


Обезвоживание хвостов – инновационный стратегический приоритет золотодобывающей промышленности: экономические аспекты

А.К. Солнцев^{1,2}  

¹ Российская академия наук, 119991, Москва, Ленинский просп., д. 14, Российская Федерация

² Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова,
119991, Москва, Ленинские горы, д. 1, Российская Федерация

 a.k.solntsev@gmail.com

Аннотация. В работе выявлены и проанализированы инновационные стратегические тренды золотодобывающей промышленности. На основе проведенного анализа обоснован инновационный стратегический приоритет золотодобывающей промышленности – обезвоживание хвостов золотодобычи. Выявлены причины недостаточного внедрения соответствующих технологий, например, неполный учет затрат, высокие ожидаемые издержки на внедрение, ценообразование на водные ресурсы. Определены стратегические интересы сторон, предложены основы для их согласования. Исследован международный опыт, в частности опыт государственного регулирования водопотребления в горной добыче в Чили. Обосновано применение справедливой цены для полного учета стоимости водных ресурсов. Проведен анализ исследований экономических аспектов обезвоживания хвостов; выявлены особенности расчета финансовых параметров проектов для определения чистой приведенной стоимости проектов и внутренней нормы доходности. Проанализированы стадии жизни экономического проекта в золотодобыче, в том числе периодов после закрытия рудника или хвостохранилища. Выделены периоды получения доходов, а также расходов, классифицированных по объекту. Обоснована роль внедрения технологий обезвоживания хвостов для снижения экономической неопределенности проектов на стадии прогнозирования. Полученные результаты могут быть применены на практике предприятиями золотодобывающей отрасли, при разработке отраслевых и корпоративных стратегий, а также в дальнейших исследованиях в области стратегирования золотодобывающих предприятий.

Ключевые слова: золотодобывающая промышленность, обезвоживание хвостов, обратное водоснабжение, инновационные стратегические тренды, чистая приведенная стоимость, эффективность, устойчивое развитие


Для цитирования: Солнцев А.К. Обезвоживание хвостов – инновационный стратегический приоритет золотодобывающей промышленности: экономические аспекты. *Экономика промышленности*. 2025;18(4):518–528. <https://doi.org/10.17073/2072-1633-2025-4-1559>

Economic aspects of tailings dewatering as an innovative strategic priority of gold mining industry

A.K. Solntsev^{1,2}  

¹ Russian Academy of Sciences, 14 Leninskiy Ave., Moscow 119991, Russian Federation

² Lomonosov Moscow State University, 1 Leninskiye Gory, Moscow 119991, Russian Federation

 a.k.solntsev@gmail.com

Abstract. In this paper, innovative strategic trends in the gold mining industry are identified and analyzed. Based on the analysis, such an innovative strategic priority as the dewatering of gold mining tailings is justified. The reasons for the insufficient implementation of relevant technologies have been identified, for example, such as incomplete cost accounting, high

expected implementation costs, and pricing of water resources. The strategic interests of the parties have been identified, and the basis for their coordination has been proposed. The international experience is studied, in particular the experience of state regulation of water consumption in mining in Chile. The application of a *fair price* to fully account for the cost of water resources is justified. An overview of research on the economic aspects of tailings dewatering is given, and the specifics of calculating the financial parameters of projects in determining the net present value of projects and the internal rate of return are revealed. The stages of the project's life in gold mining, including those after the mine closure, are analyzed. The periods of income and expenses, classified by object, are highlighted. The role of introducing tailings dewatering technologies to reduce project uncertainty is substantiated. The results of the study can be applied in practice by enterprises of the gold mining industry, in the development of industry and corporate strategies, as well as in further research.

Keywords: gold mining industry, tailings dewatering, water recycling, innovation strategic trends, net present value, efficiency, sustainable development


For citation: Solntsev A.K. Economic aspects of tailings dewatering as an innovative strategic priority of gold mining industry. *Russian Journal of Industrial Economics*. 2025;18(4):518–528. <https://doi.org/10.17073/2072-1633-2025-4-1559>

尾矿脱水——黄金开采行业的创新战略优先事项：经济方面

A.K. 索恩采夫^{1,2}  

¹ 俄罗斯科学院, 119991, 俄罗斯联邦莫斯科列宁斯基大街14号

² 莫斯科罗蒙诺索夫国立大学, 119991, 俄罗斯联邦莫斯科列宁山1号

 a.k.solntsev@gmail.com

摘要: 本文识别并分析了黄金开采行业的创新战略趋势。基于所进行的分析, 论证了黄金开采行业的创新战略优先事项——金矿尾矿脱水。指出了相关技术推广不到位的原因, 包括成本核算不完整、预期实施成本高以及水资源定价问题。明确了各方的战略利益, 提出了协调各方利益的基础。研究了国际经验, 特别是智利政府对采矿用水的监管经验。论证了采用公平价格充分反映水资源成本的必要性。对尾矿脱水经济方面的研究进行了分析, 明确了计算项目财务参数以确定项目净现值和内部收益率的特点。分析了黄金开采项目的生命周期, 包括矿山或尾矿库关闭后的阶段。明确了收入和按对象分类的支出的时期。论证了实施尾矿脱水技术在降低项目预测阶段经济不确定性方面的作用。所得结果可供黄金开采企业 in 实践中应用, 也可用于制定行业和企业战略, 并可用于黄金开采企业战略化领域的进一步研究。

关键词: 黄金开采业, 尾矿脱水, 循环供水, 创新战略趋势, 净现值, 效率, 可持续发展

Введение

В экономических исследованиях уделено большое внимание технологическим вопросам утилизации хвостов и организации хвостохранилищ в золотодобывающей отрасли. Экономические аспекты эффективности современных способов обращения с хвостами рассмотрены не так подробно. Тем не менее отсутствие исследований стратегии в этой области препятствует своевременному и эффективному внедрению инноваций и использованию этих, по сути, резервов золотодобывающей промышленности.

Методологически данная работа опирается на общую теорию стратегии и методологию стратегирования, разработанную под руководством академика В.Л. Квинта. В соответствии с основными законами и постулатами этой методоло-

гии, в работе обоснован, выделен и проанализирован такой инновационный стратегический приоритет золотодобывающих предприятий, как внедрение экономически эффективных методов обезвоживания хвостов.

Обоснование стратегического приоритета.

Инновационные стратегические тренды

Своевременное выявление инновационных стратегических трендов является основой конкурентоспособности предприятия в любой отрасли. Ряд экономистов, прежде всего нобелевский лауреат Э. Фелпс (E. Phelps) Й. Шумпетер (J.A. Schumpeter), академик А.Г. Аганбегян, Т. Стюарт (T.A. Stewart), выделяли инновационную деятельность как важный фактор экономического роста и в последующем – повышения уровня жизни [1–4].

Согласно работе академика В.Л. Квинта, «применение прорывных технологий на всех этапах стратегирования – один из значимых и первоочередных факторов обеспечения долгосрочного успеха» [5]. Помимо этого, как гласит одно из правил стратегического мышления В.Л. Квинта, «поддержка стратегически важных инноваций может обеспечить огромные стратегические преимущества» [6].

В качестве одного из отраслевых трендов в золотодобыче можно выделить снижающееся качество руды, что требует внедрения новых технологий. Эта тенденция отмечена во многих инновационных публикациях¹ [7]. В отчете консалтинговой фирмы Ernst & Young в 2024 г. отмечалось, что «содержание золота в руде постепенно снижается и стремится к 1 г/т»². Например, по данным Навоийского горно-металлургического комбината (Узбекистан) содержание золота в руде предприятия также снизилось до 1,1 г/т уже к концу 2023 г.³ Этот отраслевой тренд существенно является для предприятий стратегической угрозой, заставляя вести поиск не только новых месторождений, но и своевременно определять стратегические тренды, заниматься выявлением и внедрением инновационных технологий.

При переработке руды используется большое количество воды, служащей смазкой и растворителем. Следовательно, снижение качества руды заставляет производителей перерабатывать ее большие объемы для поддержания прежних уровней производства драгоценного металла, а вместе с тем потреблять все *большие объемы воды*.

Другим важным отраслевым трендом стратегической значимости является снижение доли россыпных месторождений. Следует отметить, что эта тенденция наблюдается на протяжении уже нескольких десятилетий. В связи со снижением доли россыпных месторождений, соответствен-

но увеличивается доля коренных руд открытых и подземных месторождений [8]. Значительную часть в переработке занимают упорные руды, а также руды двойной упорности [8]. Применение все более сложных технологических процессов, а также нескольких технологий последовательно требует значительных объемов водных ресурсов по тем же причинам, что описаны выше.

Исследователи отмечают, что основной конечной точкой цикла водопотребления на большинстве рудников являются хвостохранилища, а технологии повторного использования и переработки воды выступают возможными вариантами борьбы с ее нехваткой [9]. Таким образом, большая часть объемов потребляемой комбинами воды утилизируется вместе с хвостами производства, если не внедрены инновационные технологии обезвоживания. Исходя из этого, можно считать, что обезвоживание хвостов является перспективным методом повышения оборотного водоснабжения.

Отметим, что именно хвосты производства являются основным отходом золотодобычи. Они представляют собой смесь частиц пустой породы и малоценной руды, обычно наполненной водой, зачастую содержащей в себе опасные химические вещества, в частности, цианиды. Образовавшаяся пастообразная смесь после извлечения золота отправляется на захоронение в специально образуемые полигоны – хвостохранилища.

Исторически хвостохранилища формировались на территориях, окружаемых дамбами, внутри которых складывались отходы производства. Это требует решения множества вопросов, связанных как с физической безопасностью, так и с опасностью отравления подземных вод, грунтов и воздуха. Исторически для защиты от просачивания дно хвостохранилища устилалось глинистыми грунтами, что не дает стопроцентной защиты. Со временем была принята альтернативная технология по устиланию дна пленкой, однако и в этом случае невозможно исключить проникновения загрязненных вод. Возможно применение обеих технологий одновременно, что значительно повышает герметичность системы⁴.

Перечисленные выше стратегические угрозы заставляют осуществлять мониторинг состояния грунтовых вод и воздуха, а также заградительных сооружений (дамб). В мире известны случаи как

¹ Демшина Н. Кучное выщелачивание – новые возможности добычи золота. Глобус. Геология и бизнес. 18 марта 2024. Режим доступа: <https://www.vnedra.ru/analiticheskij-kontrol/kuchnoe-vyshhelachivanie-novye-vozmozhnosti-dobychi-zolota-24265/> (дата обращения 28.08.2025); Global gold mining outlook. Available at: https://www.fitchsolutions.com/bmi/commodities/global-gold-mining-outlook-05-09-2023?fWebArticleValidation=true&mkt_tok=NzMyLUNLSC03NjcAAAGV9VWp8_9q8uB3qQ4-WxOpdS_FQ5CXdwfIzxMn6V LGyDQ86S2kx0eG63ilc9AplFYgvid-XaVT5K2VsQbe3huKQV2w9ySsYUqi77XT9avLZh60blcq6Q (accessed on 04.10.2024).

² Braunsteiner D. How gold miners can build long-term competitiveness. 09 Feb. 2024. Available at: https://www.ey.com/en_ca/energy-resources/how-gold-miners-can-build-long-term-competitiveness (accessed on 04.10.2024).

³ АО «НГМК». Справочная информация о компании. Режим доступа: https://www.ngmk.uz/images/main-page/Fact%20sheet_rus.pdf (дата обращения: 08.08.2025).

⁴ Bodley A., Chen S., Ferrier M., Cooling D. Reclamation of a conventional tailings facility for long term dry stacking operations in Western Australia. Proceed. Tailings and Mine Waste 2011. November 6 to 9, 2011. Available at: <http://open.library.ubc.ca/media/stream/pdf/59368/1.0107706/1> (accessed on 08.09.2025).

нанесения экологического ущерба⁵, так и катастроф, связанных с прорывом дамб хвостохранилищ, унесших множество жизней⁶.

Разные методы, используемые для утилизации хвостов имеют свои достоинства и недостатки, однако традиционные способы (без использования технологий обезвоживания) несут в себе наибольшие риски аварий [10]. Несмотря на все усилия в области устойчивого управления отходами и очевидный положительный эффект для безопасности, популярность инновационных технологий обезвоживания хвостов не показывает заметного роста [11]. Это можно напрямую объяснить ожиданием более высокой стоимости их внедрения [12; 13].

В литературе существует подробный анализ технологических особенностей обезвоживания хвостов до разной степени влажности. Среди применяемых технологий можно выделить загустители, ленточные фильтр-прессы, камерные фильтр-прессы, центрифуги и др.⁷ [14]. В некоторых случаях наилучшего эффекта можно добиться путем комбинации двух и более технологий [15].

Ответственное управление хвостохранилищами

Следует отметить изменение отношения общества и производителей к вопросам устойчивого развития, что является частью глобального тренда в области ESG (*Environmental, Social and Governance*). Растущее значение экологических аспектов заставляет производителей внедрять инновационные технологии для соответствия повышающимся требованиям в области охраны окружающей среды. К негативным последствиям золотодобывающих производств можно отнести загрязнение воды (в первую очередь, токсичными веществами), загрязнение почвы, уничтожение ландшафта, выбросы тяжелых металлов

и мелкодисперсной пыли в воздух, отрицательное влияние на климат.

На достижении Целей в области устойчивого развития ООН сконцентрировано большое число программ и проектов в мире, и, в частности, в золотодобывающей промышленности. Соответствие растущим требованиям экологии является необходимым условием для лидерства в отрасли, и все компании-лидеры формализуют в своих стратегических документах соответствующие мероприятия⁸. Достижение этих целей невозможно без внедрения разнообразных инновационных технологий, и в том числе в области обезвоживания хвостов.

Усилия отраслевых акторов привели к формированию Глобального отраслевого стандарта управления хвостохранилищами⁹, а также других отраслевых стандартов, таких как Принципы ответственной золотодобычи Мирового золотого совета (*World Gold Council's Responsible Mining Principles*, RGMPs)¹⁰. Отметим, что Глобальный отраслевой стандарт управления хвостохранилищами – узкоспециальный документ, в то время как RGMPs являются более широкими и корреспондируют множеству Целей в области устойчивого развития ООН¹¹.

В основе Глобального отраслевого стандарта управления хвостохранилищами лежит комплексный подход, а сам стандарт направлен на предотвращение катастрофических сбоев и повышение безопасности хвостохранилищ по всему миру. При этом он шире рекомендаций по управлению хвостохранилищами и затрагивает

⁵ Towards zero harm. A compendium of papers prepared for the Global tailings review. 05 August 2020. Available at: <https://globaltailingsreview.org/wp-content/uploads/2020/09/GTR-TZH-compendium.pdf> (accessed on 08.09.2025).

⁶ «Потоки грязи разрывали людей на части». Бразилия пережила самую страшную катастрофу в своей истории. Виновных не нашли до сих пор. Режим доступа: <https://lenta.ru/articles/2019/06/26/brazil/> (дата обращения: 12.11.2025).

⁷ Whittinger R. Filtered dry stack tailings: the 'state of play' for high capacity tailings filter plants. Filtech 2019. May 2, 2020. Available at: <https://ausenco.com/insights/filtered-dry-stack-tailings-the-state-of-play-for-high-capacity-tailings-filter-plants/> (accessed on 08.09.2025); Fourie A.B., Reid D. (eds.). Klug R., Rivadeneira A., Schwarz N. Dewatering tailings for dry stacking: rapid water recovery by the means of centrifuges. Paste 2019 – AJC Paterson. Available at: <http://www.saimm.co.za/Conferences/Copper-Cobalt-2018/47-Schwarz-477-488.pdf> (accessed on 08.09.2025).

⁸ Newmont sustainability report 2023. Available at: https://s24.q4cdn.com/382246808/files/doc_downloads/2023/sustainability/newmont-2023-sustainability-report.pdf (accessed on 24.06.2025); Barrick Gold Corporation. Sustainability Report 2023. Available at: http://q4live.s25.clientfiles.s3-us-east-1.amazonaws.com/322814910/files/doc_downloads/sustainability/Barrick_Sustainability_Report_2023.pdf (accessed on 14.05.2025); Kinross Gold Corporation 2023 Sustainability Report. Available at: https://s2.q4cdn.com/496390694/files/doc_downloads/sustainability/2024/Kinross-Gold-2023-Sustainability-Report-Final.pdf (accessed on 18.11.2024); NMMC ESG Factsheet 2023. Available at: https://www.ngmk.uz/wp-content/uploads/2024/12/ESG_FACTSHEET_NMMC.pdf (accessed on 12.11.2025).

⁹ Глобальный отраслевой стандарт управления хвостохранилищами. Окончательный проект. 5 августа 2020 года. Режим доступа: https://globaltailingsreview.org/wp-content/uploads/2020/08/global-tailings-standard_spreads_RU.pdf (дата обращения: 18.11.2024).

¹⁰ Responsible gold mining principles. Available at: <https://www.gold.org/industry-standards/responsible-gold-mining> (accessed on 05.09.2025).

¹¹ Цели в области устойчивого развития. Режим доступа: <https://www.un.org/sustainabledevelopment/ru/sustainable-development-goals/> (дата обращения: 08.09.2025).

также многие важные вопросы, лежащие в смежных плоскостях: права человека в затронутых категориях населения, проблемы публичного раскрытия информации и многих др.

Проблема оценки потребляемых водных ресурсов. Определение справедливой цены воды

Отдельно стоит проблема оценки стоимости потребляемой воды. Применяемая цена частного потребителя или себестоимость ее извлечения из недр не является ни верной, ни справедливой, поскольку такой подход не учитывает стоимость восстановления воды, которая «не только не принимается во внимание, но и не совсем понятна» [16]. При таком подходе не учитывается эффект, перекладываемый экстенсивным потреблением воды на будущие поколения, а сокращение водных ресурсов на планете является глобальной стратегической угрозой.

Горнодобывающие производства расположены во многих регионах мира, которые характеризуются нехваткой водных ресурсов, а их дефицит является проблемой для индустрии в целом [17]. Одним из примеров таких мест является государство Чили, которое характеризуется и дефицитом водных ресурсов, и высокой концентрацией горнодобывающих предприятий в пустыне Атакама, считающейся самой засушливой территорией на земле. Данное государство богато ресурсами: оно занимает первое место по объемам добычи и экспорта меди, также активно идет разработка месторождений железа, нитратов, золота, серебра, цинка, рения, молибдена и лития¹². По имеющимся данным, доля горнодобывающей отрасли составила около 12 % валового внутреннего продукта (ВВП) государства по итогам 2023 г.¹³ и 14 % к концу 2024 г.¹⁴.

Опыт государственного регулирования в Чили в области добычи полезных ископаемых представляет большой интерес для исследователей и может быть заимствован другими странами.

¹² Экономическое развитие Чили. Режим доступа: <https://chiledren.com/ekonomicheskoe-razvitye-chily/#close> (дата обращения: 30.08.2025).

¹³ Mining sector contribution to the gross domestic product in Chile from 2011 to 2023, by mineral. Available at: <https://www.statista.com/statistics/1618186/chile-mining-sector-contribution-gdp-by-mineral/#:~:text=Mining%20sector%20GDP%20contribution%20in%20Chile%202011-2023%2C%20by%20mineral&text=Copper%20mining%20in%20Chile%20accounted,country's%20total%20GDP%20in%202023> (accessed on 30.08.2025).

¹⁴ Chile's mining and metals investment guide 2025. Available at: <https://www.ey.com/content/dam/ey-unified-site/ey-com/es-cl/about-us/documents/informe-minero-2025.pdf> (accessed on 30.08.2025).

Ведущая роль горнодобывающей отрасли в национальной экономике вынуждает государство гибко и ответственно подходить к формированию соответствующей институциональной среды. При этом важно отметить, что Чили входит в перечень государств с очень высоким уровнем человеческого развития¹⁵, а по расположению в рейтинге уровня восприятия коррупции¹⁶ занимает второе место в Южной Америке – после Уругвая.

При этом Чили характеризуется исторической сверхэксплуатацией водных ресурсов, а водный баланс в стране является отрицательным, начиная с 1996 г. [18]. Среди доступных источников пресной воды на территории страны существуют только ископаемые водоносные горизонты, чьи ресурсы воспроизводятся значительно медленнее, чем потребляются [19].

Возвращаясь к вопросам полной корректной оценки стоимости водных ресурсов, отметим, что необходимые механизмы могут быть закреплены на институциональном уровне. Так, в Чили законодательно запрещено использовать пресную воду в горной добыче на вновь открывающихся предприятиях [20], и компании вынуждены использовать морскую воду, которую они опресняют для производственных целей.

Подобные требования ставят предприятия отрасли в неравное положение с рядовыми потребителями водных ресурсов, поскольку технологии опреснения являются капиталоемкими [21]. В основе технологии опреснения лежит принцип обратного осмоса, потребляющего существенный объем энергии.

Отдельной проблемой является транспортировка воды – энергоемкая стадия, причем с потреблением преимущественно электрической энергии. Транспортировка воды на высоту 100 м требует такого же количества энергии, как ее горизонтальная транспортировка на расстояние в 100 км [22]. При этом некоторые горнодобывающие предприятия в Чили расположены на высоте в 3000 м над уровнем моря. Однако комбинаты в пустыне Атакама имеют конкурентное преимущество в виде большого количества доступной солнечной энергии. В результате большая часть потребностей в энергетике, необходимых на

¹⁵ Доклад о человеческом развитии за 2023–2024 гг. Режим доступа: <https://hdr.undp.org/system/files/documents/hdr2023-24overviewru.pdf> (дата обращения: 16.11.2025); Чили: Развитие человеческого потенциала. Режим доступа: https://ru.theglobaleconomy.com/Chile/human_development/ (дата обращения: 12.11.2025).

¹⁶ Рейтинг стран по уровню коррупции. Режим доступа: <https://ru.tradingeconomics.com/country-list/corruption-rank> (дата обращения: 12.11.2025).

опреснение, покрывается с помощью солнечных батарей [23].

В работе С. Эррера-Леон и соавт. (S. Herrega-Leon et al.) в своей работе предложили применение солнечных батарей в системах опреснения воды, а также оптимизацию стоимости систем водоснабжения путем их совместного использования несколькими потребителями [23]. Стоимость кубического метра воды в такой системе оценивается авторами в диапазоне от 3,52 до 5,70 долл. США [23]. В результате моделирования и оценки получена сравнительная цена единицы водных ресурсов. Рассчитанное значение составляет *справедливую цену*. Применение этой цены в расчетах при определении инвестиционных параметров проектов в горнодобывающей отрасли может быть полезным для соответствия проекта целям устойчивого развития. Как отмечают исследователи, в горной добыче есть четыре потенциальных варианта действий в случае нехватки местной пресной воды: снижение объемов производства, поиск пресной воды, поиск воды для доставки из другой местности, повышение эффективности водопользования [24]. На примере Чили была рассчитана *справедливая цена* водного ресурса, позволяющая организовать водопотребление в соответствии с принципами устойчивого развития. Видно, что для регионов с низкой доступностью местных водных ресурсов и невозможности их доставки из других регионов, из всех доступных вариантов именно организация эффективного водопользования приобретает форму стратегической возможности в терминах методологии стратегирования.

Экономические аспекты инновационного стратегического приоритета

Переход к ответственному управлению хвостохранилищами можно рассматривать как самостоятельный тренд. Отметим, что, согласно общей теории стратегии и методологии стратегирования академика В.Л. Квинта, любая стратегия направлена в первую очередь на повышение благополучия человека. При этом основным стратегическим интересом коммерческих предприятий является извлечение прибыли. В связи с этим требуются конкретные действия для согласования этих стратегических интересов.

Одним из факторов, влияющих на активное внедрение инновационных технологий – обезвоживания хвостов, является недостаточное количество достоверных данных об экономических результатах их применения, а зачастую и ожидание их отрицательного действия на экономические показатели проекта. Сроки реализации

проектов в золотодобыче могут составлять десятилетия от начала разработки до завершения. После прекращения добычи наступает фаза консервации, что подразумевает также мониторинг состояния хвостохранилищ, а также мероприятия по восстановлению биологического разнообразия. Существует тенденция предприятий к не полному учету затрат, связанных с консервацией и последующим обслуживанием промышленных объектов (в особенности опасных) на стадии проектирования. Однако необходимость поддержания их в безопасном состоянии отражается на операционных расходах предприятия, которые во многих случаях не заложены в стоимость проекта. Предприятия склонны свести затраты после завершения фазы добычи (совпадающей с фазой извлечения прибыли) к нулю. Недостаточное раскрытие информации и вследствие этого непрозрачность расходов на содержание дамб хвостохранилищ имеет тяжелые последствия, в особенности в случае аварий [25]. Отмечается, что шламообразные отходы с высоким содержанием воды требуют более высоких затрат на последующее восстановление, однако они более привлекательны для предприятия в связи с более низкими операционными и капитальными расходами [25].

Возможно, причина подобного подхода кроется в отсутствии доступного и удобного способа сопоставления себестоимости добычи, а также неполном учете затрат. При планировании финансовых показателей проекта компании во многих случаях не оценивают расходы на водные ресурсы по их *справедливой стоимости*.

Показатели операционных и капитальных расходов при внедрении технологий обезвоживания хвостов

Существующие методы учета и отнесения затрат в золотодобыче были приняты Мировым золотым советом в 2013 г. Основным методом является учет полных удельных затрат на золотодобычу (*All-in Sustaining Costs*, AISC). Их составная часть – полные денежные затраты (*Total Cash Costs*, TCC). Эти показатели были предложены для унификации методов оценки затрат и возможности сравнения разных предприятий и их экономической эффективности. Также они удобны для более полного понимания структуры издержек предприятия, поскольку в AISC включаются, среди прочих, затраты на геологоразведку и другие, не попадающие в себестоимость по привычным методам расчета. Внедрение показателей положительно повлияло на публичное раскрытие компаниями информации о результатах своей деятельности, однако, как отмечают иссле-

дователи, использование этой системы привело к искажению оценки цены капитала во времени в расчетах, в частности по причине некорректного учета амортизационных отчислений, процентных платежей и др. [25].

Отметим, что общепринятый метод финансового моделирования проектов – метод дисконтирования денежных потоков (*Discounted Cash Flows*, DCF) – основан на расчете взаимосвязанных показателей: чистой приведенной стоимости проекта (*Net Present Value*, NPV) и внутренней нормы доходности (*Internal Rate Of Return*, IRR). Однако NPV основан на снижении стоимости будущих финансовых потоков под влиянием одного фактора (снижения стоимости денег), растущего экспоненциально во времени [26]. Это вызывает преуменьшение денежных потоков будущих периодов при преувеличении более ранних денежных потоков [25]. Помимо этого, метод приводит к завышению оценки капиталовложений на ранних стадиях проекта [27]. Как известно, оценку инвестиций в горнодобывающей отрасли можно свести к оценке выручки (или опосредованно через объемы запасов, содержание минерала и соответствующих биржевых цен), допроизводственных капитальных расходов (CAPEX), текущих операционных расходов (OPEX) [26].

Общепринятым является использование метода чистой приведенной стоимости при оценке проектов в горнодобывающих отраслях с постоянной скорректированной ставкой дисконтирования (*Risk Adjusted Discount Rate*, RADR), при расчете которой помимо изменения стоимости денег во времени учитывается также показатель риска [28]. По сути, «ставка дисконтирования есть функция риска ожидаемых денежных потоков» [29]. Большинство проектов в горной добыче рассчитаны на периоды длительностью не менее 20 лет. При этом стадия закрытия рудника, его консервации приходится на самые поздние периоды. Отдаленность прогнозируемых периодов приводит, с одной стороны, к неточностям при их расчетах, а с другой – занижению роли соответствующих денежных потоков. Это может приводить к неверной постановке стратегических целей и задач, и некорректному распределению ресурсов по шкале времени в процессе разработки и реализации стратегии.

Другая проблема связана с оценкой финансовых показателей в добыче полезных ископаемых. Большинство моделей рассматривает случай открытия нового производства, применяется стоимость полной добычи в ценах года, а объем запасов рассчитывается по среднему содержанию [17]. Однако лица, принимающие ре-

шения, склонны в большем объеме добывать ископаемые в начале проекта, завышая темпы по отношению к будущим объемам добычи [30]. Это приводит к тому, что руда более высокого качества вырабатывается в первую очередь (если это возможно технологически). Таким образом, качество руды характеризуется постоянным снижением. Из-за этого денежный поток смещается на более ранние стадии проекта. Это обстоятельство также искажает будущие денежные потоки и может вызвать некорректное распределение ресурсов по шкале времени в процессе стратегирования.

В финансовой литературе описана и другая проблема, связанная с этим методом. Так, проекты в горнодобывающих отраслях характеризуются периодами как с положительными, так и с отрицательными чистыми денежными потоками. Это приводит к искажениям при расчете показателей NPV и IRR в моделях с постоянной RADR [31]. В качестве одного из предложений разрешения этой проблемы предложено «рассматривать большие отрицательные потоки в конце проекта как не операционные, т.е. не связанные с проектом, поэтому имеющие другую природу и другие риски... Но идея рассматривать большие отрицательные потоки как не связанные с проектом, не совсем корректна» [31]. Как уже было отмечено выше, именно такой подход был типичен при оценке проектов в золотодобывающей отрасли на протяжении долгого времени, что и приводило к неполному учету расходов, а следовательно, могло приводить к принятию неверных стратегических решений.

Альтернативные способы расчета финансовых показателей проектов

Некоторыми исследователями предложены альтернативные методы расчетов, например, основанные на структурировании всех издержек предприятия на 5 больших групп [26].

Из табл. 1 видно, что авторами предложено разделить расходы после рекультивации (*Post-Reclamation Care*, PRC) и расходы по долгосрочному управлению (*Long-Term Management*, LTM). Причина этого разделения в том, что хотя обе группы издержек относятся к периоду после закрытия объекта, они могут иметь разные источники финансирования. LTM – это издержки на поддержание некоего минимального уровня постоянного наблюдения и обслуживания заградительных барьеров, буферов и т.п. для соответствия формальным требованиям к рекультивации объекта. Эти издержки могут финансироваться за счет нового использования объекта после закры-

тия и смены назначения [26], что может открыть для объекта новые стратегические возможности.

Из рис. 1 видна ярко выраженная периодизация положительных и отрицательных денежных потоков. Хронологически сначала идут периоды с отрицательными денежными потоками, затем периоды с положительными и затем периоды рекультивации, закрытия проекта и его последующего поддержания, т.е. опять с отрицательными денежными потоками. При этом расходы на рекультивацию отнесены на поздние периоды. Все перечисленное в этом абзаце подтверждает доводы, рассмотренные ранее в настоящей работе.

Д. Эспинозой и Х. Рохо также предлагаются альтернативные методы расчета финансовых показателей проектов. Можно выделить метод «разделенной чистой приведенной стоимости» (*Decoupled Net Present Value*, DNPV) [28]). Метод предполагает разделение ставки дисконтирования проекта на две составляющие: компоненту, характеризующую изменение стоимости денег во времени, а также рисковую составляющую. Далее показатель риска учитывается во всех чистых денежных потоках в виде своеобразной «страховой премии» в соответствующем периоде [28].

Таблица 1 / Table 1

Структура совокупных издержек золотодобывающего предприятия

Structure of total costs of a gold mining enterprise

Номер группы	Группа издержек	Предмет издержек
1	Первоначальные и повторяющиеся капитальные вложения (CAPEX)	Капитальные объекты, объекты аренды, тяжелое оборудование, водоочистные сооружения, пруды и т.д.
2	Операционные расходы (OPEX)	Работы по вскрыше и добыче руды, переработка руды, управление водными ресурсами, обогащение руды, роялти и т.д.
3	Расходы на рекультивацию (Reclamation Costs)	Проектирование и реализация мероприятий по рекультивации
4	Расходы на обслуживание после рекультивации (Post-Reclamation Care, PRC)	Повторяющиеся и однократные мероприятия
5	Расходы по долгосрочному управлению (Long-Term Management, LTM)	Минимально необходимые расходы для целей поддержания проекта в экологически устойчивом состоянии без активного вмешательства (включенного в другие группировки)

Источник: составлено автором на основе [26]

Source: compiled by the author based on [26]

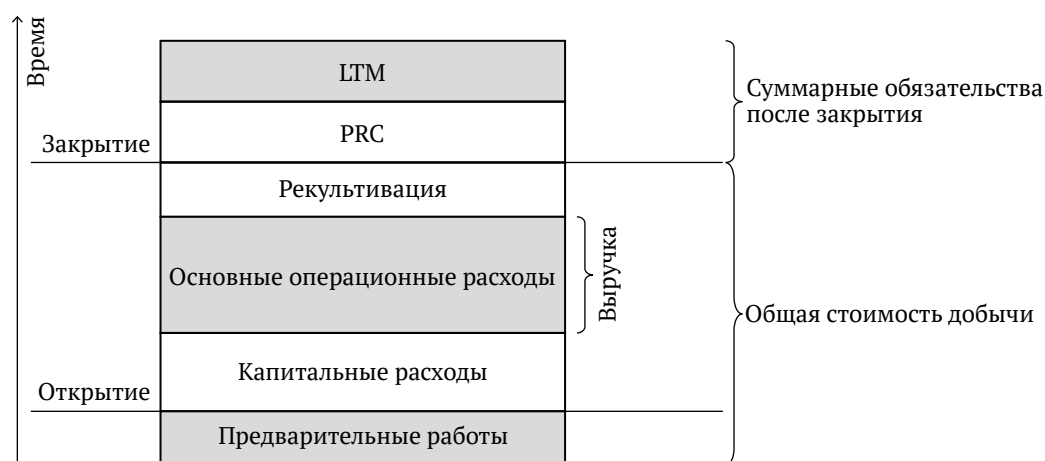


Рис. 1. Изменение структуры издержек золотодобывающего предприятия в зависимости от стадии жизни

Источник: составлено автором на основе [26]

Fig. 1. Changes in the cost structure of a gold mining enterprise depending on the stage of its life

Source: compiled by the author based on [26]

Б. Коксом, С. Иннисом, Дж. Стином и др. предложен новый финансовый показатель, позволяющий адекватно сравнивать стоимость строительства и эксплуатации хвостохранилищ различных предприятий [25]. Этот показатель учитывает обратную сторону долгосрочности проектов в золотодобыче – полную амортизацию хвостохранилищ к моменту закрытия основного производства, что противоречит экономической сущности и искажает экономические показатели. В качестве альтернативы предложено использовать показатель годовых затрат в долларах США на сухую метрическую тонну переработанной руды (USD/DMT (US dollars / dry metric tonne of ore processed, доллары США на метрическую тонну сухой переработанной руды)). Отмечено, что этот показатель уравнивает производителей вне зависимости от влажности хвостов или их расположения; однако показатель применим только для производителей со схожими рудами [25]. Помимо этого, в совокупности с предложенной моделью, показатель позволяет сравнить ранее несоотносимые CAPEX, OPEX и расходы на закрытие при разных применяемых технологиях [17]. Далее Б. Коксом, С. Иннисом, Дж. Стином и др. ставится задача привести стоимость всех аспектов, связанных с хвостохранилищами предприятия и их обслуживанием, к USD/DMT. Авторы применяют функцию Present value (PV) для первоначальных затрат на строительство, а также расходов на закрытие. С помощью функции Payment (PMT) рассчитываются ежегодные капитальные расходы. На основе проведенных расчетов может быть получена полная стоимость строительства и эксплуатации хвостохранилищ, которая затем приводится к виду USD/DMT [25]. Предложенный авторами метод не лишен недостатков и заложённых в него ограничений. К недостаткам можно отнести, что в модели в качестве ставки применяется средний показатель средневзвешенной стоимости капитала в отрасли (*Weighted Average Cost Of Capital*, WACC), публикуемый онлайн и рассчитанный по методологии Дамодарана¹⁷ [25]. Подобно RADR, он включает в себя премию за риск, что, как было показано ранее, приводит к искажениям для поздних денежных потоков. Тем не менее модель лишена проблемы, связанной с разнонаправленностью денежных потоков, а также ее существенным достоинством является более прозрачная классификация издержек и внедрение универсальной размерности относительных показателей (USD/DMT).

¹⁷ Cost of equity and capital (US). January 2025. Available at: https://pages.stern.nyu.edu/%7Eadamodar/New_Home_Page/datafile/wacc.html (accessed on 06.09.2025).

Заключение

Отметим, что внедрение инновационных технологий обезвоживания хвостов, хотя и приводит к росту OPEX и CAPEX на некоторых стадиях проекта, в целом может способствовать снижению OPEX, связанного с поддержанием хвостохранилища на поздних стадиях жизни проекта. Помимо этого, применение инновационных технологий обезвоживания значительно снижают PRC и LTM, а также имеют, в том числе, положительное влияние на CAPEX проекта в связи со сравнительно меньшими площадями, занятыми под хвостохранилища. Не менее важно и снижение неопределенности в отношении будущих периодов, т.е. уменьшение факторов риска в отдаленные периоды, и в особенности после закрытия производства. Это положительно влияет на устранение недостатка информации у предприятий в отношении рассмотренных инновационных технологий, что позволяет сформировать соответствующий стратегический инновационный приоритет – обезвоживание хвостов золотодобычи.

Согласно теории и методологии стратегирования, основной целью любой стратегии является повышение качества жизни и благополучие человека. При учете *справедливой цены* водных ресурсов, а также устранении недостатков, имеющих в моделировании экономических показателей проектов, можно добиться полной согласованности стратегических интересов государств, населения и золотодобывающих предприятий. Устранение недостатка информации в части экономических результатов от внедрения технологий обезвоживания хвостов позволит ускорить переход к инновационным методам в области обращения с отходами золотодобывающих производств. Строительство традиционных водонаполненных хвостохранилищ на новых объектах золотодобычи не должно рассматриваться в качестве варианта при наличии доступных альтернатив, а стратегические приоритеты компаний следует формировать с учетом имеющейся инновационной технологии – обезвоживания хвостов, способствующей повышению общественной эффективности.

Альтернативные методы учета издержек и расчета инвестиционных показателей проекта могут быть использованы для более точной постановки стратегических целей и задач и корректного распределения ресурсов по шкале времени в процессе стратегирования. Результаты настоящей работы также могут быть применимы в практике при принятии решений о выборе наилучшей доступной технологии в обращении с хвостами золотодобычи.

Список литературы / References

- Phelps E. *Mass flourishing: How Grassroots Innovation Created Jobs, Challenge, and Change*. Princeton: Princeton University Press; 2013. 378 p.
- Schumpeter J.A. *Business Cycles. A Theoretical, Historical and Statistical Analysis of the Capitalist Process*. New York: McGraw-Hill; 1939. 385 p.
- Аганбегян А.Г. Перспективы инновационного развития России (Часть I). *Российское конкурентное право и экономика*. 2023;(1):8–21. <https://doi.org/10.47361/2542-0259-2023-1-33-8-21>
Aganbegyan A.G. Prospects for innovative development of Russia (Part I). *Russian competition law and economy*. 2023;(1):8–21. (In Russ.). <https://doi.org/10.47361/2542-0259-2023-1-33-8-21>
- Стюарт Т.А. *Интеллектуальный капитал. Новый источник богатства организаций*. Пер. с англ. М.: Поколение; 2007. 368 с. (Russ. transl. from: Stewart Th.A. *Intellectual Capital: the New Wealth of Organizations*. New York: Doubleday: Currency; 1997. 278 p.)
- Квинт В.Л., Хворостяная А.С., Сасаев Н.И. Авангардные технологии в процессе стратегирования. *Экономика и управление*. 2020;26(11):1170–1179. <https://doi.org/10.35854/1998-1627-2020-11-1170-1179>
Kvint V.L., Khvorostyanaya A.S., Sasaev N.I. Advanced technologies in strategizing. *Economics and Management*. 2020;26(11):1170–1179. (In Russ.). <https://doi.org/10.35854/1998-1627-2020-11-1170-1179>
- Квинт В.Л. *Концепция стратегирования*. Кемерово: КемГУ; 2022. 170 с. <https://doi.org/10.21603/978-5-8353-2562-7>
- Rötzer N., Schmidt M. Decreasing metal ore grades – Is the fear of resource depletion justified? *Resources*. 2018;7(4):88. <https://doi.org/10.3390/resources7040088>
- Союз золотопромышленников России. *Обзор золотодобывающей отрасли России по итогам 2019 – первого полугодия 2020 года*. Ernst&Young. 58 с.
- Araya N., Ramirez Y., Cisternas L., Kraslawski A. Use of real options to enhance water-energy nexus in mine tailings management. *Applied Energy*. 2021;303:117626. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2021.117626>
- Armstrong M., Petter R., Petter C. Why have so many tailings dams failed in recent years? *Resources Policy*. 2019;63(2):101412. <https://doi.org/10.1016/j.resourpol.2019.101412>
- Franks D.M., Stringer M., Cruz L.A.T., Baker E., Valenta R., Thygesen K., Matthews A., Howchin J., Barrie S. Tailings facility disclosures reveal stability risks. *Scientific Reports*. 2021;11(1):1–7. <https://doi.org/10.1038/s41598-021-84897-0>
- Carneiro A., Fourie A. Assessing the impacts of uncertain future closure costs when evaluating strategies for tailings management. *Journal of Cleaner Production*. 2020;247:119173. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.119173>
- Williams D.J. Chapter VI. The role of technology and innovation in improving tailings management. In: Oberle B., Brereton D., Mihaylova A. (eds.). *Towards Zero Harm: A Compendium of Papers Prepared for the Global Tailings Review*. St Gallen, Switzerland: Global Tailings Review; 2020. P. 64–83. Available at: <https://globaltailingsreview.org/wp-content/uploads/2020/09/Ch-VI-The-Role-of-Technology-and-Innovation-in-Improving-Tailings-Management.pdf>
- Martin T.E., Davies M.P., Rice S., Higgs T., Lightball P.C. *Stewardship of tailings facilities*. Burnaby, B.C. Canada: AMEC Earth & Environmental Limited, Mining, Minerals and Sustainable Development; 2002. April, No. 20.
- Dixon-Hardy D.W., Engels J.M. Methods for the disposal and storage of mine tailings. *Land Contamination & Reclamation*. 2007;15(3):301–317.
- Kujawa C. Cycloning of tailing for the production of sand as TSF construction material. In: *Tailings and Mine Waste Conf. 2011*. Vancouver, B.C. University of British Columbia; Norman B. Keevil Institute of Mining Engineering; 2011. 11 p. <https://doi.org/10.14288/1.0107710>
- Cox B., Innis S., Steen J., Kunz N. The environmental and economic case for valuing water recovery and its relationship with tailings storage conservation. *Minerals Engineering*. 2023;201:108157. <https://doi.org/10.1016/j.mineng.2023.108157>
- Valdés-Pineda R., Pizarro R., García-Chevesich P., Valdés B.J., Olivares C., Vera M., Balocchi F., Pérez F., Vallejos C., Fuentes R., Abarza A., Helwig B. Water governance in Chile: Availability, management and climate change. *Journal of Hydrology*. 2014;519(Part C):2538–2567. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2014.04.016>
- Aitken D., Rivera D., Godoy-Faúndez A., Holzapfel E. Water scarcity and the impact of the mining and agricultural sectors in Chile. *Sustainability*. 2016;8(2):128. <https://doi.org/10.3390/su8020128>
- Herrera-Leon S., Cruz C., Kraslawski A., Cisternas L.A. Current situation and major challenges of desalination in Chile. *Desalination and Water Treatment*. 2019;171:93–104. <https://doi.org/10.5004/dwt.2019.24863>
- Campero C., Harris L.M., Kunz N.C. De-politicising seawater desalination: Environmental impact assessments in the Atacama mining region, Chile. *Environmental Science & Policy*. 2021;120:187–194. <https://doi.org/10.1016/j.envsci.2021.03.004>
- Zhou Y., Tol R.S.J. Evaluating the costs of desalination and water transport. *Water Resources Research*. 2005;41(3):10. <https://doi.org/10.1029/2004WR003749>

23. Herrera-Leon S., Lucay F.A., Cisternas L.A., Kraslawski A. Applying a multi-objective optimization approach in designing water supply systems for mining industries. The case of Chile. *Journal of Cleaner Production*. 2019;210:994–1004. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.11.081>
24. Ossa-Moreno J., McIntyre N., Ali S., Smart J.C.R., Rivera D., Lall U., Keir G. The hydro-economics of mining. *Ecological Economics*. 2018;145:368–379. <https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2017.11.010>
25. Cox. B., Innis S., Mortaza A., Kunz N., Steen J. A unified metric for costing of tailings dams and the consequences for tailings management. *Resources Policy*. 2022;78:102862. <https://doi.org/10.1016/j.resourpol.2022.102862>
26. Espinoza R.D., Morris J.W.F. Towards sustainable mining (part II): Accounting for mine reclamation and post reclamation care liabilities. *Resources Policy*. 2017;52:29–38. <https://doi.org/10.1016/j.resourpol.2017.01.010>
27. Samis M., Steen J. Financial evaluation of mining innovation pilot projects and the value of information. *Resources Policy*. 2020;69(2):101848. <https://doi.org/10.1016/j.resourpol.2020.101848>
28. Espinoza D., Rojo J. *Towards Sustainable Mining (Part I): Valuing Investment Opportunities in the Mining Sector*. Working Paper; 2016. 10 p. <https://doi.org/10.13140/RG.2.1.2467.8000>
29. Дамодаран А. *Инвестиционная оценка: Инструменты и методы оценки любых активов*. Пер. с англ. М.: Альпина Паблишерз; 2010. 1338 с. (Russ. transl. from: Damodaran A. *Investment Valuation: Tools and Techniques for Determining the Value of Any Asset*. New York: Wiley; 2002. 992 p.)
30. Neher P.A. *Natural Resource Economics. Conservation and Exploitation*. New York: Cambridge University Press; 1990. 360 p.
31. Бласет Кастро А.Н., Кулаков Н.Ю. Применение метода RADR для рискованных оттоков денежных средств. *Корпоративные финансы*. 2018;12(4):61–70. <https://doi.org/10.17323/j.jcfr.2073-0438.12.4.2018.61-70>
Blaset Kastro A., Kulakov N. An application of the RADR method for risky cash outflows. *Journal of Corporate Finance Research*. 2018;12(4):61–70. (In Russ.). <https://doi.org/10.17323/j.jcfr.2073-0438.12.4.2018.61-70>

Информация об авторе

Артем Константинович Солнцев – эксперт, отдел организационного обеспечения взаимодействия с корпусом экспертов Управления научно-методического руководства и экспертной деятельности, Российская академия наук, 119991, Москва, Ленинский просп., д. 14, Российская Федерация; аспирант, кафедра экономической и финансовой стратегии Московской школы экономики, Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, 119991, Москва, Ленинские горы, д. 1, стр. 61, Российская Федерация; ORCID: <https://orcid.org/0009-0000-5416-0198>; e-mail: a.k.solntsev@gmail.com

Information about the author

Artem K. Solntsev – Expert, Department of Organizational Support for Interaction with the Corps of Experts of the Office of Scientific and Methodological Guidance and Expert Activities, Russian Academy of Sciences, 14 Leninskiy Ave., Moscow 119991, Russian Federation; Postgraduate Student, Economic and Financial Strategy Department, Moscow School of Economics, Lomonosov Moscow State University, 1-61 Leninskiye Gory, Moscow 119991, Russian Federation; ORCID: <https://orcid.org/0009-0000-5416-0198>; e-mail: a.k.solntsev@gmail.com

Поступила в редакцию 12.10.2025; поступила после доработки 16.11.2025; принята к публикации 18.11.2025
Received 12.10.2025; Revised 16.11.2025; Accepted 18.11.2025