

УДК 330.4:338.5
JEL C02 C63 G32
DOI 10.25205/2542-0429-2018-18-4-69-84

Опционный подход к экономической оценке проектов разработки редкоземельных месторождений

В. А. Яценко, Н. Ю. Самсонов, Я. В. Крюков

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

Аннотация

Выбор правильного и подходящего метода экономической оценки эффективности инвестиционных проектов освоения редкоземельных месторождений представляет актуальную и нетривиальную задачу в рамках проектного анализа. На основе проведенного комплексного анализа факторов неопределенности и рисков делается вывод о том, что такие проекты могут быть сильно недооценены в рамках традиционного подхода (на основе дисконтированных денежных потоков) на примере участка Буранный месторождения Томтор в Республике Саха (Якутия). Поэтому необходимы другие современные развитые подходы (например, метод реальных опционов), которые бы учитывали гибкость управления таких проектов и рассматривали бы все риски не только как негативный фактор, а как возможность получить дополнительные выгоды от скрытых возможностей проекта. Такое методологическое расширение является особенно важным для оценки инвестиционных проектов освоения редкоземельных месторождений, поскольку сложно и нетривиально сопоставить большие денежные оттоки от капитальных и операционных затрат и денежные притоки от реализации конечной продукции, разнесенные на 10–15 лет после начала инвестирования в условиях значительной неопределенности и рисков.

Ключевые слова

редкоземельные металлы, экономическая оценка, инвестиционный проект, неопределенность, риск, дисконтированные денежные потоки, чистая приведенная стоимость, метод реальных опционов

Источник финансирования

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 17-06-00231/18 «Исследование и определение роли государства при стимулировании и формировании спроса на редкоземельные металлы для высокотехнологических отраслей отечественной промышленности в условиях неопределенности»

Для цитирования

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

Real-Options Approach to Economic Valuation of Rare Earths Development Projects

V. A. Yatsenko, N. Yu. Samsonov, Ya. V. Kryukov

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

Abstract

The choice of a correct and appropriate method for the valuation of economic efficiency of investment projects for the development of rare earth deposits is an actual and non-trivial issue within the framework of project analysis. Based on the comprehensive analysis of uncertainty and risk factors, it is concluded that such projects can be greatly under-

© В. А. Яценко, Н. Ю. Самсонов, Я. В. Крюков, 2018

estimated within the traditional approach (based on discounted cash flows), e.g. the area Buranniy in the complex rare metal Tomtor field in Sakha Republic (Yakutia). Therefore, other advanced modern approaches (e.g. the real options method) are required, i.e. those which will take full account of flexibility of the project management and view risks as opportunities to gain additional hidden benefits from the project rather than only as negative factors. Such a methodological expansion is especially important for assessment of economic efficiency of investment projects for the development of rare metal deposits since it is quite challenging and non-trivial to compare large capital and operating outflows as well as inflows from sales of final products spread over 10–15 years after the investment program started, given the considerable uncertainty and risks.

Keywords

rare earths, economic valuation, investment project, uncertainty, risk, discounted cash flow, net present value, real option method

Funding

The reported study was funded by RFBR according to the research project № 17-06-00231/18 “Research and determination of the role of the state in stimulating and shaping the demand for rare-earth elements for high-tech domestic industries in conditions of uncertainty”

For citation

Yatsenko V. A., Samsonov N. Yu., Kryukov Ya. V. Real-Options Approach to Economic Valuation of Rare Earths Development 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

В современном мире стало очевидным, что в развитых странах модели экономического роста не могут строиться только на добыче и продаже полезных ископаемых. В эпоху бурного развития новых технологий и инноваций именно высокотехнологичная промышленность способна дать этот рост как экономикам отдельных стран, так и глобальной экономике. Поэтому сегодня чрезвычайно высока роль редкоземельных металлов (РЗМ¹), которые являются наукоемким сырьем для множества традиционных и новых отраслей промышленности.

Благодаря своим уникальным физико-химическим свойствам их потенциал до сих пор раскрывается по мере развития научно-технологического прогресса и вовлечения в НИОКР. Но уже сегодня сильная интеграция в производственные и технологические цепочки высокотехнологичных отраслей промышленности развитых стран вызывает широкое обсуждение неопределенности в условиях зависимости от монополии Китая на цепочки поставок наукоемкого редкоземельного сырья со стороны научного, политического и экономического общества.

Во многих государственных программах стран мира РЗМ классифицируются как критические или стратегические виды сырья. Это связано с тем, что они входят в состав цепочек производства военной продукции, которая влияет на национальную безопасность и суверенитет страны, а также являются частью гражданской продукции, которая нацелена на развитие общества с точки зрения энергетической эффективности и энергосбережения, декарбонизации экономики и распространения «зеленых» технологий. Поэтому сегодня можно говорить, что РЗМ для стран с развитой высокотехнологичной промышленностью – это ресурс, позволяющий перейти на следующий технологический уклад.

С другой стороны, Китай показал, что РЗМ являются не просто новым наукоемким сырьем, но и глобальным экономическим и политическим инструментом² в то время, когда высокотехнологичный мир опережающими темпами создает наукоемкие продукты и товары на основе РЗМ, а мировое редкоземельное производство не в состоянии обеспечить предло-

¹ В зарубежной литературе можно встретить следующие сокращения: REE – Rare Earth Elements, REM – Rare Earth Metals, RE – Rare Earths, TR – terrae raras (лат.) – «редкие земли», TREO – Total Rare Earth Oxides, LREE – light REE, и HREE – heavy REE.

² Например, к сильному сокращению экспортных квот в 2010 г. можно добавить давление Пекина на правительство Японии с помощью приостановки поставок РЗМ и их продуктов во время территориального спора на Архипелаге Сенкаку (кит. Дяюйдао): восемь небольших островов, общая площадь которых едва превышает 6 кв. км, при этом некоторые едва выступают из воды.

жение, соответствующее стремительно растущему спросу³. Поэтому уже сегодня необходимо разрабатывать новые проекты освоения РЗМ-месторождений, комплексные технологии переработки отходов, отвалов и вторичного сырья. 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), Томтор (Россия), а также проекты извлечения РМЗ из различных промышленных отходов и вторичного сырья, глубоководных пород, угольной золы и т. д.

Однако подавляющее большинство этих проектов не реализуемы в настоящее время по следующим основным геологическим и технологическим причинам (эндогенные факторы), которые отражают значительный уровень неопределенности:

- руды являются комплексными и сложными по составу⁴, поэтому одной из важнейших задач остается разработка принципиально новых подходов и технологий глубокой переработки таких редкоземельных руд, не поддающихся обогащению традиционными физико-механическими методами;
- руды РЗМ содержат радиоактивные торий и уран, концентрации которых сильно отличаются для каждого редкоземельного месторождения (эти элементы сегодня считаются побочными). Добыча, переработка и транспортировка должна соответствовать строгим правилам и нормам, поэтому они создают дополнительные проблемы для новых проектов разработки и эксплуатации РЗМ-месторождений;
- пространственное расположение месторождений и наличие инфраструктуры. Наличие вблизи транспортной системы, электрических сетей, водоснабжения, канализации, доступа к квалифицированной рабочей силе серьезно влияет на перспективу реализации проекта.

И по следующим основным экономическим причинам (экзогенные факторы), которые также отражают большую неопределенность:

- легкие РЗМ составляют значительно большую долю в рудах месторождений, чем тяжелые, которые обычно не соответствуют спросу и его динамике, предъявляемым глобальным рынком (в этом случае говорят о балансовой проблеме, или проблеме балансирования). Вследствие этого цены на HREE намного выше, чем на LREE. Потребление LREE в последние годы составляет примерно 92 %, а HREE – 8 %, при этом стоимостной объем рынка первых составляет только около 67 %, а вторых – 33 %⁵;
- ключевым игроком на рынке стал Китай, который успешно трансформировал свой богатый геологический редкоземельный потенциал в глобальную монополию и контролирует до 80 % мировых объемов поставок сырья. При этом обладает всеми знаниями, технологическими и производственными цепочками в рамках своих национальных границ, позволяющими более 70 % от мирового потребления направлять в интересах своей высокотехнологичной промышленности. Поэтому сегодня главный вопрос заключается в следующем: будет ли Китай надежным поставщиком редкоземельных элементов (прежде всего, тяжелой группы) для всего остального мира;
- смена доминирующей области потребления в связи с научно-технологическим прогрессом, который резко меняет спрос на некоторые РЗМ и выводит рынок из равновесия. Например, самая крупная сегодня область потребления РЗМ – постоянные магниты. В 1970–1980-х гг. самым востребованным редкоземельным металлом был самарий, и в то же время

³ По данным Американской геологической службы (USGS), с 2005 г. в среднем ежегодный мировой рост потребления РЗМ составляет 7 % при среднем ежегодном мировом росте производства 4 %. См.: Rare Earths Statistics and Information. The United States Geological Survey. URL: https://minerals.usgs.gov/minerals/pubs/commodity/rare_earth/index.html#mcs (дата обращения 01.02.2018).

⁴ Помимо самих РЗМ в них содержатся такие элементы, как ниобий, тантал, фосфор, железо, алюминий и другие. Известно более 250 минералов, которые содержат РЗМ, но только 60–65 являются редкоземельными. Главнейшими являются монацит, ксенотим, бастнезит, паризит, гадолинит, ортит, лопарит, апатит, эшинит, эвдиалит и др.

⁵ Rare Earths Statistics and Information. The United States Geological Survey.

критически дефицитным, который использовали для производства самарий-кобальтовых магнитов. Сегодня доля рынка таких магнитов меньше чем 2 %, и на РЗМ-рынке самарий находится в балансе. Чего не скажешь о диспрозии и неодиме, которые не имели промышленного значения до 1985 г., когда было обнаружено соединение $Nd_2Fe_{14}B$. Другие примеры изменения областей применения РЗМ – переход с жестких дисков (HDD) на твердотельные диски (SSD) или с люминесцентных ламп на светодиодные.

Все эти факторы неопределенности накладывают риски на новые проекты освоения редкоземельных месторождений для потенциальных инвесторов, так как на разработку и освоение месторождения необходимо в среднем 10–15 лет, а спрос на РЗМ может сильно измениться в течение этого времени. Поэтому выбор правильного и подходящего метода оценки экономической эффективности инвестиционных проектов освоения комплексных редкоземельных месторождений представляет актуальную и нетривиальную задачу в рамках проектного анализа.

Общие подходы к экономической оценке инвестиционных проектов разработки и эксплуатации комплексных редкоземельных месторождений

В проектах освоения редкоземельных месторождений могут участвовать как государство, так и частные инвесторы. В силу эндогенных и экзогенных факторов, которые несут в себе большую неопределенность, реализация проектов чаще всего невозможна без участия государства. В таких условиях возможно, на наш взгляд, два типа сотрудничества: в виде государственно-частного партнерства (ГЧП) или в виде косвенного участия государства, при котором оно создает условия и гарантии частному инвестору для реализации проектов освоения редкоземельных месторождений.

В классическом понимании после принятия решения о реализации проекта освоения месторождения начинается стадия проведения геологоразведочных работ (ГРР) и технико-экономического обоснования (ТЭО) (рис. 1). На этой стадии выявляются первоочередные участки для вскрытия, и производятся необходимые расчеты для ввода месторождения в эксплуатацию. Затем идет стадия разработки выявленных к первоочередной выемке рудных тел и строительства необходимой инфраструктуры для производства конечной продукции. На последней стадии осуществляется поиск покупателей, проведение маркетинговых программ и процесс реализации произведенной продукции. После отладки и регулировки всей технологической цепочки нового предприятия возможно наращивание производства, увеличение объемов и расширение географии продаж.

Сложность экономической оценки эффективности инвестиционных проектов разработки и эксплуатации редкоземельных месторождений заключается в том, что необходим комплексный анализ рисков, которые отражают в себе эндогенные и экзогенные факторы неопределенности вдоль всей технологической цепочки ввода в эксплуатацию месторождения. Это связано с тем, что освоение каждого РЗМ-месторождения сопряжено с большими капитальными и операционными затратами, а первые денежные притоки от реализации конечной продукции начинают поступать только через 10–15 лет после начала инвестирования.

Комплексный анализ рисков инвестиционных проектов разработки и эксплуатации комплексных редкоземельных месторождений

Для потенциальных инвесторов проектов разработки и эксплуатации комплексных РЗМ-месторождений все субъективные риски можно классифицировать следующим образом: общие, геологические, технологические и рыночные. Эти риски возникают на разных стадиях проекта разработки и эксплуатации РЗМ-месторождений и влияют на время выполнения каждого этапа проекта, прибыль проекта, объем производства РЗМ и на успешную реализацию проекта в целом (см. рис. 1).

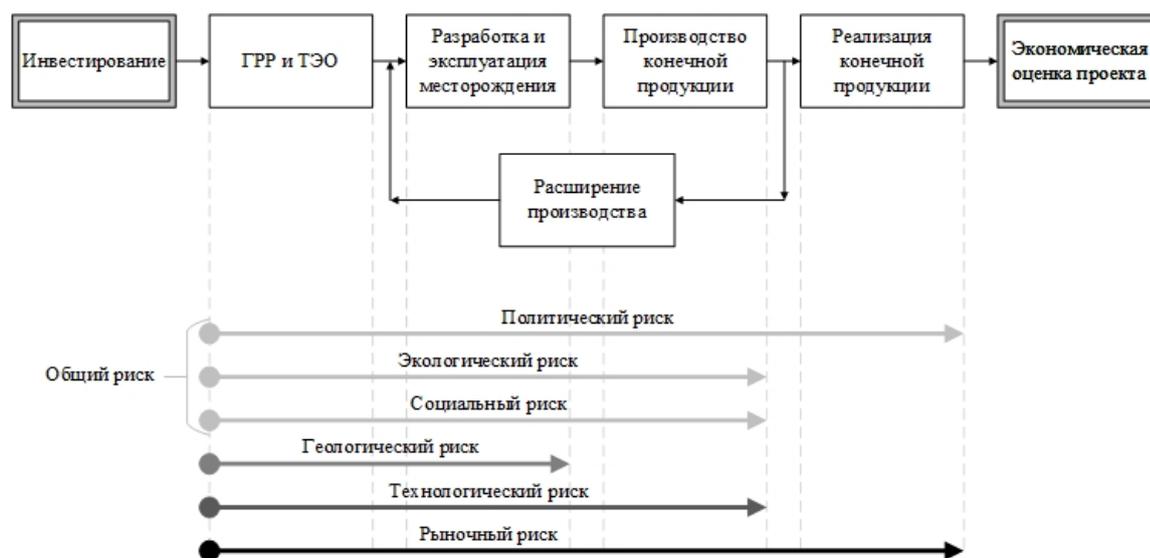


Рис. 1. Основные этапы разработки и эксплуатации РЗМ-месторождений и риски, учитываемые в расчетах экономической оценки эффективности инвестиционного проекта

Fig. 1. Development stages and operation of rare metals deposits and risk-assessment of investment projects economic efficiency

К общему риску можно отнести политический, экологический и социальный риски, влияющие на весь жизненный цикл проекта, которые могут приводить к дополнительным издержкам или полному прекращению проекта:

- политический риск несет в себе не только неопределенность со стороны Китая, но и общую политическую конъюнктуру взаимоотношения стран в мире и внутри страны, где предполагается реализовывать проект разработки и эксплуатации РЗМ-месторождения. К политическому риску относятся различные санкции, торговые войны, выдача лицензий и разрешений на освоение месторождения, допуск к работе с радиоактивными отходами и др.;

- экологический риск – это вероятность отрицательного воздействия проекта освоения РЗМ-месторождения на окружающую среду, вызванного природным, антропогенным и техногенным влиянием. К экологическому риску проекта разработки и эксплуатации РЗМ-месторождений, очевидно, можно отнести утилизацию радиоактивных тория и урана, добыча, переработка и транспортировка которых должна соответствовать строгим международным и национальным нормам;

- к социальному риску можно отнести то общественное давление на проект и контроль за ним, которое направлено на минимизацию экологического воздействия проекта на окружающую среду.

Геологический риск сопровождает этапы ГРП и ТЭО, разработки и эксплуатации месторождения, при этом играют в них ключевую роль (см. рис. 1). Этот тип риска является вероятностью того, что реальные геологические запасы месторождения окажутся ниже ожидаемого уровня. Другими словами, степень изученности рудного объекта и концентрации в нем полезных компонентов после ГРП окажутся ниже при добыче по сравнению с рассчитанными в ТЭО. Геологический риск может серьезно ограничить возможности предполагаемой технологии обогащения и разделения на оксиды и индивидуальные РЗМ в силу комплексности по составу руд РЗМ-месторождений. Это может сильно повлиять на время выполнения проекта и необходимость усовершенствования технологии переработки.

Поскольку РЗМ-месторождения многокомпонентные, то технологическая цепочка производства от добычи руды до получения индивидуальных металлов с выделением радиоактивных тория и урана многостадийная и имеет определенные индивидуальные (иногда уникальные) особенности для каждого типа руд. Поэтому несовершенство технологий и их применимость в силу геологических особенностей месторождений, погрешностей ГРП, изменений масштабов хозяйственной деятельности, экологических требований, технических сбоев и поломок оборудования может приводить к потерям объемов производства, времени на доработку технологий и оборудования. Вероятность таких потерь будет технологическим риском на этапах ГРП и ТЭО, разработки и эксплуатации месторождения и производства конечной продукции (см. рис. 1).

Рыночный риск для проекта разработки и эксплуатации РЗМ-месторождения представляет вероятность потери прибыли проекта или ее части вследствие неблагоприятной конъюнктуры редкоземельного рынка и негативного изменения таких макроэкономических показателей, как процентные ставки, курсы валют и цены. Этот тип риска в первую очередь влияет на балансовые показатели экономической оценки проекта, которые зависят от размеров активов и обязательств. Рыночный риск может коррелировать с политическим риском, быть источником изменения мировой или национальной финансовой системы или следствием структурных технологических изменений, которые влияют на спрос РЗМ, как, например, в случае с изменением доминирующей области потребления, и других факторов.

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 разработки и эксплуатации комплексных редкоземельных месторождений, который часто используется как в мировой, так и в российской практике. Согласно действующим российским методическим рекомендациям⁶, применяются модели дисконтированных денежных потоков (discounted cash flow, DCF) с дополнительным учетом упомянутых выше рисков.

Традиционный подход к экономической оценке эффективности инвестиционного проекта – DCF-модель

Традиционный подход (DCF-модель) к экономической оценке эффективности инвестиционного проекта основывается на наборе балансов в виде денежных оттоков и притоков, которые в совокупности дают денежные потоки в разные моменты времени. При этом в рамках данного подхода в DCF-модель вводится необходимая информация, охватывающая все этапы разработки и эксплуатации РЗМ-месторождения (см. рис. 1). Считаются известными и детерминированными все параметры модели: геологические, материальные, человеческие и экономические, в течение срока реализации всего проекта, который может составить несколько десятков лет.

Как правило, инвестиционный проект освоения месторождения является экономически обособленным в силу возможности учесть отдельно активы проекта, наличие конечной продукции и независимой системы финансирования, которая позволяет разделить денежные потоки кредитора и инвестора (остаточный денежный поток). При этом становится легче контролировать денежные потоки проекта, получать дополнительные налоговые льготы или субсидии, распределять риски и сравнивать различные варианты финансирования проекта [1].

⁶ Методические рекомендации по технико-экономическому обоснованию кондиций для подсчета запасов месторождений твердых полезных ископаемых (кроме углей и горючих сланцев). URL: http://www.gkzrf.ru/sites/default/files/docs/met_rek_tpi_teo_2.pdf (дата обращения 15.10.2015).

В то же время, как упоминалось выше, руды РЗМ-месторождений являются комплексными и сложными по составу, поэтому редкоземельные элементы часто являются побочными продуктами добычи и переработки руды таких металлов, как железо, кобальт, марганец, титан, ниобий, тантал, цирконий и др.⁷ В этом случае проект разработки РЗМ будет интегрированным в существующее предприятие добычи и переработки основных продуктов, а денежный поток, который рассчитывается без привязки к конкретной структуре финансирования, является свободным.

При реализации проекта разработки и эксплуатации комплексного редкоземельного месторождения денежные притоки начинают поступать только через 10–15 лет после инвестирования, поэтому параметр «время» приобретает большое значение при традиционном подходе к экономической оценке эффективности инвестиционного проекта. Для любого инвестора большой срок окупаемости означает «заморозку» финансовых средств, которые бы он мог использовать в других проектах. Поэтому при традиционном подходе параметр «время» сильно снижает ценность проектов освоения РЗМ-месторождений.

Другим важным параметром в рамках DCF-модели является ставка дисконтирования для денежных потоков, на основе которой вычисляются главные критерии, показывающие, какой будет эффект от инвестиционного проекта:

- чистая приведенная стоимость – NPV (net present value);
- внутренняя норма доходности – IRR (internal rate of return);
- срок окупаемости – РВ (payback period).

На практике существует три концепции определения ставки дисконтирования для денежного потока в зависимости от степени риска и требуемого уровня доходности (рыночной стоимости различных видов капитала):

- на основе альтернативных вложений капитала, в том числе на уровне экспертной оценки;
- на основе дифференцированной шкалы в зависимости от отраслевой принадлежности, вида деятельности, категории проекта и др.;
- в зависимости от типа денежного потока:
 - если денежный поток является свободным от активов или экономическая оценка эффективности инвестиционного проекта является предварительной, то для оценки стоимости капитала можно использовать средневзвешенную стоимость капитала (weighted average cost of capital, WACC) либо – с учетом налогового щита – скорректированную WACC;
 - если денежный поток является остаточным, то ставку дисконтирования выбирают из условия оценки стоимости собственного капитала инвестора (equity residual method, ERM). Можно выделить следующие основные методы: модель роста дивидендов (dividend growth model, DGM), модель стоимости капитальных активов (capital assets price model, CAPM), метод кумулятивного построения (build-up method, BUM), многофакторные модели арбитражного ценообразования (Arbitrage Price Model, APM) и Фамы – Френча (FFM) и др.

Следует заметить, что в рамках DCF-модели риск рассматривается 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 РЗМ-месторождений в совокупности с параметром «время». Такой подход в DCF-моделях систематически завышает значение риска и дает заниженные экономические оценки эффективности инвестиционных проектов [3].

⁷ Например, на самом большом в мире китайском месторождении Вауан Обо редкоземельные элементы извлекаются как побочные продукты добычи железной руды [2].



Рис. 2. Выбор метода экономической оценки проекта в зависимости от типа проекта (на основе [1])

Fig. 2. The choice of project assessment depending on the project type (on the basis of [1])

Другим недостатком традиционного подхода является то, что в реальности многие параметры в DCF-моделях из-за эндогенных и экзогенных факторов закладываются с погрешностями, например величины геологических запасов полезных компонентов в месторождении, параметры их извлечения и обогащения, а ценовые и налоговые параметры подвержены постоянным изменениям. Поэтому очевидно, что после получения первых экономических оценок наступает этап корректировок и анализа чувствительности этих оценок от параметров, которые несут в себе большую неопределенность. Однако основная трудность на этом этапе заключается в том, что многие параметры коррелируют между собой, и полученный результат может оказаться ошибочным.

В настоящее время традиционный подход или метод дисконтирования денежных потоков проекта с критериями NPV, IRR и РВ наиболее популярен для оценки экономической эффективности инвестиций. Но формально он не затрагивает такой фактор, от которого может зависеть эффективность инвестиций – прежде всего гибкость управления в процессе осуществления проекта. Это особенно важно в ситуациях, когда есть возможность:

- изменять различные процессы;
- тиражировать опыт на похожие или смежные проекты;
- отложить реализацию проекта в случае неблагоприятных условий или при резком изменении окружающей конъюнктуры;
- воспользоваться новыми возможностями финансирования проекта, быстро изменить структуру и стоимость капитала; и др.

Например, в случае обособленного инвестиционного проекта разработки и эксплуатации редкоземельного месторождения необходимы большие первоначальные капитальные затраты, поэтому после отработки и коррекции всей технологической цепочки проект будет осуществляться с быстрым выходом на полную запланированную мощность производства конечной продукции, чтобы воспользоваться эффектом экономии от масштаба. В случае

интегрированного проекта разработки РЗМ уже на существующем предприятии добычи и переработки основных продуктов возможен поэтапный выход на полную запланированную мощность производства, последовательно вкладывая финансовые средства на каждом этапе.

Возможность учесть гибкость управления в процессе осуществления таких проектов дает другой современный подход – метод реальных опционов (real option approach, ROA). Этот метод идеально подходит для таких инвестиционных проектов, которые изначально оценивались как проекты с низкой экономической эффективностью. Для них опционный подход, во-первых, дает возможность учесть и оценить гибкость управления в процессе их осуществления⁸. Во-вторых, в отличие от традиционного подхода, в котором все риски рассматриваются исключительно как негативный фактор, при опционном подходе они являются факторами, которые увеличивают ценность проекта, так как возрастает вероятность, что проект будет сверхприбыльным.

Опционный подход к экономической оценке эффективности инвестиционного проекта – ROA-модель

Применение опционного подхода приводит в общем случае к сценарному подходу⁹ и к поиску скрытых потенциальных возможностей достижения проектом необходимой экономической оценки эффективности инвестиционного проекта. Поэтому в противовес экономической ценности многими учеными принимается понятие стратегической ценности проекта [1], которая не ограничивается только денежными потоками. По сути, опционный подход (ROA-модель) – это результат развития DCF-подхода, поскольку базируется на представлении о ценности проекта как приведенной стоимости его денежных потоков.

Теория реальных опционов – это альтернативный взгляд на инвестиции и стратегическую оценку их эффективности, в которой опцион является определенной ситуацией в реальном бизнесе и в которой приобретает право на принятие конкретного управленческого решения в будущем. Данная концепция берет свои истоки из финансового сектора экономики, поскольку имеет одинаковый подход к управлению рисками [4]. Однако реальные опционы являются виртуальными, поскольку известны только узкому кругу инвесторов (или менеджеров) проекта и неизвестны рынку, т. е. они не могут быть проданы или куплены другими лицами в отличие от финансовых опционов.

Когда мы говорим о финансовом опционе как производной ценной бумаги, то это срочный контракт, который дает право выбора одному из его участников исполнить или отказаться от исполнения сделки. Опцион дает право купить (опцион CALL) или право продать (опцион PUT) определенный базовый инструмент по цене исполнения (execution или strike price) в определенную будущую дату истечения срока или до ее наступления¹⁰. Естественно, такое право имеет определенную цену, которая называется премией за опцион.

На практике чаще всего опционы типа CALL соответствуют следующим ситуациям в реальном проекте: расширение или увеличение масштаба проекта, перенос или отсрочка начала проекта, тиражирование проекта и др. А опционы типа PUT будут соответствовать в некотором смысле противоположным ситуациям: выход или продажа проекта, в том числе с воз-

⁸ При этом могут ставиться дополнительные задачи оценки эффективности стратегического управления проектом.

⁹ Сценарный подход также используется в методе DTA (decision tree analysis), который основывается на DCF-модели с объективными вероятностями различных исходов, а в качестве ставки дисконтирования используется скорректированная WACC.

¹⁰ С точки зрения исполнения контрактов опционы разделяют на два типа: покупатель американских опционов может потребовать исполнения контракта в любой день до истечения срока его действия, европейских – только в день истечения срока контракта. Кроме того, существуют, например, бермудский тип опциона – право исполнить его в определенные моменты времени в течение срока действия контракта, так называемые экзотические опционы – это опционы, которые зависят от динамики цены базисного актива за период действия контракта, многофакторные опционы и др.

возможностью учесть ликвидационную стоимость, временная остановка проекта, сокращение проекта. Смысл этих опционов заключается в том, что в зависимости от эндогенных и экзогенных факторов при наличии опциона CALL у инвестора появляется право на получение дополнительных выгод от скрытых возможностей проекта, а при наличии опциона PUT появляется право на минимизацию убытков при негативном сценарии развития проекта.

Поскольку теория реальных опционов берет свои истоки в финансовом секторе экономики, то в настоящее время модели оценки стоимости реальных опционов делятся на два класса: модели с непрерывным и дискретным изменением цены, на основе которых принимаются стратегические решения. Классическими моделями являются модель Блэка – Шоулза [5] и модель Кокса – Росса – Рубинштейна [6], соответственно применимость и адаптация к реальным опционам которых, конечно, зависит от проекта и его характеристик. Также модель Кокса – Росса – Рубинштейна получила развитие в виде тринomialного опционного дерева [3; 7].

В условиях неопределенностей и рисков со стороны эндогенных и экзогенных факторов новые проекты освоения редкоземельных месторождений содержат реальные опционы, которые часто недооцениваются, поскольку используют традиционный подход для экономической оценки эффективности инвестиций. Поэтому многие перспективные проекты не реализуются из-за отрицательных показателей в DCF-моделях.

Учитывая перечисленные риски (см. рис. 1), в общем случае применение метода реальных опционов дает инвестору базовый набор решений: инвестировать в проект или отказаться, инвестировать сейчас или перенести начало проекта. Эти инвестиционные решения могут быть представлены в базовом дереве решений (рис. 3).



Рис. 3. Базовое дерево решений для оценки ценности проекта методом реальных опционов

Fig. 3. The decision-tree for project assessment by real options valuation

Процесс принятия решений происходит поэтапно: если первый этап будет успешным (с вероятностью p), то реализация проекта выйдет на этап разработки и эксплуатации месторождения. В этом случае независимо от эндогенных и экзогенных факторов неопределенности и рисков осуществление проекта будет продолжаться до стадии реализации конечной продукции, поскольку первоначальные инвестиции будут высокими. Поэтому в зависимости от прогнозируемых цен на продаваемую продукцию необходимо получить оценку проекта в терминах реальных опционов, которая определяется как набор денежных потоков DCF-модели.

Таким образом, оценка проекта будет состоять из комбинации экономической оценки эффективности инвестиций в этот проект, рассчитанный традиционным методом DCF, и стоимости реального опциона, который предоставляет право на принятие конкретного стратегического решения. В этом контексте реальный опцион является добавочной ценностью к экономической оценке по DCF-модели, которая связана с гибкостью управления в процессе осуществления проекта и возможностью либо получить сверхприбыль, либо минимизировать убытки при негативном сценарии развития проекта. Это дает возможность инвестору оценить все варианты развития проекта, в том числе возможность расширения производства при высоких ценах на конечную продукцию (см. рис. 3).

**Оценка ценности проекта разработки
и эксплуатации редкоземельного месторождения методом реальных опционов
на примере участка Буранный месторождения Томтор
(Республика Саха (Якутия))**

В силу особенностей глобального рынка РЗМ особая роль отводится месторождению Томтор (Республика Саха (Якутия)) [8]. 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). «Визитной карточкой» Томтора являются редкие элементы: ниобий, иттрий, скандий и группа лантаноидов. Практически каждый из них присутствует в значительных концентрациях, ранее не известных в мировой геологической практике, благодаря чему именно это месторождение в ряду уникальных ниобий-редкоземельных объектов планеты заняло первое место. Запасы редких элементов в Томторском месторождении огромны и при нынешнем спросе могут обеспечить потребности России (а при определенных условиях и мира) на сотни лет [9].

Недропользователь – компания «ТриАрк Майнинг»¹¹ планирует разместить химико-металлургическое производство для переработки томторских руд на территории Приаргунского производственного горно-химического объединения (г. Краснокаменск, Забайкальский край) с объемом производства до 10 тыс. тонн в год разделенных оксидов РЗМ согласно действующей лицензии на период с 2018 по 2034 г.¹², занять доминирующее положение на европейском рынке и обеспечить до 10 % мировых поставок редкоземельных металлов.

В рамках данной работы предполагается, что к 2018 г. выполнены ГРП и ТЭО постоянных кондиций, технического проекта и проектов оценки воздействия на экологическую и этнологическую среду, с 2018 по 2020 г. запланировано проектирование и строительство объектов инфраструктуры, ввод в эксплуатацию химико-металлургического предприятия. Поэтому рассматривается воздействие рыночного риска только на проект освоения участка Буранный месторождения Томтор.

В рамках традиционного подхода была разработана модель дисконтированных денежных потоков проекта разработки и эксплуатации участка Буранный. В результате получены основные показатели проекта, показывающие, каким будет эффект от инвестиционного проекта: NPV = 22,5 млрд руб, IRR = 31 % и PV = 8 лет на основе следующих положений:

- в работе принимается показатель ежегодного темпа прироста курса национальной валюты к доллару на уровне 1,3 %, который отличается от аналогичных прогнозных показателей, рассчитанных до 2035 г. Министерством финансов Российской Федерации¹³;
- показатели инфляция в работе принимаются согласно прогнозу долгосрочного социально-экономического развития Российской Федерации на период до 2030 г. по категории «Промышленность»¹⁴;
- предполагаемая логистика для транспортировки добытой руды: участок Буранный месторождения Томтор – порт Хатанга – порт Дудинка – город Лесосибирск – город Краснокаменск;
- поскольку руда редкоземельных месторождений является комплексной и сложной по составу, то введем понятие «общая цена оксидов редкоземельных металлов», получаемых

¹¹ Владелец лицензии участка Буранный месторождения Томтор (Республика Саха) является компания «Три-Арк Майнинг» – совместное предприятие ГК «Ростехнологии» и Группы «ИСТ». См.: Компания «ТриАрк Майнинг» // О компании. URL: <http://threearc.ru> (дата обращения 023.09.2016).

¹² Является расчетным периодом в DCF-модели.

¹³ Центральный банк Российской Федерации. URL: <http://www.cbr.ru/GCurve/Curve.asp> (дата обращения 12.02.2018).

¹⁴ Прогноз долгосрочного социально-экономического развития Российской Федерации на период до 2030 года // Министерство экономического развития Российской Федерации. URL: http://economy.gov.ru/minrec/activity/sections/macro/prognoz/doc20130325_06 (дата обращения 06.08.2016). Показатели инфляция за период с 2031 по 2034 г. были получены на основе собственных оценок.

из 1 тонны руды (далее «общая цена оксидов РЗМ»), которая вычисляется следующим образом: $P_t^l = \sum_{i=1}^{16} p_t^i \cdot \theta_i$, где $t = [0, 16]$ – номер года (с 2017 по 2034 г.), p_t^i – цена i -го редкоземельного металла в год t , $i = [1, 16]$;

- p_t^j – цена j -го продукта в году t , кроме редкоземельных металлов (феррониобий, тринатрийфосфат, глинозем, титановый порошок), $j = [1, 4]$;

- θ_l , где $l = i + j$ – коэффициент выхода l -го продукта из томторской руды на основе технологии, разработанной ИХХТ СО РАН¹⁵, которая предусматривает двухстадийную схему вскрытия руды – щелочное разложение и выведение фосфора, и хлорирование твердого остатка на втором этапе. В настоящее время она принята за базовую схему, по которой запасы месторождения Томтор поставили на государственный баланс с защитой в Государственной комиссии по запасам полезных ископаемых (ГКЗ РФ);

- ежегодная добыча руды согласно следующему графику: 2020 г. – 10 тыс. т, 2021 г. – 30 тыс. т, 2022 г. – 52 тыс. т, 2023 г. – 77 тыс. т, 2024–2034 гг. – 100 тыс. т;

- в модели рассматриваются свободные денежные потоки проекта, которые рассчитываются без привязки к конкретной структуре финансирования и представляют собой чистый результат инвестиционного решения, поэтому в качестве стоимости капитала выступает реальная ставка дисконтирования $r = 15\%$ согласно методическим рекомендациям ГКЗ РФ¹⁶.

Для сравнения традиционного и опционного подходов предположим, что в течение реализации проекта у компании «ТриАрк Майнинг» есть три возможности (сценария):

- 1) у компании нет права остановить добычу и эксплуатацию участка Буранный месторождения Томтор, пока действует лицензия, т. е. до 2034 г.;

- 2) у компании есть право остановить добычу и эксплуатацию участка Буранный месторождения Томтор, когда дисконтированные денежные потоки становятся отрицательные;

- 3) у компании есть право остановить добычу и эксплуатацию участка Буранный месторождения Томтор, когда дисконтированные денежные потоки становятся отрицательные, но это потребует дополнительных финансовых средств в размере 30 % от начальных капитальных затрат. В работе принимается такой высокий показатель в связи с расходами на поддержку окружающей среды, экологическую проверку после остановки добычи и консервации участка, поскольку редкоземельные руды содержат радиоактивные уран и торий.

Для прогнозирования цен в рамках данной работы была использована биномиальная модель с ежегодным дискретным изменением цены Кокса – Росса – Рубинштейна на основе анализа статистических данных цен за период с 1959 по 2017 г. из двух источников: Геологической службы США (USGS)¹⁷ и китайского аналитического ресурса Asian Metal¹⁸ со следующими дополнительными допущениями:

- рассматриваем риск-нейтральный мир, в котором инвесторы нейтральны к риску, а ожидаемая доходность равна безрисковой ставке $r_f = 7,2\%$;

- в работе принимается допущение о том, что все расходы, в том числе основные на капитальное строительство, производство и приобретение реагентов, транспортные, рассчитываются в национальной валюте, а реализация готовой продукции, главным образом нацеленная на внешние рынки (на экспорт), – в долларах США, и они не коррелируют.

В результате расчетов получается следующая закономерность изменения общих цен оксидов РЗМ на глобальном рынке, которая выглядит как многоступенчатое биномиальное

¹⁵ В работе принимаются θ_i по технологии, разработанной ИХХТ СО РАН, но с большей чистотой оксидов РЗМ.

¹⁶ Методические рекомендации по технико-экономическому обоснованию кондиций для подсчета запасов месторождений твердых полезных ископаемых (кроме углей и горючих сланцев).

¹⁷ The United States Geological Survey. URL: <https://minerals.usgs.gov/>

¹⁸ Asian Metal. URL: <http://www.asianmetal.com/>

дерева с вершиной (нулевой период – 2017 г.) и переходом к следующим вершинам в соответствии с риск-нейтральными вероятностями P_2 и $1 - P_2$.

Показатели изменения общей цены оксидов РЗМ по биномиальной модели Кокса – Росса – Рубинштейна:

$$P_0^I = 2,43 \text{ \$/кг}; \quad P_0^J = 2,7 \text{ \$/кг}; \quad \sigma = 34 \%; \quad r_f = 7,2 \%$$

$$u = 1,41; \quad d = 0,71; \quad P_2 = 51,7 \%; \quad 1 - P_2 = 48,3 \%$$

Далее на основе DCF-модели и распределения прогнозных общих цен оксидов РЗМ было построено биномиальное дерево ожидаемых денежных потоков и дерево ценности проекта разработки и эксплуатации участка Буранный месторождения Томтор, на основе которых получены оценки проекта с учетом заложенных опционов американского типа (2-й и 3-й сценарии). Однако в отличие от традиционного подхода, в котором ставка дисконтирования выбирается в зависимости от типа проекта, его детализации и вида денежных потоков (см. рис. 1), был использован так называемый риск-нейтральный подход. Он позволяет все денежные потоки опционов и проектов дисконтировать по единой безрисковой ставке r_f , которая отражает вероятность всех будущих результатов инвестирования в проект. При этом необходимо использовать риск-нейтральные вероятности P_2 и $1 - P_2$ [1; 4]. В итоге были получены ценности проектов по всем трем сценариям (рис. 4).

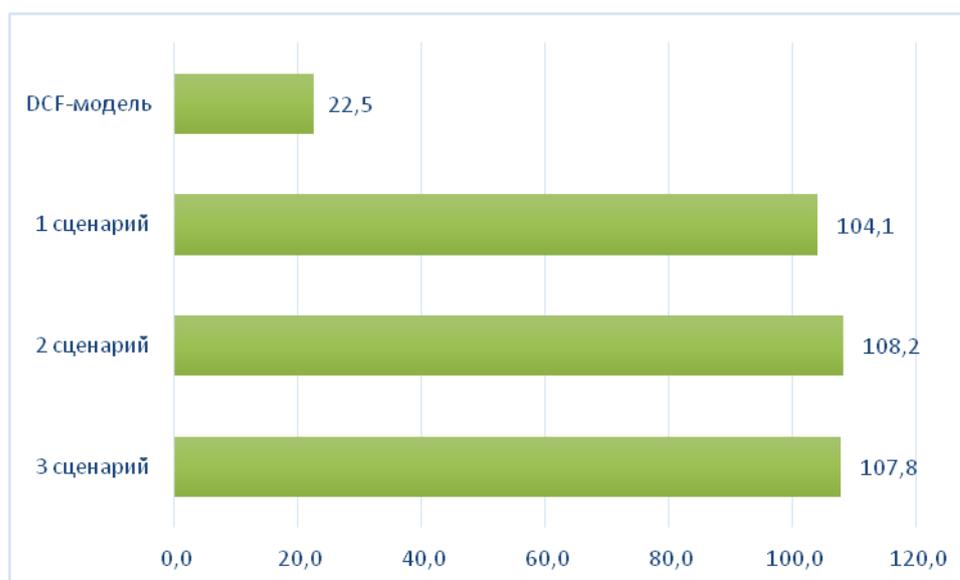


Рис. 4. Сравнение результатов оценки инвестиционного проекта разработки и эксплуатации участка Буранный месторождения Томтор с помощью DCF-модели и реальных опционов, млрд руб.

Fig. 4. Valuation results of investment project for the development of area Buranniy in the complex rare metal Tomtor field with the use of DCF method and real options (billion RUB)

Проведенные расчеты показали, что в инвестиционных проектах освоения редкоземельных месторождений рыночный риск является одним из ключевых факторов, влияющих на оценку проектов. Так, оценка проекта разработки и эксплуатации участка Буранный месторождения Томтор при традиционном подходе в 4,6 раза меньше, чем оценка проекта с использованием опционного подхода без права остановки (1 сценарий). **Этот случай пока-**

зывает, насколько увеличивается ценность проекта, когда риск рассматривается не только как негативный фактор с точки зрения возрастающей вероятности убыточности проекта, но и как положительный фактор возрастания вероятности, что проект будет сверхприбыльным.

Второй и третий случаи показывают, что гибкость стратегического управления в общем увеличивает ценность проекта. Наличие права на остановку добычи и эксплуатации участка Буранный месторождения Томтор увеличивает ценность проекта во втором сценарии на 4,1 млрд руб., а в третьем – на 3,7 млрд руб. в сравнении с первым.

Заключение

В настоящее время по всему миру насчитывается более 70 перспективных проектов освоения редкоземельных месторождений (не считая проектов извлечения РЗМ из различных промышленных отходов, хвостов и вторичного сырья). Подавляющее большинство этих проектов нереализуемы из-за уникальных геологических, технологических особенностей и иных факторов. Поэтому в отношении таких наукоемких минерально-сырьевых ресурсов необходимы новые подходы к экономической оценке эффективности инвестиций, которые бы смогли корректно оценить скрытые потенциальные возможности проекта и учесть гибкость управления в процессе его осуществления.

Проведенное исследование показало, что традиционный подход, основанный на применении DCF-модели к экономической оценке, имеет методические трудности на стадии оценки факторов неопределенностей и рисков, поскольку они рассматриваются исключительно как негативные факторы, что значительно снижает экономическую оценку. Другой подход – метод реальных опционов, берущий исток в финансовом секторе экономики, позволяет иным образом посмотреть на факторы неопределенности и риска. Возможность сделать оценку эффективности стратегического управления проектом приводит к расширению понятия от экономической к стратегической оценке эффективности инвестиционного проекта.

Такое методологическое расширение является особенно важным для оценки инвестиционных проектов освоения комплексных редкоземельных месторождений, поскольку сложно и нетривиально сопоставить большие денежные оттоки от капитальных и операционных затрат и денежные притоки от реализации конечной продукции, разнесенные на 10–15 лет от начала инвестирования в условиях значительной неопределенности и рисков. В этом контексте важно всесторонне рассмотреть условия формирования инвестиционного проекта, сценарии реализации готовой продукции, влияние эндогенных и экзогенных факторов. Примененный в работе опционный подход к анализу освоения месторождения РЗМ показывает, что такие проекты реально могут быть сильно недооценены в рамках традиционного подхода (на основе дисконтированных денежных потоков), поэтому требуют современных развитых подходов к оценке инвестиционных проектов разработки и эксплуатации комплексных редкоземельных месторождений.

Список литературы / References

1. **Лимитовский М. А.** Инвестиционные проекты и реальные опционы на развивающихся рынках: Учеб.-практ. пособие. М.: Дело, 2004. 528 с.
Limitovsky M. A. Investitsionnye proekty i realnye opsiyny na razvivayushchikhsya rynkakh [Investment projects and real options in developing markets]. Moscow, Delo Publ., 2004, 528 p. (in Russ.)
2. **Kooroshy J., Tiess G., Tukker A., Walton A.** (eds.). Strengthening the European rare earths supply chain: Challenges and policy options. ERECON, 2015). URL: https://ec.europa.eu/growth/sectors/raw-materials/specific-interest/erecon_en (accessed 30.09.2015).
3. **Шмат В. В.** О методах экономической оценки региональных энергетических проектов ГЧП с учетом факторов неопределенности и риска // Энергетическая политика. 2015. № 3. С. 47–58.

- Shmat V. V.** O metodakh ekonomicheskoi otsenki regionalnykh energeticheskikh proektov GChP s uchedom faktorov neopredelennosti i riska [On the methods of PPP regional energy projects economic evaluation with uncertainty and risk assessment]. *The Energy Policy*, 2015, no. 3, p. 47–58. (in Russ.)
4. **Баранов А. О., Музыко Е. И., Павлов В. Н.** Оценка эффективности инновационных проектов с использованием опционного и нечетко-множественного подходов. Новосибирск: Изд-во ИЭОПП СО РАН, 2018. 335 с.
Baranov A. O., Muzyko E. I., Pavlov V. N. Otsenka effektivnosti innovatsionnykh proektov s ispolzovaniem optsiionnogo i nechetko-mnozhestvennogo podkhodov. Novosibirsk, IEIE SB RAS Publ., 2018, 335 p. (in Russ.)
 5. **Black F., Scholes M.** The Pricing of Options and Corporate Liabilities. *Journal of Political Economics*, 1973, vol. 81, no. 3, p. 637–654.
 6. **Cox J., Ross S., Rubinstein M.** Option Pricing: A Simplified Approach. *Journal of Financial Economics*, 1979, vol. 7, no. 3, p. 229–263.
 7. **Boyle P.** Option Valuation Using a Three-Jump Process. *International Options Journal*, 1986, no. 3, p. 7–12.
 8. **Яценко В. А., Самсонов Н. Ю., Крюков В. А.** Особенности рынка редкоземельных металлов // Минеральные ресурсы России. 2018. № 6. С. 68–72.
Yatsenko V. A., Samsonov N. Yu., Kryukov V. A. Osobennosti rynka redkozemel'nykh metallov [Features of the rare earth metals market]. *Mineral Resources of Russia. Economics and Management*, 2018, no. 6, p. 68–72. (in Russ.)
 9. **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.
Delitsyn L. M., Melentiev G. B., Tolstov A. V., Magazina L. A., Samonov A. E., Sudareva S. V. Tekhnologicheskie problemy Tomtora i ih reshenie [Technological Problems of Tomtor and their Solution]. *The Rare Earth Magazine*, 2015, no. 2 (5), p. 164–179. (in Russ.)

Материал поступил в редколлегию
Received
01.10.2018

Сведения об авторах / Information about the Authors

Яценко Виктор Анатольевич, младший научный сотрудник, Институт экономики и организации промышленного производства СО РАН (пр. Академика Лаврентьева, 17, Новосибирск, 630090, Россия)

Viktor A. Yatsenko, Junior Researcher, Institute of Economics and Industrial Engineering SB RAS (17 Academician Lavrentiev Ave., Novosibirsk, 630090, Russian Federation)

yva@ieie.nsc.ru

ORCID 0000-0002-9129-2090

ResearcherID P-5762-2017

Самсонов Николай Юрьевич, старший научный сотрудник, кандидат экономических наук, Институт экономики и организации промышленного производства СО РАН (пр. Академика Лаврентьева, 17, Новосибирск, 630090, Россия)

Nikolay Yu. Samsonov, Senior Researcher, PhD in Economics Institute of Economics and Industrial Engineering SB RAS (17 Academician Lavrentiev Ave., Novosibirsk, 630090, Russian Federation)

samsonov@ieie.nsc.ru
ORCID 0000-0003-3343-9688

Крюков Яков Валерьевич, старший научный сотрудник, кандидат экономических наук, Институт экономики и организации промышленного производства СО РАН (пр. Академика Лаврентьева, 17, Новосибирск, 630090, Россия)

Yakov V. Kryukov, Senior Researcher, PhD in Economics, Institute of Economics and Industrial Engineering SB RAS (17 Academician Lavrentiev Ave., Novosibirsk, 630090, Russian Federation)

kryukovyv@ieie.nsc.ru
ORCID 0000-0001-5891-2588