

УДК 330.4:338.5
JEL C02 C63 G32
DOI 10.25205/2542-0429-2020-20-4-138-151

Особенности экономической оценки эффективности освоения редкоземельных минерально-сырьевых ресурсов

В. А. Яценко

*Институт экономики и организации промышленного производства СО РАН
Новосибирск, Россия*

Аннотация

Важной современной особенностью развития ресурсного сектора является быстрое изменение типов и источников сырья, а также широкого спектра условий, в которых проходят процессы освоения минерально-сырьевых ресурсов. Не являются исключением редкоземельные источники сырья, освоение которых носит инновационный характер, что предполагает применение новых знаний, технологий и подходов. Причем с экономической точки зрения такие источники будут активами, которые требуют оценки эффективности вложенных инвестиций со всеми свойствами и характеристиками инвестиционных проектов.

Анализируется экономическая оценка эффективности освоения нового источника редкоземельного сырья на примере участка Буранный месторождения Томтор, расположенного в Республике Саха (Якутия).

Ключевые слова

редкоземельные металлы, месторождение Томтор, экономическая оценка, инвестиционный проект

Источник финансирования

Исследования выполнялись при финансовой поддержке Российского научного фонда (проект № 19-18-00170 «Трансформация процессов развития российского ресурсного сектора в условиях становления экономики знаний»)

Для цитирования

Яценко В. А. Особенности экономической оценки эффективности освоения редкоземельных минерально-сырьевых ресурсов // Мир экономики и управления. 2020. Т. 20, № 4. С. 138–151. DOI 10.25205/2542-0429-2020-20-4-138-151

Specific Aspects in Assessing Economic Feasibility of Rare Earth Mining

V. A. Yatsenko

*Institute of Economics and Industrial Engineering SB RAS
Novosibirsk, Russian Federation*

Abstract

An important up-to-date feature of the resources sector development is a rapid change of types and raw material sources as well as a wide range of conditions in which the processes of mineral resources development take place. The sources of rare earth elements are not an exception because the innovative nature of their development implies the use of new knowledge, technologies and approaches. Moreover, from

© В. А. Яценко, 2020

an economic perspective, like any investment projects, such sources of raw materials require feasibility assessment and their investment effectiveness.

Based on the above, the article analyzes an economic assessment of the development of new source of rare earth elements by the example of the Burann area of the Tomtor deposit in the Republic of Sakha (Yakutia).

Keywords

rare earth metals, the Tomtor deposit, economic valuation, investment project

Funding

The paper is funded by the Russian Science Foundation (RSF) within the framework of the scientific project no. 19-18-00170 "Transformation of the development processes of the Russian resource sector in the conditions of the formation of the knowledge economy"

For citation

Yatsenko V. A. Specific Aspects in Assessing Economic Feasibility of Rare Earth Mining. *World of Economics and Management*, 2020, vol. 20, no. 4, p. 138–151. (in Russ.) DOI 10.25205/2542-0429-2020-20-4-138-151

Рынок редкоземельных металлов¹ является одним из самых молодых товарных рынков в мире и растет впечатляющими темпами по сравнению с рынками других базовых металлов (никель, медь, железо, золото и др.): начиная с 90-х гг. прошлого века суммарное производство РЗМ в мире выросло более чем в 3 раза к 2018 г., и составило примерно 170 тыс. тонн², суммарное потребление выросло примерно в 6 раз и составило порядка 182 тыс. тонн, что, по нашим оценкам, соответствует примерно 7–9 млрд долл. США [2]. А весь глобальный рынок высокотехнологичной продукции и товаров на основе РЗМ составляет 1,5–2 трлн долл. США, что соответствует 9–12 % от объемов всей мировой торговли³.

Современная динамика развития общества уже привела к стремительному росту потребления минерального сырья, поэтому в промышленный оборот вовлекаются источники полезных ископаемых, которые ранее к таковым не относились, но могли бы удовлетворить меняющийся спрос. Это связано не только с постепенным истощением ранее освоенных и ранее вовлеченных в оборот источников минерально-сырьевых ресурсов, но и с развитием инновационной экономики, появлением новых знаний и применением новых технологий, изменением социально-экономической и геополитической системы.

В результате в развитых странах мира ключевой стала проблема развития и воспроизводства минерально-сырьевой базы (МСБ), поскольку она постоянно меняется, причем чаще в худшую сторону, так как в разработку всегда вовлекаются вначале самые рентабельные месторождения. В последнее время часть воспроизводства МСБ происходит за счет сложных и нетрадиционных источников мине-

¹ Редкоземельные металлы (РЗМ), или редкоземельные элементы (РЗЭ), представляют собой группу из 15 лантаноидов, имеющих порядковые номера от 57 до 71 (лантан, церий, празеодим, неодим, прометий, самарий, европий, гадолиний, тербий, диспрозий, гольмий, эрбий, тулий, иттербий, лютеций), иттрий, иногда скандий (порядковые номера соответственно 39 и 21). РЗМ разделяют на три группы по их атомному весу: легкие, средние и тяжелые (в западной литературе часто делят на две группы: легкие и тяжелые). С учетом конфигурации электронов в атомах РЗМ делят на цериевую и иттриевую группы [1].

² Здесь и далее все представленные цифры добычи, производства и потребления приводятся в пересчете на оксиды РЗМ.

³ The United States Geological Survey // Rare Earths Statistics and Information. URL: https://minerals.usgs.gov/minerals/pubs/commodity/rare_earths/index.html#mcs (дата обращения 01.02.2018).

рально-сырьевых ресурсов, к которым можно отнести РЗМ. Поскольку в земной коре они не являются относительно редкими, они чаще встречаются, чем, например, золото, уран, свинец, олово, молибден, вольфрам и т. д. Однако месторождения с промышленными концентрациями редкоземельных руд менее распространены, чем для большинства других полезных ископаемых.

Это связано с тем, что, во-первых, руды являются комплексными и сложными по составу. Помимо самих РЗМ в них содержатся такие элементы, как ниобий, тантал, фосфор, железо, алюминий и др. Известно более 250 минералов, которые содержат РЗМ, но только 60–65 являются «редкоземельными». Поэтому в наше время до сих пор одной из важнейших задач остается разработка принципиально новых подходов и технологий глубокой и комплексной переработки редкоземельных руд, не поддающихся обогащению традиционными физико-механическими методами [3]. Во-вторых, редкоземельные руды содержат радиоактивные торий и уран, концентрации которых сильно отличаются для каждого редкоземельного месторождения, при этом в настоящее время эти элементы считаются побочными при добыче. В-третьих, редкоземельные элементы часто являются попутными продуктами добычи и переработки руды с такими элементами, как железо, кобальт, марганец, титан, ниобий, тантал, цирконий и др. [4; 5].

Целесообразность вовлечения редкоземельных источников минерально-сырьевых ресурсов в промышленную эксплуатацию требует тщательного изучения геологического строения объекта, необходимой инфраструктуры, методов эффективного извлечения и обогащения ценных компонентов, поиска новых или модификации старых технологий. Поэтому освоение редкоземельных источников всегда носит инновационный характер, а технико-экономические расчеты являются сложными и подвержены большим погрешностям.

С экономической точки зрения такие источники будут активами, которые требуют оценки эффективности вложенных инвестиций со всеми свойствами и характеристиками инвестиционных проектов [6]. С этой позиции освоение источников редкоземельных минерально-сырьевых ресурсов будет подвержено дополнительным капитальным и текущим затратам, в том числе на НИОКР, и значительным рискам в сравнении с разработкой традиционных источников минерально-сырьевых ресурсов. Это необходимо учитывать при оценке эффективности инвестиций в проекты освоения сложных и нетрадиционных источников сырья.

Экономическая оценка эффективности освоения нового источника редкоземельного сырья на примере участка Буранный месторождения Томтор

Главным условием, при котором потенциальный инвестор примет решение о финансировании проекта, является достижение проектом поставленных задач согласно долгосрочным целям на основе финансовой модели, где в качестве одного из главных индикаторов выступают денежные потоки. Это традиционный подход к экономической оценке эффективности инвестиционных проектов, включая инвестиционные проекты освоения нетрадиционных источников сырья, который часто используется как в мировой, так и в российской практике. Согласно действующим российским методическим рекомендациям, применяются модели дисконтированных денежных потоков (Discounted cash flow, DCF) с дополнительным

учетом рисков [7]. На основе DCF-модели вычисляются главные критерии, показывающие какой будет эффект от инвестиционного проекта: чистая приведенная стоимость (Net present value, NPV), внутренняя норма доходности (Internal rate of return, IRR), срок окупаемости (Payback period, PB) и др. [6]. Для проектов освоения редкоземельных источников сырья характерны низкие значения NPV (в некоторых случаях даже отрицательные значения) при высоких инвестиционных вложениях с длительными периодами окупаемости (PB) в сравнении с высоколиквидными видами твердых полезных ископаемых (золото, медь, уголь, фосфатное, калийное сырье и др.)⁴.

Так, первоначальные капитальные затраты, необходимые для разработки и освоения редкоземельных источников сырья, являются одним из важнейших факторов, влияющих на технико-экономические показатели и рентабельность проекта. Во-первых, интервал времени от геологоразведочных работ на объектах со сложным геологическим строением до освоения может составить более 10–15 лет. Это значит, что высокие капитальные затраты, являются большим инвестиционным риском и являются серьезным барьером для финансирования освоения редкоземельных источников минерально-сырьевых ресурсов. Во-вторых, разработка и ввод в эксплуатацию новых технологий добычи и обогащения ценных компонентов требует значительного времени и средств на исследования, апробацию и оптимизацию процессов вдоль всей производственной цепочки. В-третьих, необходимое количество электрической энергии, воды и реактивов для добычи и обогащения руд до товарной продукции часто имеет решающее значение для рентабельности проектов. Особенно остро этот вопрос будет стоять для объектов, расположенных на значительном удалении от территорий с развитой инфраструктурой, например в арктической зоне, поскольку наличие вблизи транспортной системы, электрических сетей, водоснабжения, канализации, доступа к квалифицированной рабочей силе существенно снижают операционные издержки и сильно влияют на первоначальные капитальные расходы.

Например, одно из самых крупных редкоземельных месторождений как в России, так и в мире – Томтор в Республике Саха (Якутия), было открыто 60 лет назад (рис. 1). Оно является уникальным по своему составу и концентрациям двух десятков как традиционных полезных ископаемых (железо, фосфор, титан, ванадий), так и редких элементов (от лантана до высокодефицитных иттрия и скандия). Но визитной карточкой Томтора являются редкие элементы: ниобий, иттрий, скандий и группа лантаноидов. Практически каждый из них присутствует в столь внушительных концентрациях, ранее не известных в мировой геологической практике, что именно якутское месторождение в ряду уникальных ниобий-редкоземельных объектов планеты заняло первое место. Запасы редких элементов в месторождении Томтор огромны и при нынешнем спросе могут обеспечить потребности России (а при определенных условиях и мира) на сотни лет [7].

⁴ Методические рекомендации по технико-экономическому обоснованию кондиций для подсчета запасов месторождений твердых полезных ископаемых (кроме углей и горючих сланцев). URL: http://www.gkz-rrf.ru/sites/default/files/docs/met_rek_tpi_teo_2.pdf (дата обращения 15.10.2015).

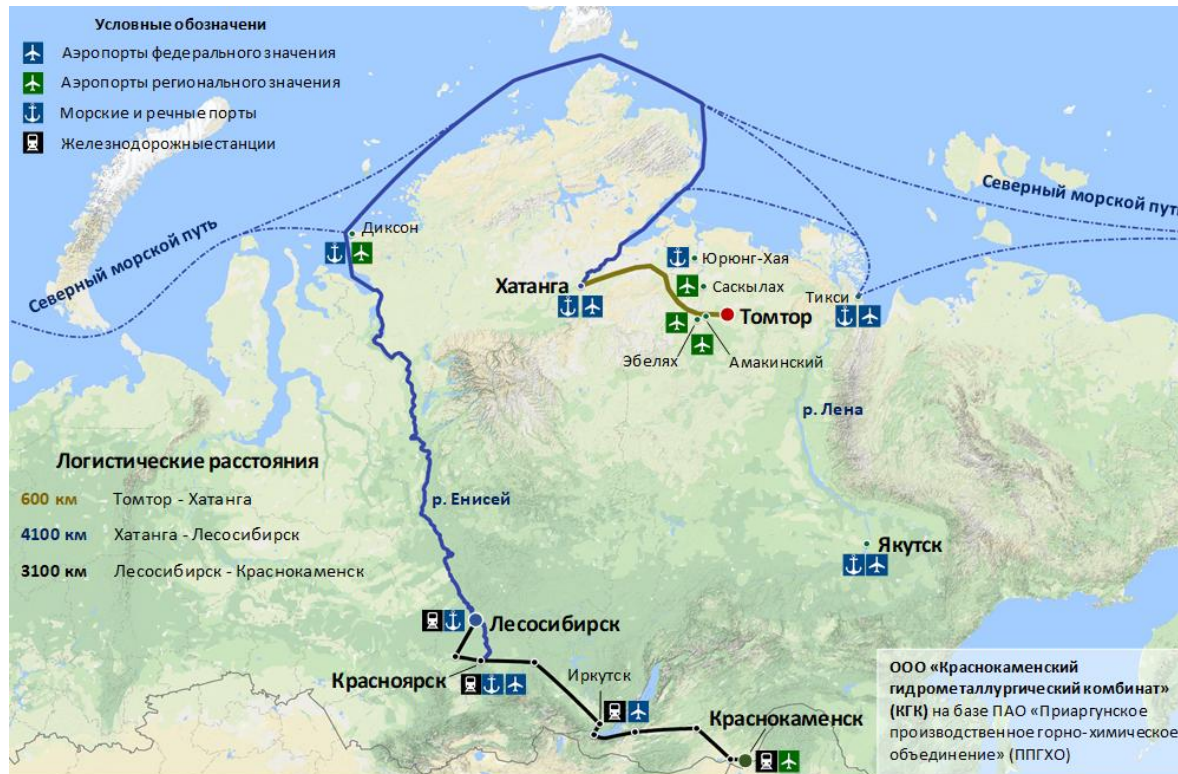


Рис. 1. Географическая карта расположения месторождения Томтор (географические координаты месторождения: 71°02' северной широты, 116°33' восточной долготы)

Fig. 1. Geographical map of the Tomtor field (geographic coordinates: 71°02' north latitude, 116°33' east longitude)

В 2014 г. дочернее предприятие «ТриАрк Майнинг»⁵ – «Восток Инжиниринг» выиграло аукцион на разработку одного из участков месторождения Томтор – Буранный⁶, где сосредоточенно порядка 8 % запасов и ресурсов месторождения. В 2018 г. были утверждены в Росгеолфонде технико-экономическое обоснование постоянных разведочных кондиций и запасы редкоземельных руд участка⁷. Согласно действующей лицензии, срок окончания которой в 2034 г., в 2022–2023 гг. запланированы строительство объектов инфраструктуры и запуск химико-металлургического производства для переработки томторских руд, на территории Приаргунского производственного горно-химического объединения (ППГХО) в Краснокаменске (Забайкальский край) с объемом производства до 10 тыс. тонн в год разделенных оксидов РЗМ. Компания планирует занять доминирующее положение на европейском рынке и обеспечить до 10 % мировых поставок редкоземельных металлов⁸.

К 2021 г. запланировано строительство автозимника до порта Хатанги в Красноярском крае⁹, что в совокупности составит примерно 600 км, из которых около 200 км будет находиться на территории Республики Саха (Якутия) [8]. Транспортировку руды с участка Буранный месторождения Томтор до порта Хатанга предполагается производить на самосвалах с прицепом по автозимнику в контейнерах, наполненных специализированными мешками (big bags), основными свойствами которых являются абсолютная герметичность и высокая прочность. Затем компания «Хатангский морской торговый порт» (ХМТП) в навигационный период будет перевозить контейнеры до сортировочной железнодорожной станции, как мы предполагаем, либо до Лесосибирска (примерно 4,1 тыс. км), либо до Красноярска (примерно 4,5 тыс. км), откуда эти контейнеры будут перегружаться на железнодорожные составы, и перевозиться до Краснокаменского гидromеталлургического комбината (примерно 3 тыс. км) (см. рис. 1).

По нашим оценкам, экономическая эффективность инвестиционного проекта освоения участка Буранный существенно зависит от потребления и стоимости химических реагентов, используемых в процессе обогащения руды до товарной продукции. Так, после выхода проекта на полную мощность расходы на реагенты, по

⁵ Российский сырьевой холдинг ООО «РТ-Глобальные Ресурсы» (РТ-ГР), входящий в состав ГК Ростех, и группа компаний ИСТ создали совместное предприятие «ТриАрк Майнинг». Основной целью компании стало развитие в России отрасли добычи руды и производства оксидов редкоземельных металлов и ниобия, обеспечения российской промышленности высокотехнологичными материалами на их основе. В мае 2014 г. компания «ТриАрк Майнинг» выиграла конкурс на разработку одного из участков месторождения Томтор – участок Буранный. Для разработки участка было создано дочернее предприятие «Восток Инжиниринг», которое владеет лицензией и зарегистрировано в Оленекском эвенкийском национальном районе Республики Саха (Якутия).

⁶ В настоящий момент выделены еще два участка – Южный и Северный.

⁷ Электронный каталог геологических документов // ФГБУ «Росгеолфонд». URL: <https://www.rfgf.ru/catalog/docview.php?did=45bb92792d5445306a899fd5755d14e4> (дата обращения 10.03.2019).

⁸ Компания «ТриАрк Майнинг» [Сайт]. URL: <http://threearc.ru/about/detail.php?ID=7> (дата обращения 23.09.2016).

⁹ На данный момент рассматривается еще один вариант транспортировки – Северным морским путем до Владивостока. На наш взгляд, этот вариант является менее экономически эффективным, так как сильно удлиняет маршрут. Источник: Хатангский морской порт планируют сделать местом транспортировки редкоземельных металлов // Компания «ТриАрк Майнинг» [Сайт]. URL: <http://threearc.ru/news/detail.php?ID=127> (дата обращения 13.04.2019).

нашим расчетам, ежегодно будут составлять 46–49 % от общих затрат (рис. 2). Это свидетельствует о сложности технологии обогащения и выделения ценных компонентов из руды. Причем многие научные коллективы и обогатители пытались создать технологию комплексной переработки руд, но физико-химические свойства руд участка Буранный не позволяли этого сделать. Даже базовая схема переработки руды, предложенная специалистами Института химии и химической технологии (ИХХТ СО РАН), пригодна не для всех промышленных типов руд, а имеет значительные ограничения по содержаниям оксидов кремния, железа, кальция и титана [3]. Поэтому решение, принятое компанией «ТриАрк Майнинг» о размещении химико-металлургического производства для переработки томторских руд на территории ППХО, входящего в горнорудный дивизион Госкорпорации «Росатом» (Урановый холдинг «АРМЗ»), где располагается развитая промышленная инфраструктура, на первый взгляд выглядит целесообразным. Это также целесообразно с точки зрения возможностей сбыта товарной продукции в Китае и в Азиатско-Тихоокеанском регионе в целом, где расположены основные мировые производства высокотехнологичной продукции, для создания которой требуются РЗМ.

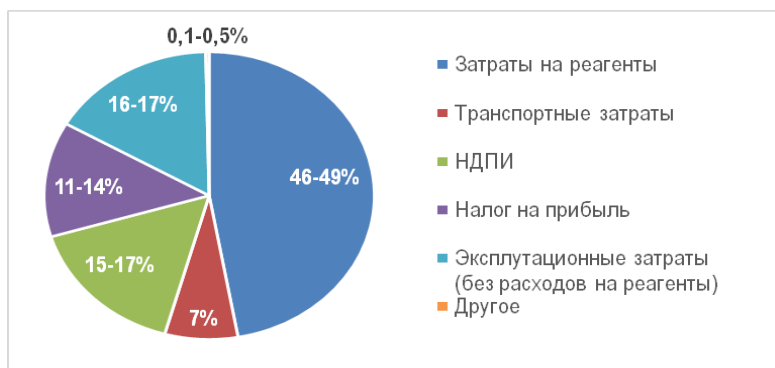


Рис. 2. Структура ежегодных издержек инвестиционного проекта разработки участка Буранный месторождения Томтор 2024–2034 гг.

Fig. 2. The structure of annual costs for the Tomtor investment project 2024–2034

Эксплуатационные затраты (без учета расходов на реагенты), которые обеспечивают работоспособность основных средств на протяжении всего срока их эксплуатации, составляют также значительную долю от общих затрат. После выхода проекта на полную мощность их ежегодный уровень, по нашим оценкам, может составить 16–17 % от общих затрат (см. рис. 2). На эту категорию расходов влияют такие факторы, как сложность технологии обогащения и извлечения товарной продукции, отсутствие развитой инфраструктуры, очаговый и сезонный характер хозяйствования в районе месторождения, экстремальный характер климатических условий арктической зоны и др.

Удаленность месторождения от промышленной площадки, выбранной компанией «ТриАрк Майнинг» для строительства химико-металлургического производства, является причиной значительных транспортных расходов, которые, по нашим оценкам, могут составить около 7 % от общих затрат. Логистическое плечо составит примерно 8 тыс. км (см. рис. 1), при этом руда будет перевозиться в контейнерах, наполненных специализированными мешками, разными видами транспорта: грузовым, флотом речного и арктического класса, железнодорожным. Также к транспортным расходам относятся издержки на транспортировку оборудования, персонала, строительных и иных материалов до месторождения.

На наш взгляд, транспортные издержки можно было бы существенно снизить, если бы компанией «ТриАрк Майнинг» был принят альтернативный вариант промышленной площадки на территории Горно-химического комбината (Железногорск, Красноярский край), который также входит в состав ГК «Росатом», где в начале 2000-х гг. уже предпринималась попытка апробирования гидрометаллургического метода извлечения РЗМ из томторской руды. Вместе с тем преимущество этого варианта заключается в том, что здесь, во-первых, имеется весь комплекс сооружений и коммуникаций для создания нового химико-металлургического комбината, полная транспортно-логистическая инфраструктура, и, во-вторых, имеются все необходимые компетенции для работы с радиоактивными компонентами руды. Например, их утилизация и хранение, конструирование технологического оборудования и его техническое обслуживание [8].

Стоит также отметить, что инвестиционные проекты освоения редкоземельных источников сырья в России испытывают существенное давление со стороны налоговой системы. Так, после выхода проекта на полную мощность налог на добычу полезных ископаемых (НДПИ) будет на уровне 15–17 %, налог на прибыль – 11–14 %, налог на имущество – 0,1–0,4 % ежегодно в сумме от общих затрат (см. рис. 2). В итоге совокупная налоговая нагрузка на проект освоения участка Бураный будет на уровне 26–31 % ежегодно (без учета других прямых и косвенных налогов). В этой связи рациональным выглядит снижение ставки налога на добычу полезных ископаемых при разработке месторождений редких металлов с 8 до 4,8 % с 2020 г. Это позволит снизить налоговую нагрузку на проект до уровня 13–15 % в год от общих затрат.

По данным ГК «Ростех», необходимо 560 млн долл. США совокупных капитальных затрат, чтобы создать производство мощностью 8 тыс. тонн ниобия и 13 тыс. тонн разделенных оксидов РЗМ¹⁰. В то же время, по оценке директора Института геологии и минералогии СО РАН академика РАН Николая Петровича Похиленко, общий объем инвестиций, необходимый при годовой мощности переработки 100 тыс. тонн руды при сложившейся внешней экономической конъюнктуре, обойдется не менее чем в 70 млрд руб., при проектировании максимальной мощности в 150 тыс. тонн – инвестиции составят не менее чем 100 млрд руб.¹¹

¹⁰ Годовой отчет государственной корпорации «Ростех» за 2017 год // Государственная корпорация «Ростех» [Сайт]. URL: <https://rostec.ru/upload/iblock/609/60954456d3f675625e60918653ceb028.pdf> (дата обращения 02.05.2018).

¹¹ Николай Похиленко: освоение Томторского месторождения в Якутии обойдется в 70 млрд рублей // Новости Сибирской науки. 31 марта 2016 года. URL: <http://www.sib-science.info/ru/sbras/tomtor-30032016> (дата обращения 03.05.2016). См. также [9].

Поскольку мир создает быстрым темпом высокотехнологичные продукты и товары на основе РЗМ, а глобальное редкоземельное производство не в состоянии удовлетворить растущий спрос, то доходная часть проекта будет значительно зависеть только от двух основных факторов: качества и количества произведенной продукции на Краснокаменском гидрометаллургическом комбинате и общемировых цен на ниобий и оксиды РЗМ [2]. На основе технологической схемы переработки томторских руд, разработанной специалистами ИХХТ СО РАН¹², стоимость товарной продукции в одной тонне томторской руды за последние 20 лет, по нашим оценкам, варьируется от 2 до 9,7 тыс. долл. США¹³ (что говорит о высоких показателях волатильности).

Для получения экономической оценки эффективности освоения таких активов, как редкоземельные источники минерально-сырьевых ресурсов, также необходимо корректно вычислять ставку дисконтирования, на основе которой будут производиться расчеты главных критериев проекта: NPV, IRR, PB и др. Согласно методическим рекомендациям Государственной комиссии по запасам полезных ископаемых (ГКЗ РФ), при отсутствии документального обоснования ставки дисконтирования обычно принимаются равными 10 и 15 %. При этом в рамках традиционного подхода предполагается сохранение существующей конъюнктуры на протяжении всей реализации проекта, поэтому не вовлекается прогнозная информация об изменении геологических, технологических, геополитических, рыночных и многих других условий. В результате перспективные проекты часто не реализуются из-за низкой или даже отрицательной экономической эффективности.

По нашим оценкам, чистый дисконтированный доход (NPV) инвестиционного проекта освоения участка Буранный месторождения Томтор на основе технологии, разработанной специалистами ИХХТ СО РАН, в условиях снижения ставки НДС при разработке месторождений редких металлов до уровня 4,8 %, которая начнет действовать с 2020 г., при разных уровнях цен РЗМ будет находиться в диапазоне от –22,6 млрд до 253,9 млрд руб. в зависимости от ставки дисконтирования и капитальных затрат (рис. 3). При тех же условиях показатель NPV при средних ценах на оксиды РЗМ за последние 20 лет находится в интервале 14,7–70,1 млрд руб.

¹² По этой технологии до 70–80 % рудных компонентов выделяется в ценную товарную продукцию – редкоземельные оксиды, оксид ниобия и титана, скандий, алюминий и фосфаты. Кроме того, технология выгодно отличается тем, что объем отходов (хвостов) не превышает полутонны с 1 тонны руды, радиоактивные элементы концентрируются в отдельный продукт объемом около 60 кг, а расход реагентов – около 0,25 тонн [10].

¹³ Оценки стоимости товарной продукции в одной тонне томторской руды вычислялись на основе статистических данных китайского аналитического ресурса Asian Metal: Asian Metal. Guiding the World Metal Market. AM Prices. URL: <http://www.asianmetal.com> (дата обращения 01.12.2018) и Геологической службы США (USGS): The United States Geological Survey // Rare Earths Statistics and Information. URL: https://minerals.usgs.gov/minerals/pubs/commodity/rare_earths/index.html#mcs (дата обращения 01.02.2018).

Так, минимальная стоимость товарной продукции в одной тонне томторской руды за последние 20 лет составила 2 тыс. долл. США в 2009 г., максимальная – 9,7 тыс. долл. США в 2011 г., среднее значение – 3,7 тыс. долл. США.

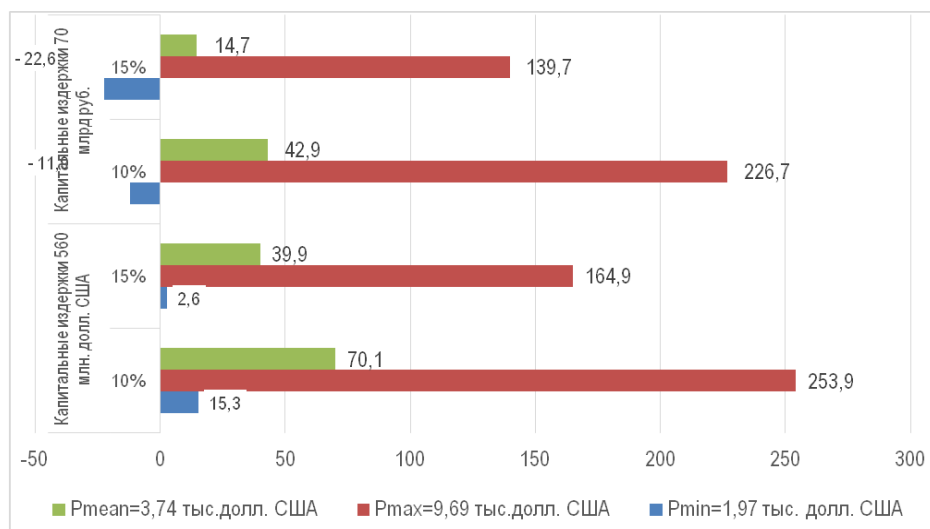


Рис. 3. Оценки NPV инвестиционного проекта освоения участка Буранный месторождения Томтор при различной ценовой конъюнктуре РЗМ и требуемых капитальных затратах, млрд руб.

Fig. 3. NPV for different REE prices and required capital costs for the Tomtor investment project (RUB bln)

Такой разброс показателя NPV в зависимости от ценовой конъюнктуры РЗМ и необходимых затрат на освоение геологического объекта говорит не только о сложности технологий извлечения ценных компонент из руды, но и чрезмерно высокой чувствительности к рискам на основные показатели модели: время выполнения, прибыль, объем производства продукции и на успешную реализацию проекта в целом. Поэтому для потенциальных инвесторов необходим комплексный анализ рисков, которые в общем можно классифицировать следующим образом: геологические, технологические, политические, рыночные, социальные и экологические риски [6].

При этом в рамках традиционного подхода все риски рассматриваются исключительно как негативный фактор. Чем больше риск, тем более высокий уровень доходности требуют инвесторы, поэтому дисконтируют денежные потоки проекта по более высокой ставке, что приводит к еще большему снижению экономической оценки проектов освоения источников редкоземельных минерально-сырьевых ресурсов. Хотя в силу разных причин спрос на конечную продукцию и его структура, а значит, и цены, могут сильно измениться в течение периода освоения источника, который может составлять несколько десятков лет. Причем в рамках традиционного подхода не имеет значения, какую общую тенденцию имеют спрос и цены: к росту или падению.

В настоящее время идет активное развитие нового направления стоимостной оценки инвестиционных проектов на основе метода дисконтирования денежных потоков – концепции реальных опционов (Real Option Approach, ROA), позволяющего иным образом посмотреть не только на факторы риска, но и на гибкость

управления в процессе осуществления проекта [10; 11]. В условиях высоких рисков проекты освоения нетрадиционных источников сырья содержат реальные опционы, которые часто недооцениваются.

Применение теории опционов приводит в общем случае к сценарному подходу и к поиску скрытых потенциальных возможностей [10]. При этом опциональный подход позволяет получить одну оценку ценности проекта вместо диапазона оценок при разных ставках дисконтирования, как на рис. 3, которая будет состоять из комбинации экономической оценки эффективности инвестиций в этот проект, рассчитанной традиционным методом, и стоимости реального опциона, который предоставляет право на принятие конкретного стратегического решения.

В этом контексте реальный опцион является добавочной ценностью к экономической оценке, рассчитанной методом дисконтированных денежных потоков, которая связана с гибкостью управления в процессе осуществления проекта и возможностью либо получить сверхприбыль, либо минимизировать убытки при негативном сценарии развития проекта, учтя тем самым риски. Это дает возможность инвестору оценить все варианты развития проекта, в том числе возможность расширения производства при высоких ценах на конечную продукцию, либо, наоборот, сократить производство при низких ценах на конечную продукцию (вплоть до полной остановки операционной деятельности и закрытия предприятия с возможностью получить ликвидационную стоимость). Например, в работах [6; 12] было показано, что рыночный риск является одним из ключевых факторов, влияющих на экономическую оценку инвестиционного проекта освоения участка Буранный месторождения Томтор. А в работе [11] авторы показали влияние всех перечисленных выше рисков на оценку ценности проекта разработки китайского железорудного месторождения Bayan Obo¹⁴. Поэтому в силу сильной волатильности цен на редкоземельную продукцию скрытая стоимость проекта может оказаться в несколько раз выше, чем оценки, получаемые традиционным методом.

Заключение

Кроме месторождения Томтор по всему миру насчитывается более 70 перспективных проектов разработки и эксплуатации редкоземельных месторождений. Самыми многообещающими являются месторождения Mountain Pass (США), Serra Verde (Бразилия), Kerala, Orissa (Индия), Kvanefjeld (Гренландия), Norra Kärr (Швеция). А также потенциальные вторичные источники редкоземельного сырья из различных промышленных отходов, хвостов и шлаков, например золошлаковых отвалов, фосфогипса, красных шламов. Высокое значение отводится глубоководным породам и илам со дна юго-восточной и центральной частей Тихого океана, в которых, по разным оценкам, могут находиться сопоставимые или даже превышающие материковые запасы РЗМ. Однако подавляющее большинство этих проектов нереализуемы в силу того, что не существует рентабельной комплексной технологической схемы обогащения руды до товарного продукта. Поэтому инвестиционные проекты характеризуются низкой (часто отрицательной) экономиче-

¹⁴ Самое крупное редкоземельное месторождение в мире. Находится в городском округе Баотоу автономного района Внутренняя Монголия (Китай). Географические координаты месторождения: 41°46'05" с. ш., 109°57'58" в. д.

ской оценкой эффективности в рамках традиционного подхода, основанного на наборе балансов в виде денежных оттоков и притоков, которые в совокупности дают денежные потоки в разные моменты времени.

С другой стороны, в современных условиях редкоземельные минерально-сырьевые ресурсы имеют высокий потенциал для освоения, поскольку РЗМ сильно интегрированы в производственные цепочки высокотехнологичных отраслей промышленности и, таким образом, являются стратегическим сырьем для государств с развитой экономикой. Причем значение и их роль растет с каждым годом по мере развития научно-технологического прогресса и вовлечения в НИОКР. Следствием этого развития является изменение спроса и его структуры, что приводит также к значительной волатильности основных показателей инвестиционных проектов разработки редкоземельных источников сырья (в том числе месторождений), которую практически невозможно предсказать на средне- и долгосрочный период. А это фактор, который может увеличить экономическую оценку проекта, поскольку дает некоторую вероятность на получение сверхдоходов.

Например, будущие технологии способны дать не только взрывной рост новых высокотехнологичных продуктов, для производства которых необходимо значительное количество разных ресурсов, но и снижение текущих и капитальных издержек, следовательно, рост прибыли от реализации проекта и повышение конкурентоспособности на международных рынках, рост эффективности человеческого капитала и многое другое. Поэтому можно сделать вывод, что выбор адекватных методов оценки эффективности инвестиционных проектов освоения новых нетрадиционных источников представляет актуальную и нетривиальную задачу и требует использования и/или модификации современных методических подходов. Причем в условиях сильной неопределенности и рисков со стороны политических, рыночных, технологических и экологических факторов новые проекты освоения редкоземельных месторождений содержат реальные опционы, которые часто недооцениваются, поскольку для экономической оценки эффективности инвестиций используют только традиционный подход. Поэтому отчасти многие перспективные проекты (в том числе указанные выше) остаются только перспективными.

Список литературы

1. **Быховский Л. З., Тигунов Л. П., Темнов А. В.** Об определении понятий «редкие элементы» («редкие металлы»): исторический и терминологический аспекты // Минеральные ресурсы: экономика и управление. 2015. № 3. С. 32–38.
2. **Яценко В. А., Самсонов Н. Ю., Крюков Я. В.** Особенности рынка редкоземельных металлов // Минеральные ресурсы России. 2018. № 6. С. 68–72.
3. **Делицын Л. М., Мелентьев Г. Б., Толстов А. В., Магазина Л. А., Самонов А. Е., Сударева С. В.** Технологические проблемы Томтора и их решение // Редкие земли. 2015. № 2 (5). С. 164–179.
4. **Volker Z.** Rare Earth Elements. A New Approach to the Nexus of Supply, Demand and Use: Exemplified along the Use of Neodymium in Permanent Magnets. Augsburg University, 2013, 162 p. DOI 10.1007/978-3-642-35458-8
5. **Kooroshy J., Tiess G., Tukker A., Walton A.** (eds.). ERECON. Strengthening the European rare earths supply chain: Challenges and policy options. EU. 2015.

- URL: https://ec.europa.eu/growth/sectors/raw-materials/specific-interest/erecon_en (дата обращения 30.09.2015)
6. **Яценко В. А., Самсонов Н. Ю., Крюков Я. В.** Опционный подход к экономической оценке проектов разработки редкоземельных месторождений // Мир экономики и управления. 2018. Т. 18, № 4. С. 69–84. DOI 10.25205/2542-0429-2018-18-4-69-84
 7. **Толстов А. В., Коноплев А. Д., Кузьмин В. И.** Особенности формирования уникального редкометалльного месторождения Томтор и оценка перспектив его освоения // Разведка и охрана недр. 2011. № 6. С. 20–26.
 8. **Яценко В. А., Крюков Я. В.** Оценка направлений поставок редкоземельной руды месторождения Томтор на переработку: пространственный аспект // ЭКО. 2016. № 8. С. 37–50.
 9. **Похиленко Н. П., Крюков В. А., Толстов А. В., Самсонов Н. Ю.** Томтор как приоритетный инвестиционный проект обеспечения России собственным источником редкоземельных элементов // ЭКО. 2014. № 2. С. 22–35.
 10. **Шмат В. В.** О методах экономической оценки региональных энергетических проектов ГЧП с учетом факторов неопределенности и риска // Энергетическая политика. 2015. № 3. С. 47–58.
 11. **Jiangxue Liu, Jan C. Bongaerts, Frank Heyde.** Valuation of a Rare Earth Elements Project Using the Real Options Model – Application of the Real Option Model to Bayan Obo Mine. TU Bergakademie Freiberg – University of Resources. The IMRE Journal, 2016, no. 9, p. 363–375.
 12. **Темнов А. В.** Государственное стимулирование добычи редких металлов // Минеральные Ресурсы России. 2019. № 5. С. 35–46.

References

1. **Bykhovsky L. Z., Tiginov L. P., Temnov A. V.** On the definition of the notion of rare elements (rare metals): historical and terminological aspects. *Mineral resources of Russia. Economics and management*, 2015, no. 3, p. 32–38. (in Russ.)
2. **Yatsenko V. A., Samsonov N. Yu., Kryukov Ya. V.** Features of the rare earth metals market. *Mineral resources of Russia*, 2018, no. 6, p. 68–72. (in Russ.)
3. **Delitsyn L. M., Melentiev G. B., Tolstov A. V., Magazina L. A., Samonov A. E., Sudareva S. V.** Technological problems of Tomtor and their solution. *The rare earth magazine*, 2015, no. 2 (5), p. 164–179. (in Russ.)
4. **Volker Z.** Rare Earth Elements. A New Approach to the Nexus of Supply, Demand and Use: Exemplified along the Use of Neodymium in Permanent Magnets. Augsburg University, 2013, 162 p. DOI 10.1007/978-3-642-35458-8
5. **Kooroshy J., Tiess G., Tukker A., Walton A.** (eds.). ERECON. Strengthening the European rare earths supply chain: Challenges and policy options. EU. 2015. URL: https://ec.europa.eu/growth/sectors/raw-materials/specific-interest/erecon_en (accessed 30.09.2015)
6. **Yatsenko V. A., Samsonov N. Yu., Kryukov Ya. V.** Real optional approach to economic valuation of developing rare earth metals projects. *World of economics*

- and management*, 2018, Vol. 18, no. 4, p. 69–84. (in Russ.) DOI 10.25205/2542-0429-2018-18-4-69-84
7. **Tolstov A. V., Konoplev A. D., Kuzmin V. I.** The peculiarities of forming the unique rare metal deposit Tomtor and estimation of perspectives of its industrial. *Prospect and protection of mineral resources*, 2011, no. 6, p. 20–26. (in Russ.)
 8. **Yatsenko V. A., Kryukov Ya. V.** Estimate of raw materials supply directions from niobium rare-earth field Tomtor (Yakutia) to factories for ore dressing and producing of high-technology products. *ECO*, 2016, no. 8, p. 37–50. (in Russ.)
 9. **Pokhilenko N. P., Kryukov V. A., Tolstov A. V., Samsonov N. Yu.** Tomtor as priority investment project to provide Russia with its own source of rare earth elements. *ECO Journal*, 2014, no. 2, p. 22–35. (in Russ.)
 10. **Shmat V. V.** On the methods of regional energy projects economic evaluation with uncertainty and risk assessment. *Energy Policy*, 2015, no. 3, p. 47–58. (in Russ.)
 11. **Jiangxue Liu, Jan C. Bongaerts, Frank Heyde.** Valuation of a Rare Earth Elements Project Using the Real Options Model – Application of the Real Option Model to Bayan Obo Mine. TU Bergakademie Freiberg – University of Resources. *The IMRE Journal*, 2016, no. 9, p. 363–375.
 12. **Temnov A. V.** State support for the mining of rare metals. *Mineral resources of Russia. Economics and management*, 2019, no. 5, p. 35–46. (in Russ.)

Материал поступил в редколлегию 21.08.2020

Принят к печати 05.11.2020

The article was submitted 21.08.2020

Accepted for publication 05.11.2020

Сведения об авторе

Яценко Виктор Анатольевич, научный сотрудник, Институт экономики и организации промышленного производства СО РАН (Новосибирск, Россия)

yva@ieie.nsc.ru

ORCID 0000-0002-9129-2090

Information about the Author

Viktor A. Yatsenko, Researcher, Institute of Economics and Industrial Engineering SB RAS (Novosibirsk, Russian Federation)

yva@ieie.nsc.ru

ORCID 0000-0002-9129-2090