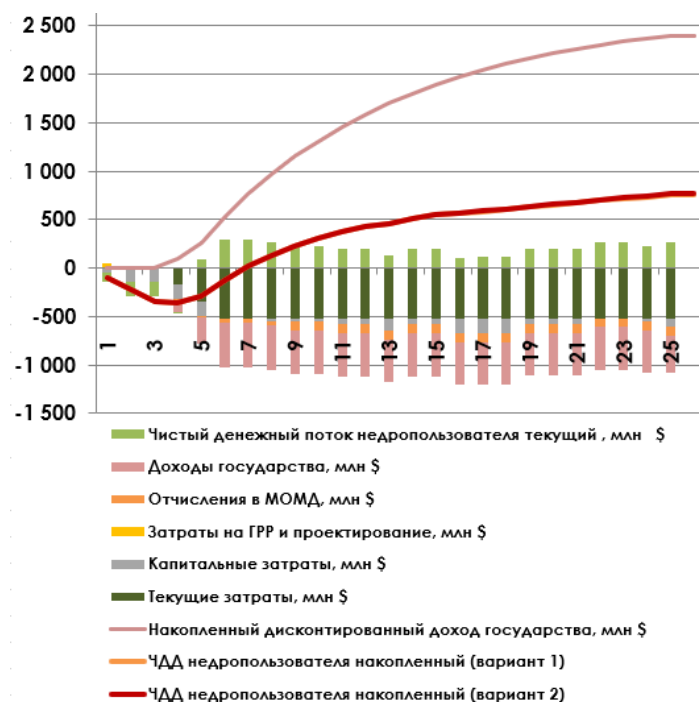


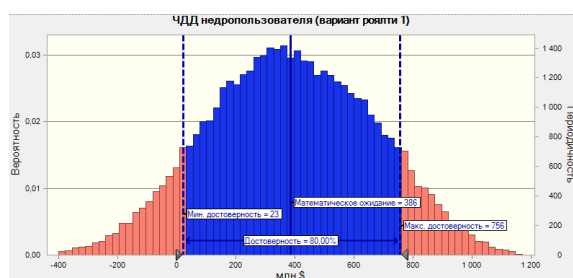
Рисунок 6 – Динамика дисконтированных денежных потоков от освоения ЖМК

С учётом высокой неопределённости условий реализации проекта, включая отсутствие окончательно утверждённых правил промышленного освоения ЖМК [27], в работе дополнительно использован экспертный критерий инвестиционной привлекательности на основе порогового значения внутренней нормы доходности. С

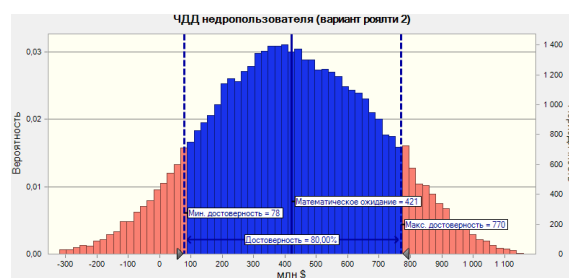
учетом расчетного значения ВНД добычного проекта ТМС (26,8%) [16] в качестве такого порога принято значение 28%, что отражает повышенную премию за риск для капиталоемкого проекта на ранней стадии технологической и нормативной проработки. При рассчитанном значении ВНД около 31% проект формально превышает данный порог, что позволяет рассматривать его как потенциально инвестиционно привлекательный в рамках принятых предпосылок модели.

3.2. Стохастическая модель освоения участка PPP-ЖМК

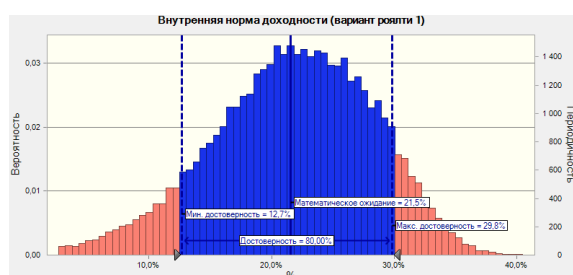
Результаты стохастического моделирования показывают высокую вероятность достижения положительных показателей экономической эффективности в рамках принятых распределений исходных параметров. В зависимости от варианта отчислений в МОМД вероятность безубыточности проекта для недропользователя ($ЧДД > 0$) составляет 91–94% (Рисунок 7а, б). Внутренняя норма доходности варьируется в диапазоне 13–30% в пределах интердецильного интервала распределения (P10–P90) (Рисунок 7в, г). Дисконтированные доходы бюджета находятся в интервале порядка 2–2,5 млрд долл. США (P10–P90) (Рисунок 7д, е).



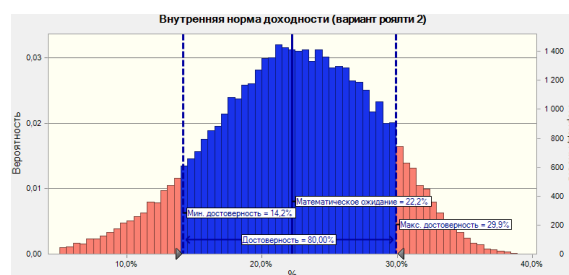
а)



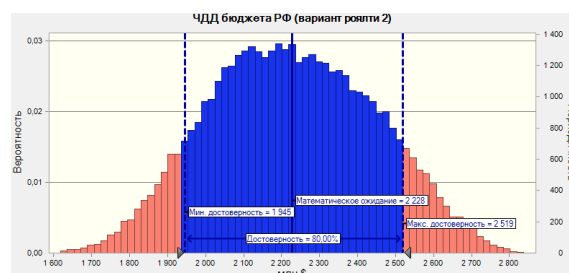
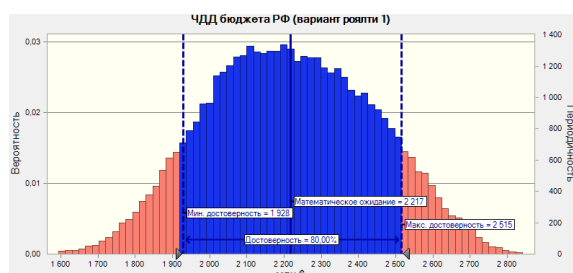
б)



в)



г)



д)

е)

Рисунок 7 – Вероятностная оценка: а), б) ЧДД недропользователя (вариант роялти 1 и 2); в), г) внутренняя норма доходности (вариант роялти 1 и 2); д), е) ЧДД бюджета (вариант роялти 1 и 2)

Анализ чувствительности показал, что наибольшее влияние на рентабельность проекта оказывает годовой объём добычи (Рисунок 8б). Среди ценовых параметров наиболее существенным фактором выступает цена никеля, тогда как влияние цены кобальта минимально (Рисунок 8а). Среди текущих затрат наибольшее влияние на ЧДД недропользователя оказывают затраты на металлургическую переработку, а наименьшее – затраты на транспортировку (Рисунок 8б). Влияние капитальных затрат в целом выражено слабее – заметное воздействие на результат оказывают затраты на создание систем сбора и подъёма ЖМК (Рисунок 8в).

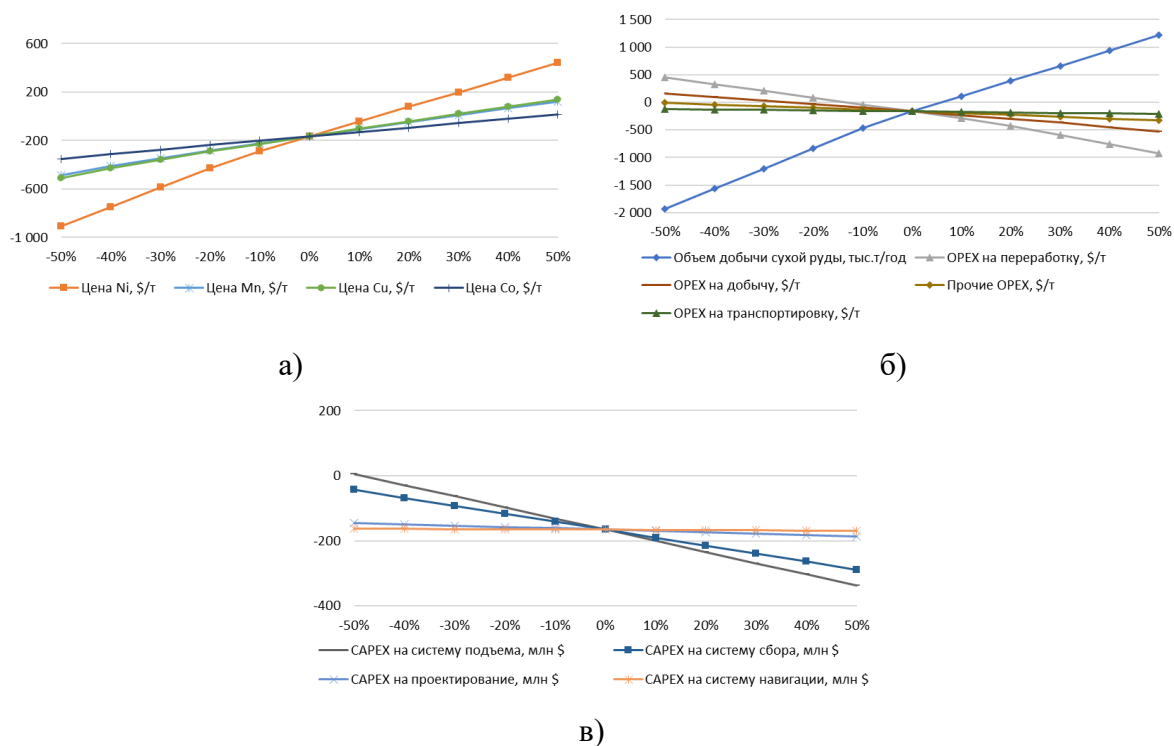


Рисунок 8 – Анализ чувствительности результатов к изменению исходных параметров: а) цены на металлы и коэффициент к ставке НДПИ; б) объем добычи и текущие затраты; в) капитальные затраты

4. Обсуждение результатов

4.1. Влияние геологоразведочных работ на экономическую эффективность освоения ЖМК

Как отмечалось выше, в базовом сценарии освоения РРР-ЖМК затраты на геологоразведочные работы не учитываются, поскольку разведка и оценка ресурсов в пределах Российского разведочного района уже выполнены в рамках работ, финансировавшихся за счёт средств федерального бюджета. Это обстоятельство является одним из факторов, повышающих экономическую привлекательность проекта по сравнению с освоением нового, ещё не подготовленного участка.

Для оценки влияния геологоразведочной стадии на экономическую эффективность рассмотрен альтернативный сценарий, при котором потенциальный недропользователь выступает в роли подрядчика МОМД по новому участку. Формально стандартный срок разведочного контракта составляет 15 лет [26]. Теоретически возможен более ранний переход к стадии эксплуатации [26, 27], однако на практике это потребовало бы крайне интенсивной программы освоения, включающей проведение большого числа рейсов, наличие уже готовых технологий добычи и переработки, а также опережающее выполнение экологических, технико-экономических и иных исследований, необходимых для перехода к добыче. По этой причине в модели принят консервативный сценарный график, отражающий полный цикл подготовки нового участка к промышленному освоению:

- 1–15-й годы – ГРП и проектирование;
- 14–16-й годы – строительство добычных комплексов;
- 16–40-й годы – отработка разведанных запасов с поэтапным выходом на проектную мощность:

- 16-й год – 1 млн т ЖМК е.в.;
- 17-й год – 2 млн т ЖМК е.в.;
- 18–39-й годы – 3 млн т ЖМК е.в.;
- 40-й год – 2 млн т ЖМК е.в.;
- 40-й год – ликвидация работ.

Расчёты показывают, что при сохранении прочих предпосылок базового сценария освоение нового участка существенно уступает освоению РРР-ЖМК по экономическим результатам. Дисконтированный срок окупаемости возрастает до 20 лет, ЧДД недропользователя снижается до 182 млн долл. США, а ВНД составляет около

19,2%, то есть оказывается значительно ниже принятого в работе порогового уровня инвестиционной привлекательности (Рисунок 9, Таблица 5). Следовательно, при заданных финансово-экономических предпосылках освоение нового участка ЖМК следует рассматривать как экономически малопривлекательное.

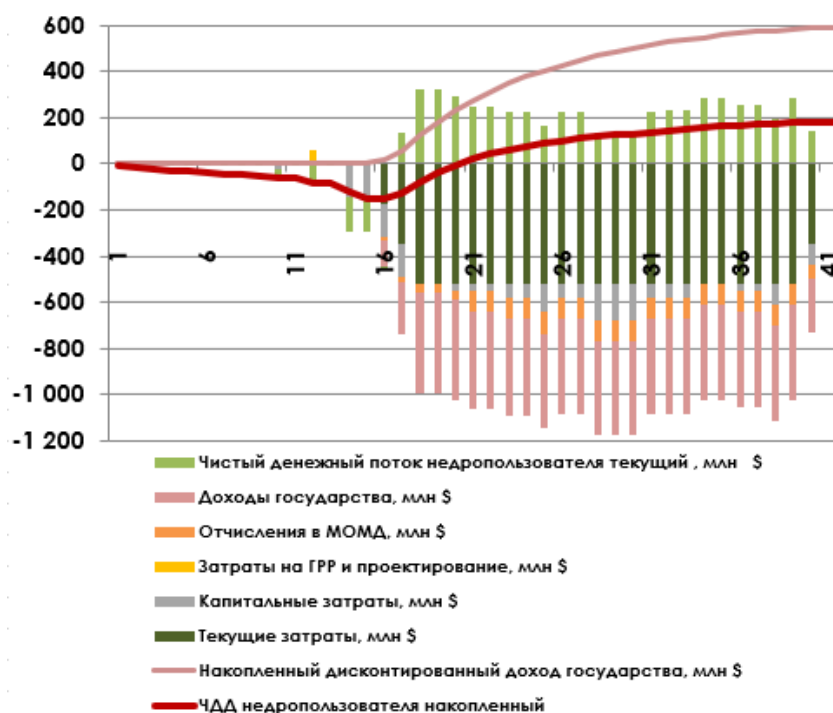


Рисунок 9 – Динамика денежных потоков с учетом финансовых и временных затрат на геологоразведочные работы. Условные обозначения аналогичны рисунку 7

Таблица 5 – Сводные показатели эффективности добычного проекта с учетом финансовых и временных затрат на геологоразведочные работы (долл. США – \$)

		Вар. 1	Вар. 2
Чистый денежный поток	млн \$	4 960	4 980
Чистый дисконтированный доход	млн \$	182	182
Срок окупаемости дисконтированный	лет	20	20
Внутренняя норма доходности	%	19.2%	19.2%
Доходы бюджета РФ дисконтир.	млн \$	588	587
Отчисления в МОМД дисконтир.	млн \$	83	121
Сбор в экологический фонд, дисконтир.	млн \$	19	

Снижение экономической эффективности обусловлено дополнительными затратами на ГРП и переносом начала добычи на 16-й год реализации проекта, что при прочих равных условиях резко усиливает влияние дисконтирования на денежные

потоки. Временной лаг между инвестициями и выручкой оказывает определяющее воздействие на интегральные показатели эффективности.

Вместе с тем параметрический анализ показывает, что экономическая привлекательность проекта может быть повышена при изменении отдельных предпосылок модели:

- 1) снижение налоговой нагрузки за счёт введения нулевой ставки НДС – $\text{ВНД} \approx 24,5\%$;
- 2) государственное субсидирование ГРП – $\text{ВНД} \approx 25,3\%$;
- 3) рост цен реализации всех металлов на 65% – $\text{ВНД} \approx 28,2\%$.

Значительное повышение цен на все металлы в рассматриваемом горизонте носит маловероятный характер, тогда как механизмы государственного субсидирования ГРП и налогового стимулирования представляются более реалистичными. Следовательно, достижение целевого уровня доходности для новых участков в большей степени связано не с благоприятной внешней конъюнктурой, а с государственной поддержкой.

С практической точки зрения это означает, что проведение ГРП на новых участках целесообразно рассматривать как задачу, решаемую при участии государства, в том числе за счёт средств федерального бюджета, параллельно с освоением уже разведанного РРР-ЖМК. Такой подход позволяет, с одной стороны, снизить стартовые риски для недропользователя, а с другой – обеспечить задел для последующего перехода к освоению новых участков без длительного разрыва между проектами. Тем самым экономическая привлекательность проектов освоения ЖМК вне пределов РРР-ЖМК в существенной степени определяется качеством государственного регулирования и механизмами распределения рисков между государством и инвестором.

4.2. *Сопоставление с зарубежными оценками при ставке дисконтирования 8%*

Расчётная ставка дисконтирования без учёта странового риска составляет около $7,2\text{--}8,0\%$. Это сопоставимо со ставкой, принятой в предварительных технико-экономических оценках The Metals Company и Impossible Metals [16, 25]. По этой причине в работе рассмотрен вариант определения показателей эффективности проекта при ставке дисконтирования 8% с целью сопоставления полученных результатов с зарубежными проектными оценками.

Снижение ставки дисконтирования приводит к ожидаемому улучшению дисконтированных показателей эффективности проекта: увеличивается чистый дисконтированный доход, сокращается дисконтированный срок окупаемости,

возрастают дисконтированные доходы бюджета и отчисления в международные фонды (Рисунок 10, Таблица 6).

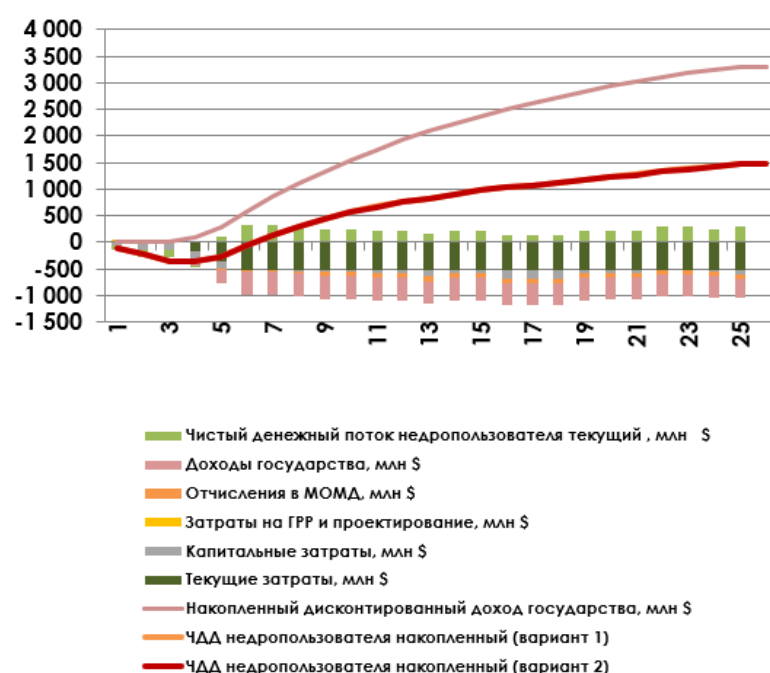


Рисунок 10 – Динамика денежных потоков при пониженной ставке дисконтирования (8%). Условные обозначения аналогичны рисунку 7

Таблица 6 – Сводные показатели эффективности добычного проекта при ставке дисконтирования 8% (долл. США – \$)

		Вар. 1	Вар. 2
Чистый дисконтированный доход	млн \$	1 475	1 478
Срок окупаемости дисконтированный	лет	6	6
Внутренняя норма доходности	%	33.7%	33.6%
Доходы бюджета РФ дисконтир.	млн \$	3 303	3 301
Отчисления в МОМД дисконтир.	млн \$	489	698
Сбор в экологический фонд, дисконтир.	млн \$	105	

Однако даже при такой ставке российский проект уступает проектам ТМС и IM по абсолютной величине ЧДД, что связано прежде всего с различиями в масштабе. Зарубежные проекты характеризуются существенно большими объемами добычи, что напрямую влияет на итоговые значения интегральных показателей (Таблица 7).

Таблица 7 – Предпосылки и прогнозные показатели эффективности различных
добычных проектов ($r = 8\%$)

Параметр	The Metals Company [16]	Impossible Metals [25]	Россия
Суммарный объем добычи, млн тонн ЖМК е.в.	164	161	63
Срок добычи, год	19	30	22
ВНД	26,8%	н/д	33,6%
ЧДД, млн долл. США	~5 500	~3 600	~1 475

Таким образом, выражен эффект масштабирования – при прочих равных условиях рост объёмов добычи и серийное производство добычных комплексов способны обеспечить выход на более высокие абсолютные значения ЧДД. Следовательно, различия между российским и зарубежными проектами обусловлены не только параметрами дисконтирования, но и масштабом добычи, который выступает одним из ключевых факторов экономической эффективности освоения ЖМК.

4.3. Практические условия перехода к промышленному освоению ЖМК

Полученные результаты показывают, что при освоении участка в пределах PPP-ЖМК проект может быть экономически осуществимым. Вместе с тем переход от расчётной рентабельности к практической реализации ограничивается не только параметрами налогового режима и рыночной конъюнктуры, но и текущим уровнем технологической и технической готовности. Как отмечалось выше, для отечественной производственной базы характерно наличие прототипных решений по добыче ЖМК при отсутствии подтверждённых результатов полупромышленных и промышленных испытаний в части переработки, что не позволяет в полной мере верифицировать капитальные и эксплуатационные затраты по всей технологической цепочке.

С учётом этого, приоритетной задачей на современном этапе следует считать создание условий для практической реализации проекта в пределах PPP-ЖМК. Текущее состояние работ по технологиям и техническим средствам добычи ЖМК следует оценивать как ограничивающее вследствие недостаточного финансирования. К числу первоочередных незавершённых направлений относятся проектирование и изготовление моделей основных подсистем добычного комплекса, их испытания, разработка технического проекта экспериментального добычного комплекса и проведение его полномасштабных испытаний.

С экономической точки зрения указанные работы имеют не вспомогательное, а системообразующее значение, поскольку именно они позволяют перейти от принятых

допущений к верифицированным параметрам производительности добычного комплекса, сроков службы оборудования, удельных эксплуатационных затрат, экологических ограничений и требований к переработке сырья. Это особенно важно с учётом того, что проведённый анализ чувствительности показал определяющее влияние на показатели эффективности годового объёма добычи, затрат на переработку и ценовой конъюнктуры по никелю. Следовательно, укрупнённые технологические испытания должны рассматриваться как необходимый этап подготовки инвестиционного решения.

В части переработки ЖМК целесообразно возобновление работ с переходом к укрупнённым технологическим испытаниям и промышленной апробации. Это позволит уточнить извлечение компонентов, требования к подготовке сырья, состав товарных продуктов, а также фактический уровень текущих затрат на переработку, который в настоящей модели выступает одним из ключевых факторов рентабельности. Тем самым будет создана основа для выбора технологической схемы переработки, наиболее адекватной как ресурсным характеристикам ЖМК, так и возможностям отечественной промышленности.

Необходимым условием реализации указанных мер является государственное участие. Практически речь идёт о формировании согласованного механизма поддержки, включающего финансирование НИОКР по добычным системам и переработке ЖМК, разработку и испытание экспериментального добычного комплекса, а также подготовку проекта полного жизненного цикла освоения ЖМК – от добычи до получения товарной продукции.

Таким образом, коммерческая реализуемость освоения ЖМК в пределах PPP-ЖМК определяется не только положительными расчётными значениями ЧДД и ВНД, но и способностью государства и отрасли обеспечить последовательное снятие технологических, организационных и институциональных ограничений. В этой связи первоочередными мерами следует считать концентрацию ресурсов на PPP-ЖМК, проведение полномасштабной опытно-технологической отработки добычи и переработки, а также закрепление соответствующих механизмов поддержки в профильных государственных программах и документах стратегического планирования.

5. Выводы

Проведённая оценка показала, что при принятых технологических, рыночных и институциональных предпосылках проект освоения участка в пределах PPP-ЖМК

демонстрирует положительные интегральные показатели эффективности, что подтверждает принципиальную возможность его практической реализации.

Вместе с тем инвестиционная привлекательность проекта остается ограниченной вследствие высокой чувствительности к объёму добычи, ценовой конъюнктуре по никелю, затратам на переработку, а также неопределённости международного платёжного режима и правил добычи, формируемых МОМД. Существенное ухудшение показателей при переходе к освоению новых участков вне пределов PPP-ЖМК указывает на критическую роль календарных, геологоразведочных и организационных рисков на ранних стадиях проекта.

Переход от расчётной рентабельности к коммерческой реализуемости требует налогового стимулирования, снижения удельных затрат на переработку и технологической отработки полного цикла освоения. Первоочередное значение имеют испытания технологий добычи и переработки ЖМК, развитие отечественных технических средств глубоководной добычи и закрепление механизмов государственной поддержки в профильных программах и документах стратегического планирования. Координация указанных мер должна осуществляться на межведомственном уровне.

Таким образом, практическая реализация освоения ЖМК в пределах PPP-ЖМК будет определяться не только расчётными экономическими показателями, но и способностью обеспечить технологическую, организационную и институциональную готовность проекта.

6. Список литературы

1. Банк России. Кривая бескупонной доходности государственных облигаций [Электронный ресурс]. – URL: https://www.cbr.ru/hd_base/zcyc_params/ (дата обращения: 23.02.2026).
2. Беренс В, Хавранек П.,. Руководство по оценке эффективности инвестиций. Москва: ЮНИДО, 1995. 528 с.
3. Варламов А.И., А. А. Герт и др. Методические рекомендации по геолого-экономической оценке ресурсов нефти, газа и конденсата. Новосибирск, Москва, 2015. 58 с.
4. Добыча железомарганцевых конкреций с применением «роя» роботов-сборщиков. – 2026. – [Электронный ресурс]. – URL: <https://ocean-minerals.ru/page/roi-glubokovodnyh-robotov.php>. – Дата обращения: 14.02.2026.
5. Конвенция ООН по морскому праву от 10 декабря 1982 г.

6. Контракт на разведку полиметаллических конкреций, подписанный с Международным органом по морскому дну 29.03.2001
7. Лобковский, Л.И. Мировой океан. Том III. Твердые полезные ископаемые и газовые гидраты в океане / Л.И. Лобковский, Г.А. Черкашев. – М.: Научный мир, 2018. – 707 с.
8. Методическое руководство по количественной и экономической оценке ресурсов нефти, газа и конденсата России. Москва: ВНИИГНИ, 2000. стр. 189.
9. Налоговый кодекс Российской Федерации. Федеральный закон от 05.08.2000 N 117-ФЗ. (ред. от 30.01.2026).
10. О страховых тарифах на обязательное социальное страхование от несчастных случаев на производстве и профессиональных заболеваний на 2006 год. Федеральный закон от 22.12.2005 N 179-ФЗ. (с изм. от 27.11.2023) г.
11. О федеральном бюджете на 2026 год и на плановый период 2027 и 2028 годов: Федеральный закон от 28.11.2025 № 426-ФЗ.
12. Правила подготовки технических проектов разработки месторождений углеводородного сырья. Утверждены приказом Минприроды России от 20.09.2019 № 639 (в ред. от 06.10.2020 № 772).
13. Соглашение о продлении контракта на разведку полиметаллических конкреций, подписанное с Международным органом по морскому дну 21.12.2017;
14. Соглашение о продлении контракта на разведку полиметаллических конкреций, подписанное с Международным органом по морскому дну 19.03.2024;
15. AMC Consultants Pty Ltd. Technical Report Summary: Initial Assessment of the NORI Property, Clarion-Clipperton Zone / Deep Green Metals Inc. – Brisbane: AMC Consultants Pty Ltd, 2021. – AMC Project 321012; 17 March 2021.
16. AMC Consultants Pty Ltd. Technical Report Summary of Prefeasibility Study of NORI Area D, Clarion Clipperton Zone / TMC the metals company Inc. – Melbourne: AMC Consultants Pty Ltd, 2025. – AMC Project 0225054.
17. Board of Governors of the Federal Reserve System (US). Market Yield on U.S. Treasury Securities at 20-Year Constant Maturity, Quoted on an Investment Basis, Inflation-Indexed (DFII20) // FRED, Federal Reserve Bank of St. Louis. – 2026.
18. Board of Governors of the Federal Reserve System (US). Market Yield on U.S. Treasury Securities at 30-Year Constant Maturity, Quoted on an Investment Basis, Inflation-Indexed (DFII30) // FRED, Federal Reserve Bank of St. Louis. – 2026.

19. Chen Q. et al. AI-based dynamic avoidance in deep-sea mining //Ocean Engineering. – 2024. – Т. 311. – С. 118945.
20. Damodaran A. Betas by Sector (US). – 2026. – [Электронный ресурс]. – URL: https://pages.stern.nyu.edu/~adamodar/New_Home_Page/datafile/Betas.html (дата обращения: 23.02.2026).
21. Damodaran A. Country Default Spreads and Risk Premiums. – 2026. – [Электронный ресурс] – URL: https://pages.stern.nyu.edu/~adamodar/New_Home_Page/datafile/ctryprem.html (дата обращения: 23.02.2026).
22. Das R. P., Anand S. Metallurgical processing of polymetallic ocean nodules //Deep-Sea Mining: Resource Potential, Technical and Environmental Considerations. – Cham: Springer International Publishing, 2017. – С. 365-394.
23. Federal Reserve Bank of St. Louis. 10-Year Breakeven Inflation Rate (T10YIE) // FRED, Federal Reserve Bank of St. Louis. – 2026.
24. Hein J.R., Koschinsky A. Deep-ocean ferromanganese crusts and nodules // Treatise on Geochemistry. – 2nd ed. – 2014. – Vol. 13. – P. 273–291. – DOI: 10.1016/B978-0-08-095975-7.01111-6.
25. Impossible Metals. Techno-Economic Analysis (TEA) (v7). – 2026. – [Электронный ресурс]. – URL: <https://impossiblemetals.com/technology/techno-economic-analysis>. – Дата обращения: 14.02.2026.
26. International Seabed Authority. Decision of the Council of the International Seabed Authority relating to amendments to the Regulations on Prospecting and Exploration for Polymetallic Nodules in the Area and related matters: ISBA/19/C/17. Kingston, Jamaica: International Seabed Authority, 2013. 49 p. (Annex: Regulations on Prospecting and Exploration for Polymetallic Nodules in the Area).
27. International Seabed Authority. Draft regulations on exploitation of mineral resources in the Area: Further Revised Consolidated Text: ISBA/31/C/CRP.1/Rev.2. – Kingston, Jamaica: International Seabed Authority, 2026. – 305 p.
28. International Seabed Authority. Status of contracts for exploration and related matters, including information on the periodic review of the implementation of approved plans of work for exploration and related matters: report of the Secretary-General: ISBA/31/C/3. – Kingston, Jamaica: International Seabed Authority, 2026. – 10 p.

29. Ju J. et al. Research advances, challenges and perspectives for recovering valuable metals from deep-sea ferromanganese minerals: A comprehensive review // Separation and Purification Technology. – 2023. – Т. 315. – С. 123626.
30. Kang Y., Liu S. The development history and latest progress of deep-sea polymetallic nodule mining technology // Minerals. – 2021. – Т. 11. – №. 10. – С. 1132.
31. Kirchain R., Roth R., Field F. R. III, Muñoz-Royo C., Peacock T. Economic Model and System of Payments: Report to the International Seabed Authority on the Development of an Economic Model and System of Payments for the Exploitation of Polymetallic Nodules in the Area. – Cambridge, MA: MIT Materials Systems Laboratory, Massachusetts Institute of Technology, 2019.
32. Kirchain R., Roth R., Field F. R. III, Muñoz-Royo C., Peacock T. Update: Report to the International Seabed Authority on the Development of an Economic Model and System of Payments for the Exploitation of Polymetallic Nodules in the Area Based on Stakeholder Feedback. Cambridge, MA: MIT Materials Systems Laboratory, Massachusetts Institute of Technology, 2020.
33. Liu B. et al. Research status of deep-sea polymetallic nodule collection technology // Journal of Marine Science and Engineering. – 2024. – Т. 12. – №. 5. – С. 744.
34. Liu S. Financial model and economic evaluation of polymetallic nodules development in the Area. – Central South University, China. – 17 p.
35. Ochromowicz K., Aasly K., Kowalczyk P. B. Recent advancements in metallurgical processing of marine minerals // Minerals. – 2021. – Т. 11. – №. 12. – С. 1437.
36. Oracle Corporation. Crystal Ball [Электронный ресурс]. – URL: <https://www.oracle.com/applications/crystalball/> (дата обращения: 23.02.2026).
37. Oracle Corporation. User's Guide [Электронный ресурс]. – URL: https://docs.oracle.com/cd/E52437_01/en/crystal_ball_users_guide (дата обращения: 23.02.2026).
38. Ovalle A. Analysis of the discount rate for mining projects // MassMin 2020: Proceedings of the Eighth International Conference & Exhibition on Mass Mining. – University of Chile, 2020. – С. 1048-1064.
39. Pacific Community (SPC); Cardno. An assessment of the Costs and Benefits of Mining Deep-sea Minerals in the Pacific Island Region: deep-sea Mining cost-Benefit Analysis. – Suva: Pacific Community (SPC), 2016. – 229 p.
40. Petersen S., Kratschell A., Augustin N., Jamieson J., Hein J.R., Hannington M.D. News from the seabed: Geological characteristics and resource potential of deep-sea

mineral resources // Marine Policy. — 2016. — Vol. 70. — P. 175–187. — DOI: 10.1016/j.marpol.2016.03.012.

41. Ramboll IMS Ingenieurgesellschaft mbH; Hamburgisches Weltwirtschaftsinstitut (HWWI). Analysis of the Economic Benefits of Developing Commercial Deep Sea Mining Operations in Regions where Germany has Exploration Licences of the International Seabed Authority, as well as Compilation and Evaluation of Implementation Options with a Focus on the Performance of a Pilot Mining Test. – Hamburg, 2016. – Project No. 59/15; Report No. 301 000 285-01. – 212 p.

42. Request for consideration by the Council for the African Group's proposal on the Economic Model/Payment Regime and Other Financial Matters in the Draft Exploitation Regulations under review, submitted to the Secretariat of the International Seabed Authority by the Permanent Mission of Algeria, 9 July 2018. – 24 p.

43. Sha F. et al. A review on plumes generation and evolution mechanism during deep-sea polymetallic nodules mining //Ocean Engineering. – 2024. – T. 298. – C. 117188.

44. Sitlhou L., Chakraborty P. Comparing deep-sea polymetallic nodule mining technologies and evaluating their probable impacts on deep-sea pollution //Marine Pollution Bulletin. – 2024. – T. 206. – C. 116762.

45. Szabó L. Deep-Sea Mining and the Sustainability Paradox: Pathways to Balance Critical Material Demands and Ocean Conservation //Sustainability. – 2025. – T. 17. – №. 14. – C. 6580.

46. Van Nijen K., Van Passel S., Squires D. A stochastic techno-economic assessment of seabed mining of polymetallic nodules in the Clarion-Clipperton Fracture Zone // Marine Policy. – 2018. – Vol. 95. – P. 133–141. – DOI: 10.1016/j.marpol.2018.02.027.

47. Vose, D. Risk Analysis: A Quantitative Guide. 3rd ed. Chichester; Hoboken: John Wiley & Sons, 2008. 752 p.

48. Xu L. et al. A review of plume research in the collection process of deep-sea polymetallic nodules //Water. – 2024. – T. 16. – №. 23. – C. 3379.

49. Zhang X. et al. A review on underwater collection and transportation equipment of polymetallic nodules in deep-sea mining //Journal of Marine Science and Engineering. – 2024. – T. 12. – №. 5. – C. 788.