

Н.Ю. Самсонов

ФОРМИРОВАНИЕ ЦЕПОЧЕК ДОБАВЛЕННОЙ СТОИМОСТИ ДЛЯ ВЫСОКОТЕХНОЛОГИЧНОГО АЛМАЗ-ЛОНСДЕЙЛИТОВОГО МИНЕРАЛЬНОГО СЫРЬЯ АРКТИКИ КАК ФАКТОРОВ РОСТА ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРОМЫШЛЕННОСТИ

В статье предложен подход к формированию цепочек добавленной стоимости (value-added-цепочек) высокотехнологичного минерального сырья Арктики (алмаз-лонсдейлитового материала), рассматриваемых как факторы роста эффективности промышленности, прежде всего инструментальной. Используются системные методы научного исследования, экономического анализа и оценки инвестиционного проекта добычи и переработки этого сырья с применением как стандартных показателей эффективности (NPV, IRR, PI, DPBP), так и неклассических (MIRR, EAA). Показаны особенности и характеристики сырья, обоснованы подходы к формированию цепочек создания добавленной стоимости, получения и потребления в индустрии алмаз-лонсдейлитового материала, оценены экономические параметры его добычи и потребления, систематизированы регулируемые и нерегулируемые проблемы и ограничения, сопутствующие процессу формирования value-added-цепочек. Результаты исследования могут быть использованы при разработке стратегии развития отдельных секторов новой наукоемкой отечественной экономики (высокоэффективной инструментальной промышленности), при реализации научно-технологической политики, политики технологического импортозамещения и расширения экспортного потенциала.

Ключевые слова: Арктика; Попига́йская астроблема; Красноярский край; Республика Саха (Якутия); сверхабразивное алмазное сырье; ин-

струментальная промышленность; инновации; технологии; цепочки добавленной стоимости; импортозамещение; спрос; потребление

Фокусирование научно-технологической, инвестиционной и институциональной политики на развитии в нашей стране нересурсной экономики должно привести к тому, что темпы экономического роста будут выше (3,5–4% в год) среднемировых и перестанут в значительной мере определяться динамикой сырьевого сектора. В настоящее время доля доходов в федеральном бюджете, не связанных с нефтью и газом, составляет почти 60%, и это уже совсем другая экономическая модель, которая может быть стабильной без рентных сырьевых сверхдоходов. Восстановительная модель экономического роста, базирующаяся на включении в производство незадействованных мощностей, на инвестициях в их модернизацию и реконструкцию, на использовании низкооплачиваемой рабочей силы и на высоком внешнем спросе на топливно-энергетические ресурсы, металлы, химическую и нефтехимическую продукцию, практически себя исчерпала. При этом риск нарастания технологического отставания в российской экономике является для нее одним из наиболее серьезных вызовов, может быть, самым серьезным. Формирование модели роста, основанной на новых технологиях и инновациях, – императив, заданный как внутренними задачами, так и глобальными трендами [10; 11].

Отсутствие институциональной и инфраструктурной базы для создания критической массы технологичных и высокотехнологичных downstream-производств, дефицит и повышенная закомплексованность свободного капитала частного сектора, в том числе венчурного, для развития наукоемкой экономики – эти факторы и условия обостряют опасность одностороннего владения вне нашей страны развитыми технологиями и ноу-хау в инновационном индустриальном секторе. Одним из важных направлений регулирования этих факторов и условий является использование потенциала отечественной минеральной базы сырья инновационного типа. Для этого требуются не только современные технологии его вовлечения в экономику и новые организационные подходы, но и прежде всего ресурсы финансовых институтов развития, корпоративных и частных инвестиций,

государственной и частной научно-технологической инфраструктуры. Необходимо исследовать конфигурации взаимодействия этих ресурсов, механизмы создания устойчивых цепочек добавленной стоимости (value-added chains) и цепочек поставок (supply chains), принципы формирования и стимулирования спроса на такое сырье и на конечные инновационные высокотехнологичные продукты [1; 7].

В условиях поиска и развития новых направлений наукоёмкой инновационной экономики алмаз-лонсдейлитовое сырье (импактные алмазы технического назначения) относится к принципиально новому типу минерального сырья, свойства и характеристики которого позволяют повысить эффективность конечной продукции на downstream-уровне технологической цепочки инструментальной (абразивной, режущей, обрабатывающей) индустрии. Подтвержденная сверхабразивность сырья (сочетание твердости, прочности, форм режущих граней и проч.), исследованные параметры которой далее представлены в статье, определяет основное направление его использования в качестве высокотехнологичного материала в современной промышленности. Его применение позволяет в рамках технологических цепочек значительно (за счет повышенной производительности, увеличенного ресурса стойкости рабочей части инструмента, сниженных временных затрат на ее замену и настройку) повысить экономическую эффективность выполнения таких сложных производственных операций, как

- различные виды бурения горных пород, в том числе в особых геологических условиях, включая проходку тоннелей в скальных массивах;
- обработка специальных сплавов, заготовок из цветных и черных металлов, композитных материалов, деталей из оптического стекла, кварца и технических камней, полупроводниковых материалов, феррита, керамики, фарфора (обрабатывающая оснастка, т.е. фрезерные, расточные, токарные, шлифовальные и сверлильные инструменты);
- обработка строительных материалов и изделий, требующих быстрой и точной резки;
- тонкая и сверхтонкая шлифовка и полировка и т.д.

ОБОСНОВАНИЕ ЦЕЛЕЙ И ЗАДАЧ ИССЛЕДОВАНИЯ

Проблематика повышения эффективности выполнения такого рода работ и увеличения производительности оборудования носит острый характер для российской промышленности. Примечательно, что в рамках концепции развития новых индустриальных технологий, связанных с выстраиванием value-added-цепочек, и получения экономических эффектов от них действуют Китай (глобальная инициатива «One Belt, One Road» и программа «Made in China»), Германия («The New High-Tech Strategy Innovations for Germany: 2020» и «Germany: Industrie 4.0»), схожие программы реализуются в Нидерландах, Великобритании, Франции, Италии, США, Канаде [21; 23; 24].

Природные объекты (участки недр), содержащие импактные алмазы (более точное название звучит как «алмаз-лонсдейлитовое сырье», что указывает на морфологические свойства структуры кристаллов углерода, т.е. алмаза и лонсдейлита), расположены в пределах Попигайского метеоритного кратера, представляющего собой крупную геологическую структуру. Эта территория содержит уникальные запасы алмаз-лонсдейлитовых агрегатов преимущественно поликристаллической структуры мелких классов (мельче 0,2 мм) [2; 8]. Попигайский метеоритный кратер расположен в северо-восточной части Красноярского края в пределах Таймырского (Долгано-Ненецкого) автономного округа, на который приходится основная площадь объекта, и частично в северо-западной Якутии. Район относится к территории Арктической зоны РФ и экономически не освоен, не имеет статуса охраняемой государством территории. Краткая история его открытия и изучения следующая.

В 1971 г. В.Л. Масайтисом (ВСЕГЕИ, Ленинград) была доказана метеоритная природа попигайской структуры, и в том же году в породах, получивших название «тагамиты», был обнаружен необычный минерал, состоящий из углерода [9]. Рентгеновские исследования показали, что по структурным особенностям он близок к алмазу, имеет поликристаллическое строение, и потому с самого начала он был назван алмазом импактного (т.е. ударного) генезиса. Были установлены высокие содержания сверхтвердого минерала (с названием «алмаз»!) в породах астроблемы, и, таким образом, с учетом размеров объекта (более 80 км в диаметре) предполагалось наличие практически неис-

черпаемых его запасов. В результате геолого-разведочных работ на незначительной части Попигаевского метеоритного кратера были разведаны два месторождения – Скальное (наиболее крупное) и Ударное, а также ряд перспективных высокоалмазоносных тел (Сюрюнге, Встречный, Тонгулах и др.) [9]. На Скальном месторождении максимальное содержание импактных алмазов достигает 100 карат на тонну (участки с ураганным содержанием), но среднее содержание определено в 23,23 карата на тонну (это очень высокие значения в сравнении с традиционными алмазными породами – кимберлитами, из которых извлекают алмазы ювелирного качества при концентрациях 0,2–4 карата на тонну). Общие запасы разведанных участков месторождения оценены более чем в 140 млрд карат. Запасы в Государственной комиссии по запасам поставлены на баланс по категории «алмазы», а дальнейшие исследования после разработки технологий извлечения и технологических испытаний алмазных порошков из импактных алмазов и стендовых испытаний буровых коронок, выполненных в Симферополе (Институт минеральных ресурсов), Мирном (Якутнипроалмаз) и Ленинграде (Институт методики и техники разведки), были прекращены. Причиной прекращения исследований стало прежде всего то, что при существовавшем в 1980-е годы уровне технологий изготовления инструментальной и буровой оснастки изделия на основе импактных алмазов только в ряде случаев действительно показывали исключительные эксплуатационные качества, превышающие качества изделий из кимберлитовых технических алмазов. Интерес к самому месторождению и его алмазному сырью технического назначения возобновился в 2011 г., когда в Институте геологии и минералогии СО РАН (В.П. Афанасьев, Н.П. Похиленко и др.) были исследованы остаточные партии алмаз-лонсдейлитового сырья, полученные в 1980-е годы [15; 16; 26; 33].

Аналоги алмаз-лонсдейлитового сырья по геолого-промышленным, технологическим характеристикам и масштабам оруденения неизвестны ни в России, ни за ее пределами. С одной стороны, это предопределяет потенциальное монопольное положение на глобальном рынке нового высокоабразивного алмазного сырья природного происхождения, а с другой – обуславливает невозможность появления в будущем на рынке аналогичного материала. При этом из-за крайней

специфичности импактных алмазов практическая возможность синтезировать их аналоги исключена, что не позволяет создать искусственный материал со схожими технологическими свойствами. Форма и характер импактных алмазов исключают их использование в качестве ювелирного сырья.

Экономическая целесообразность добычи высокотехнологичного сверхабразивного сырья значительно возрастает при формировании единой технологической цепочки получения и потребления минерального сырья с учетом кумулятивного потока добавленной стоимости (value-added) на каждом потоковом этапе (рис. 1):

- этап *upstream* – разведка, подготовка к освоению, добыча минерального сырья, получение полупродуктов с добавленной стоимостью ;
- этап *middlestream* – обогащение, переработка полупродукта, получение готовой продукции с добавленной стоимостью ;
- этап *downstream* – применение готовой алмаз-лонсдейлитовой продукции в технологичной и высокотехнологичной индустрии с коэффициентом роста эффективности k и добавленной стоимостью для инструментальных компонентов.

В свою очередь, потоковый подход и стремление к локализации его уровней позволяют аккумулировать рост добавленной стоимости сырья, полупродукта и продукта и регулировать структуру себестоимости и конечной стоимости произведенной инструментальной продукции на основе алмаз-лонсдейлитового материала.

Подходы к выстраиванию интегрированных технологических цепочек для высокотехнологичного минерального сырья, предложенные в этой статье, разрабатываются чл.-корр. РАН В.А. Крюковым и сотрудниками Центра ресурсной экономики ИЭОПП СО РАН, основываются на исследованиях отечественных и зарубежных специалистов в области оценки конкурентоспособности высокотехнологичной продукции, оценки динамики и трендов инвестиционных и инновационных процессов, связанных с беспрецедентным ускорением технологического обновления, в области изучения цепочек создания добавленной стоимости, в частности на исследованиях В.В. Акбердиной [1],

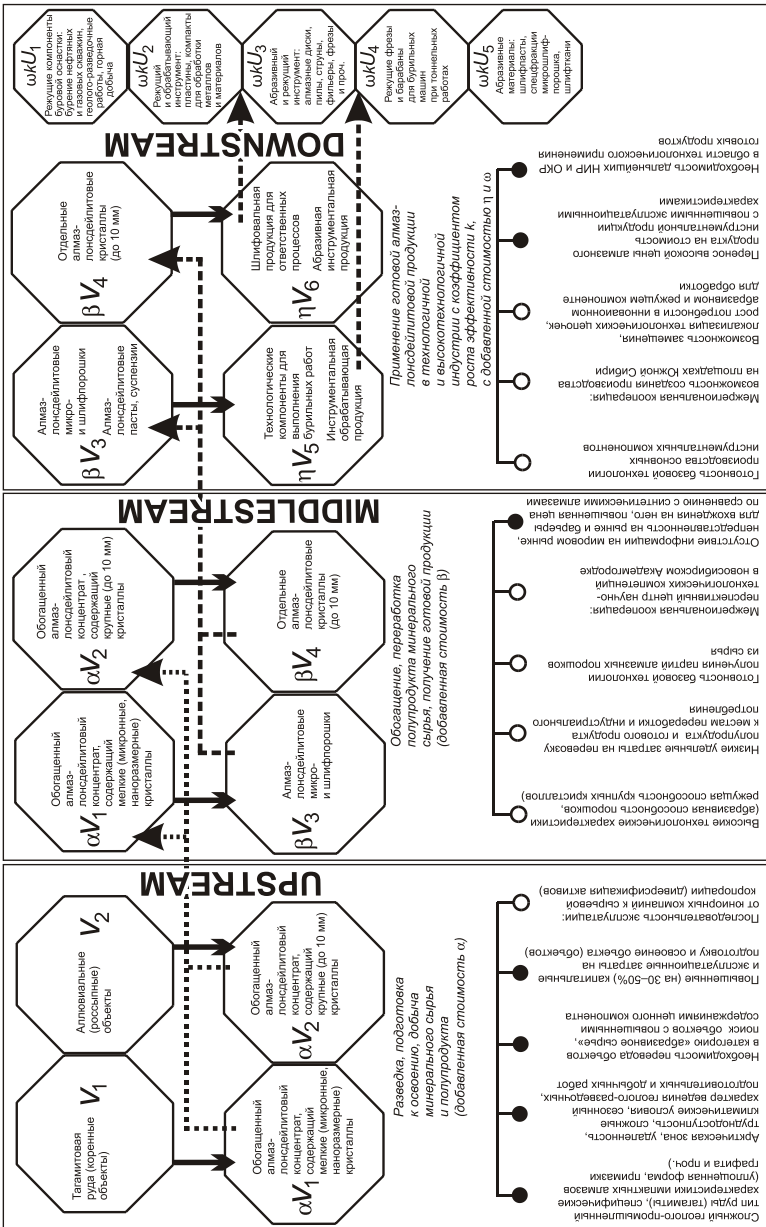


Рис. 1. Stream-модель формирования цепочек добавленной стоимости (value-added chains) для алмаз-лонсидельного сырья с учетом существующих условий и ограничений

А.Е. Варшавского [3], В.В. Ивантера [4], А.А. Корогодского [5], А.Т. Юсуповой, С.Р. Халимовой и др. [6; 19; 20], С. Чена [23], Р. Помфрета и П. Сурдин [27], Г. Джереффи и др. [25], Д. Квентина и Л. Кэмплинга [28], Д. Робинсона и Т. Проппа [29], Г. Стивенса и М. Джонсона [30], Д. Тиса [31], М. Тиммера и др. [32], Э. Бриньолфссона и Э. МакАфи [22]. Что касается естественно-научной области, работа опирается на исследования по геологии и минералогии алмазов российских ученых-геологов, в числе которых В.Л. Масайтис, Н.П. Похиленко, В.П. Афанасьев, А.В. Толстов [17; 18].

Целью статьи является системный экономический анализ конфигураций формирования и взаимодействия цепочек добавленной стоимости высокотехнологичного минерального сырья (алмаз-лонсдейлитовый материал), а также механизмов формирования и стимулирования спроса на него в инструментальной промышленности. К задачам относятся: 1) исследование значения алмаз-лонсдейлитового сырья в структуре рынка инструментальных материалов с учетом его технологических характеристик и особенностей; 2) обоснование потоковой модели формирования цепочки добавленной стоимости для алмаз-лонсдейлитового сырья с учетом существующих условий и ограничений; 3) оценка экономической эффективности инвестиционного проекта по добыче алмаз-лонсдейлитового сырья с точки зрения формирования базы для принятия управленческих решений по проекту добычи исходного сырьевого материала и его последующего перетока на middlestream-уровень создания добавленной стоимости; 4) оценка организационных факторов и перспектив развития проекта.

АЛМАЗ-ЛОНСДЕЙЛИТОВОЕ СЫРЬЕ В СТРУКТУРЕ РЫНКА ИНСТРУМЕНТАЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ, ЕГО ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ И ОСОБЕННОСТИ

В целом, к особенностям и конкурентным технологическим преимуществам инструментов и материалов из технического алмазного сырья (как природного, так и синтетического происхождения), а также других сверхтвердых материалов (кубический нитрид бора, кар-

бид кремния и др.) относятся такие ключевые показатели, как наивысшая твердость и высокая абразивность, сочетание которых позволяет эффективно использовать эти физико-механические свойства в индустриальных целях.

В свою очередь, алмаз-лонсдейлитовое сырье обладает доказанной уникальной абразивной способностью, в 1,8–2,4 раза (в зависимости от соотношения кубической и лонсдейлитовой фаз) превосходящей абразивную способность синтетических и природных алмазов, что делает его исключительным по свойствам режущим материалом. Абразивная способность этого материала связана с поликристаллическим строением его частиц и тесным срастанием алмазной и лонсдейлитовой фаз. Так, согласно результатам испытаний (Институт геологии и минералогии СО РАН, Институт сверхтвердых материалов им. В.Н. Бакуля НАН Украины, 2015 г.) абразивная способность порошков на основе импактных алмазов в сравнении с порошками из синтетических алмазов сопоставимой фракции выше в 1,5–2 раза. Шлифовальные порошки из импактных алмазов имеют абразивную способность в среднем в 2 раза более высокую, чем шлифпорошки из синтетического алмаза [13].

Важно отметить, что специфические особенности импактных алмазов связаны с двумя формами их получения, определяющими виды, абразивные и режущие свойства инструмента, произведенного на их основе. Во-первых, возможно извлечение сырья из тагамитных пород путем их дробления, вследствие чего получаемый продукт будет иметь форму порошка, который и является главным материалом, применяемым при изготовлении абразивно-алмазных инструментальных изделий. Во-вторых, сырье можно добывать из россыпей аллювиальных отложений в гидросети (реки, ручьи) поверхности кратера, в результате продуктом являются крупные выделения импактных алмазов размером до 1–2 см, имеющих самостоятельное значение как материал для вставок в инструменты особого типа (например, в буровые коронки).

Высокоабразивное алмаз-лонсдейлитовое сырье также обладает рядом специфических физических характеристик (особенно внеш-

них), отрицательно влияющих на процессы обогащения и переработки исходного сырья. К ним относятся

- малая размерность и преобладающая удлинённая и плоская форма зерен;
- сложный характер поверхности, примазки и пленки графита;
- большая вязкость алмазов.

Эти и другие отрицательные особенности определяют необходимость проведения дальнейших исследований в области разработки стандартных и нестандартных конструкций изделий и инструментов на основе нового абразивного сырья, выявления качественно новых условий эффективного использования таких изделий и инструментов. Вместе с тем уже созданы технологии ситования равномерных алмазных порошков (получены опытные партии) и производства инструментальной продукции из этих алмазов (изготовлены образцы матриц).

В ранее выполненных научно-исследовательских работах [9; 13] определено, что изготовление инструментов на основе алмаз-лонсдейлитового сверхабразивного сырья возможно, а испытания полученных образцов подтвердили их высокую эффективность. В частности, специалистами ИСМ им. В.Н. Бакуля в рамках контракта с ИГМ СО РАН (2015 г.) произведено 150 режущих пластин (спеков) для металлообработки, 50 компактов из алмаз-лонсдейлитового абразива для изготовления и проведения испытаний буровых коронок и 30 компактов для изготовления и проведения испытаний буровых долот. В испытаниях полученных образцов подтверждена их весьма высокая эффективность. Например, при обработке твердого сплава пластина компакта из алмаз-лонсдейлитового сырья показывает износ на 20 и 53% ниже по сравнению с аналогичным компактом, полученным из синтетических микропорошков алмаза. Компакты позволяют обрабатывать твердый сплав с высоким качеством и при скоростях резания свыше 40 м/мин, что невозможно ни для одного из известных режущих материалов [13].

С точки зрения институциональной экономики рынок инструментальных материалов (твердые сплавы, режущая керамика, инструментальные стали, сверхтвердые материалы), используемых в качест-

ве режущих и абразивных компонентов в современной промышленности, характеризуется

- сформированной глобальной технологической базой производства конечного инструмента и наличием научно-исследовательских и инновационных центров (в мире несколько десятков крупных производителей современной инструментальной продукции, среди которых «Sandvik», «Seco», ISKAR, «Kennametal», «Widia», «Walter» и др.);
- устойчивыми хозяйственными, экономическими, контрактными связями и обязательствами в инструментальной отрасли и между предприятиями-производителями и компаниями-потребителями, включая развитую сеть региональных представительств и сервисных центров по всему миру;
- значительным объемом производства и потребления в мире (миллиарды карат в год синтетических алмазов для промышленного применения [12], сотни тысяч тонн других инструментальных материалов);
- повышением автоматизации и диджитализации современной инструментальной промышленности, ростом потребности в аддитивных производствах, изделия которых также требуют точной доводки [22];
- ожидаемой в будущем нехваткой операторов и технологов, что способствует росту потребности в передовых технологиях механообработки прогнозируемых стабильности и эффективности в условиях крупносерийного производства.

Ни один из названных выше инструментальных сверхтвердых материалов не является универсальным и не применяется с одинаковой эффективностью, каждый занимает свою технологическую нишу в соответствии с показателями твердости, абразивной способности, прочности и с основной сферой применения. В этом смысле продуктом, конкурирующим на рынке с алмаз-лонсдейлитовым сырьем по физико-механическим свойствам, сферам потенциального применения (защелки) и ценам, являются лишь синтетические алмазы (рис. 2).

В то же время следует отметить, что подавляющая масса синтетических алмазов производится в Китае методом НРНТ (мелкие крист-

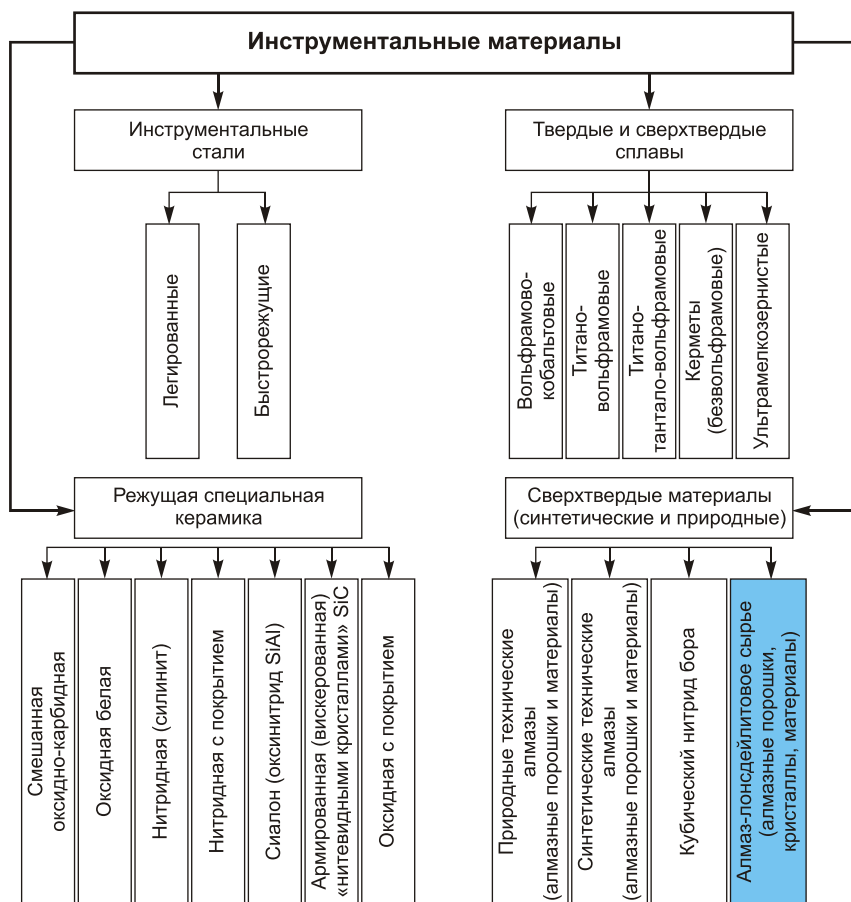


Рис. 2. Место алмаз-лонсдейлитового сырья в структуре рынка инструментальных материалов [13]

таллы, нестабильность физико-механических характеристик) и менее распространенным методом газовой осаждения CVD (особо чистые пластинчатые кристаллы, идеальная стабильность физических характеристик) общей массой 12–13 млрд карат в год (практически все HPHT-методом), а в России производится несколько миллионов карат синтетических алмазов, т.е. не более 0,01% (!) всего мирового произ-

водства [12]. Таким образом, нет прямого и даже косвенного влияния на развивающуюся отечественную индустрию искусственных алмазов технического применения, производимых прежде всего для специальных промышленных и научно-исследовательских целей.

ЭКОНОМИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ПОТОКОВОЙ МОДЕЛИ

В странах с высокими темпами промышленного и экономического роста – ряде европейских, США, Израиле, Китае, Южной Корее, Сингапуре, Тайване, Канаде, Австралии, Японии и др. – благодаря сверхтвердым материалам, в том числе алмазным, и инструментам на их основе выполняются процессные высокопроизводительные операции в самых различных сферах экономики. Необходимость поддержания и увеличения темпов промышленного роста, развития научно-технологической базы в мире, включая и Россию, создает стимулы для поиска материалов, способов и технологий создания более эффективных инструментальных материалов [5]. Это связано с требованиями

- увеличить производительность оборудования, его стабильность и долговечность, расширить возможности его применения в сложных условиях при сильных нагрузках;
- повысить скорость обработки материалов (металлов, керамики, композитов и проч.) и улучшить качество их обработки;
- сократить операционные расходы, повысить конкурентоспособность и экономическую эффективность в цепочке «предприятия отрасли экономика» за счет новых высокопроизводительных технологий [28].

Масштабирование применения результатов исследований в индустрии, внедрения эффективного алмаз-лонсдейлитового сырья в производственные цепочки и потребления инструментальной продукции позволяет усилить конкурентные преимущества

- потребителей *инструментального эшелона* (изготовители бурового инструмента, режущих компактов и резцов для металлообработки, рядового и специального абразивного и режущего инструмента, порошков, паст и проч.);

- потребителей *эксплуатационного эшелона* (нефтегазодобывающие компании, нефтесервисные и геолого-разведочные предприятия, металлообрабатывающие компании, предприятия обрабатывающих секторов, строительного комплекса и др.).

Удовлетворение перечисленных выше требований современной индустрии (полное или частичное) возможно на основе введения в технологический оборот нового типа сверхабразивного сырья, которое, кроме того, имеет значительный экспортный потенциал. Наиболее перспективные по емкостным и стоимостным параметрам отрасли потребления алмаз-лондейлитового сырья сопряжены с производством следующих видов конечной продукции: буровая оснастка, используемая при проходке нефтяных и газовых скважин, геолого-разведочных работах, горной добыче (буровые коронки, долота, скальный инструмент, расширители), бурильные машины, применяемые при тоннельных работах (фрезы и барабаны), режущий и обрабатывающий инструмент, абразивный инструмент, абразивные первичные материалы (пасты, шлифовальные порошки, ткани и проч.; на рис. 1 они указаны на downstream-уровне создания добавленной стоимости).

В производственном цикле мировой индустрии алмазной инструментальной продукции, широко использующей синтетические алмазы, применяется технологический параметр «относительная концентрация алмаза» (ОКА) – величина, отражающая содержание алмазного порошка в рабочем (режущем или абразивном) слое инструмента. ОКА является важнейшей характеристикой алмазно-абразивного инструмента, определяющей его обрабатывающую способность, производительность, срок службы и стоимость. Выбор концентрации зависит от типа инструмента, от формы и размеров рабочей поверхности, от абразивной способности и зернистости алмазного порошка, от износостойкости связки, от условий эксплуатации инструмента. Показатель варьирует от 25%-й до 200%-й концентрации с шагом 25%, при этом, например, для «базовой» 100%-й концентрации принято такое содержание алмазов, при котором в суммарном 1 куб. см по всем плоскостям алмазоносного слоя находится 4,4 карата алмазов (т.е. 0,89 г) [14].

Расход алмазов на единицу алмазно-абразивного инструментального изделия, оцененный в каратах и граммах, приведен в таблице. Видно, что, например, для матрицы буровой коронки (одного из основных промышленных продуктов из алмаз-лонсдейлитового материала) в зависимости от необходимых диаметра и эксплуатационных характеристик расходуется: для однослойной – от 100 до 823 карат, для многослойной – от 1 тыс. до 8,2 тыс. (!) карат алмазного порошка.

Расход алмазов на одно алмазное изделие при 100%-й относительной концентрации алмазов

Алмазно-абразивно-режущий инструмент	Диаметр изделия, мм	Объем алмазосодержащего слоя, куб. см	Расход алмазов на 1 изделие	
			кар.	г
Матрицы для буровых коронок	40–160	Однослойные 23,4–187,2	102–823	20–164
		Многослойные (10 слоев) 234,4–1870,2	1031–8236	206–1647
Резцы, хонинговальные бруски и т.д.	0,6–7,2 (резцы различных типоразмеров)		2,6–31	0,5–6,3
	2,8–28,0 (бруски хонинговальные)		12–123	2,5–24,5
	11–37,8 (бруски суперфинишные)		48–166	10–33
Круги	15–500	0,7–389,0	3–1711	1,5–342
Чашечные круги	50–250	1,8–144,5	8,1–635	1,6–127
Круги отрезные	50–500	0,17–16,9	0,7–149	0,2–29,7
Сверла	5–100	0,15–2,3	0,6–10,1	0,2–2,1
Массовая концентрация алмазного порошка, %				
Порошки	100%			
Пасты	(Н) Нормальной концентрации	(П) Повышенной концентрации	(В) Высокой концентрации	
	2–8	5–20	10–40	

Источник: [14].

Такой абсолютный расход алмазов на изготовление инструментальных изделий в пересчете на количество выпускаемых всей мировой индустрией буровых коронок (а также иной разнообразной абразивно-режущей алмазной продукции) объясняет как структуру, так и значительные объемы производства и потребления технического синтетического алмазного сырья в мире в целом по весу (12–13 млрд карат, т.е. 2,5 тыс. т) и в стоимостном выражении (3 млрд долл. США в год при средней цене в 0,23–0,25 долл. за карат [12]).

Конечной целью оценки экономической эффективности имитационного инвестиционного проекта по добыче алмаз-лонсдейлитового сырья (в пределах Попигаевского кратера, северо-восточная часть Красноярского края) является не максимально точный расчет показателей собственно эффективности, а формирование базы для принятия объективного и взвешенного управленческого решения по проекту добычи исходного сырьевого материала и его последующего перетока на middlestream-уровень создания добавленной стоимости.

Основные показатели эффективности имитационного инвестиционного проекта по добыче алмаз-лонсдейлитового сырья*:

Чистый дисконтированный поток денежных средств (NPV), млн руб.	8150,9
То же нарастающим итогом, млн руб.	29652,0
Дисконтированные притоки, млн руб.	68793,6
Дисконтированные оттоки, млн руб.	60642,6
Дисконтированные инвестиции, млн руб.	9348,0
Индекс доходности дисконтированных затрат, д.ед.	1,13
Индекс доходности дисконтированных инвестиций, д.ед.	1,87
Рентабельность проекта, %	19,9
Рентабельность продаж, %	20,97
Рентабельность производства, %	26,22
Внутренняя норма доходности (IRR) (при $r = 10\%$), %	19,28
<i>Модифицированная внутренняя норма доходности (MIRR)</i> (при $r = 10\%$), %	14,38

* Оценка выполнена для имитационного инвестиционного проекта строительства обогатительной фабрики мощностью 1,5 млн т руды в год, перерабатывающей сырье с участка (участков) с повышенным содержанием ценного компонента (100 карат на тонну). Расчеты автора.

Индекс прибыльности (PI), %	1,87
Дисконтированный срок окупаемости (DPBP), лет	9 лет
Эквивалентный годовой аннуитет (ЕАА), млн руб.	918,0

На мировом *middlestream*-уровне объемы замещения («каннибализации») алмаз-лонсдейлитовым сырьем синтетических алмазов составят до 1,1% (при максимальных годовых добыче и потреблении сверхабразивного сырья до 133,8 млн карат, т.е. по оценкам, выполненным в зависимости от целевых геолого-промышленных характеристик и потенциальных производственных возможностей). Соответственно, объем рынка исходного сырья составляет 160 млн долл. США в год (исходя из «производственной» цены в 1,2 долл. за 1 карат алмаз-лонсдейлитового сырья, обеспечивающей приемлемый уровень внутренней доходности в 20% при ставке дисконтирования $r = 10\%$). Для инвестиционного проекта рассчитываются стандартные (общепринятые) показатели эффективности, такие как NPV (чистая приведенная стоимость), IRR (внутренняя норма доходности), PI (индекс прибыльности), DPBP (дисконтированный срок окупаемости инвестиций), а также неклассические метрики: MIRR (модифицированная внутренняя норма доходности) и ЕАА (эквивалентный годовой аннуитет, иными словами, NPV, приходящийся на один год реализации проекта). Размещение горно-обоганительного комплекса определяется близостью к месту выемки руды (карьер) на новом разведанном объекте с выявленным повышенным содержанием ценного компонента, при этом срок разработки – 23 года.

С точки зрения рыночных перспектив алмаз-лонсдейлитовое абразивное сырье, по всей видимости, относится к классу инновационных адаптивных продуктов, т.е. продуктов, способных постепенно интегрироваться в глобальные процессы производства современных алмазных инструментов, изделий и в новые технологические решения [7; 12]. Для этого необходимо ввести готовый продукт (партии алмазных порошков и отдельных алмазных кристаллов) в мировой алмазопровод технического алмазного сырья и включить в номенклатуру продуцентов, дилерской и дистрибьюторской сети синтетического алмазного сырья и алмазно-технической продукции.

ОРГАНИЗАЦИОННЫЕ ФАКТОРЫ И ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ АЛМАЗ-ЛОНСДЕЙЛИТОВОЙ ИНДУСТРИИ

В заключительной части исследования нужно отметить, что с точки зрения институциональных и организационных механизмов, регулируемых государством, которое обладает минерально-сырьевым ресурсом этого алмазно-технического сырья индустриального применения, необходимо перевести полезный компонент (алмаз-лонсдейлитовый абразив) из категории «алмаз» в категорию «абразивное сырье», каковым он, по сути, и является. Это обосновывается тем, что фактически импактные алмазы не имеют ничего общего с обычными алмазами ювелирного качества, добываемыми из кимберлитов и россыпей, а именно:

- отличаются по генезису;
- отличаются по структуре – представляют собой наноразмерный агрегат кубической (алмаз) и гексагональной (лонсдейлит) фаз, образующих поликристаллы с размером кристаллитов в первые десятки-сотни нанометров, тогда как обычные алмазы являются монокристаллами с кубической структурой;
- обладают уникальной абразивной способностью, что выдвигает алмаз-лонсдейлитовый композит в разряд исключительных по свойствам абразивных материалов;
- извлекаются из переплавленных пород после дробления, поэтому представляют собой мелкий порошок. При этом нет никаких ограничений на сохранность поликристаллов (этим они отличаются от обычных кимберлитовых алмазов, у которых сохранность кристаллов – важнейшее условие при обогащении руды);
- их стоимость определяется исключительно ценой, конкурирующей с ценой синтетических технических алмазов, и несопоставима со стоимостью ни природных технических, ни тем более ювелирных алмазов;
- их применение возможно только в технических целях при производстве инструментальной алмазно-абразивной продукции и высокоабразивных материалов.

С учетом того, что подсчитанные запасы по поставленному на баланс месторождению Скальное составляют более 140 млрд карат категории C_1+C_2 , при этом только в контуре карьера первой очереди по категории В учтено 5,4 млрд карат, ясно, что по категории «алмаз» стоимость лицензии на отработку месторождения будет неподъемной для любого инвестора. Только перевод импактных алмазов из категории «алмаз» в категорию «абразивное сырье» позволит запустить в эксплуатацию участок (или участки), имеющий, тем не менее, в коренной породе – тагамите повышенное и выдержанное содержание ценного компонента (не менее 70–100 карат на тонну). Крупные выделения импактных алмазов – якутиты могут добываться только по россыпной схеме практически на всей территории кратера. Однако и для этого необходимо опосредовать россыпные участки с очень высоким содержанием якутитов (не менее 30–50 карат на кубометр аллювиального материала). В настоящее время перспективными для этих работ могут быть такие участки в северо-западной части кратера, как Таас, Дергалах, Буордах.

Сегодня необходим комплекс работ для геологического изучения за счет собственных (заемных) средств (Приказ Минприроды № 583 от 10.11.2016 г.) таких участков с целью наработки в режиме опытно-промышленной эксплуатации представительной партии якутитов (в объеме 20–30 тыс. карат). В последующем возможны проведение государственной экспертизы запасов на выделенных участках (Приказ Минприроды № 27 от 25.01.2013 г.), установление фактов открытия месторождений (Приказ Минприроды № 689 от 11.11.2014 г.) и получение прав пользования участками недр при установлении факта открытия месторождения (Приказ Минприроды № 23 от 25.01.2005 г.).

Остается отметить, что будущее экономической активности на Попигайском метеоритном кратере и на его отдельных участках, содержащих алмаз-лонсдейлитовое сырье, связывается с деятельностью малых (юниорных) геолого-разведочных компаний в кооперации с научно-исследовательскими организациями, способными выполнять работы геологического, минералогического, горно-технического, эксплуатационного характера, с формированием стратегий выведе-

дения партий алмаз-лонсдейлитового сырья на глобальный рынок, а также с включением его в технологические цепочки по производству инструментальной продукции нового высокоэффективного типа.

Следующим этапом после подтверждения соответствующих технологических параметров сырья, формирования цепочки по добыче, переработке сырья и его реализации на внутреннем и внешнем рынках возможна полномасштабная деятельность с целевыми показателями получения на middlestream-уровне 140 млн карат высокотехнологичного сырья в год для крупных частных инвесторов или в партнерстве с частными российскими и зарубежными (прежде всего из числа стран АТР) и, вероятно, российскими государственными финансовыми институтами с учетом неопределенности, внешнего давления и ужесточения ограничений на международных финансовых рынках.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ВЫВОДЫ

В статье показано, что алмаз-лонсдейлитовое сырье является новым высокоабразивным материалом природного генезиса, а его особые физико-механические свойства определяют основное направление его использования в качестве высокотехнологичного материала при производстве бурового, режущего и абразивного инструмента и абразивных материалов (порошки, пасты, суспензии) повышенной эффективности. К особенностям и преимуществам алмаз-лонсдейлитового сырья относится высочайшая абразивная способность: абразивная способность импактных алмазов в 1,8–2,4 раза превосходит абразивную способность конкурентных синтетических технических алмазов.

Отрицательные особенности (малая размерность и преобладающая удлиненная и плоская форма зерен, сложный характер поверхности, примазки и пленки графита, большая вязкость алмазов) определяют необходимость проведения дальнейших исследований по разработке стандартных и нестандартных конструкций изделий и инструментов на основе нового абразивного сырья, необходимость выявления условий их эффективного использования.

Решение задач, стоящих перед мировым промышленным сектором, связанных с необходимостью увеличения производительности буровой оснастки, обрабатывающего оборудования и инструментов, повышения скорости обработки материалов (металлов, керамики, композитов и проч.) и улучшения качества их обработки, сокращения расходов и повышения конкурентоспособности предприятий и целых отраслей, возможно на основе введения в технологический оборот нового типа сверхабразивного сырья.

Триггером формирования спроса на новый тип высокотехнологичного минерального сырья является вертикально интегрированная технологическая цепочка с созданием новых мощностей по производству востребованного на российском и мировом рынках высокоэффективного бурового и режущего алмазно-абразивного инструмента, а также абразивных материалов. Экономическая целесообразность добычи сырья значительно возрастает при формировании единой технологической цепочки получения и потребления минерального сырья с учетом кумулятивного потока добавленной стоимости на каждом потоковом этапе: *upstream* (разведка, подготовка месторождения к освоению, добыча минерального сырья, получение полупродуктов), *middlestream* (обогащение, переработка полупродукта с получением готовой продукции) и *downstream* (применение готовой алмаз-лонсдейлитовой продукции в технологичной и высокотехнологичной индустрии). Создание в России такой технологической цепочки позволит

- снизить зависимость от поставок из-за рубежа инструментальной оснастки, расточных систем, металлорежущего и специального инструмента, а также от поставок импортного синтетического алмазного сырья;
- сформировать отечественную отрасль по производству высокотехнологичной инструментальной продукции на основе сверхабразивного материала; повысить технологические компетенции по разработке и применению инструментальной продукции с ориентацией на внешний рынок;

- обеспечить поставки на внешний рынок готовой высокотехнологичной алмаз-лонсдейлитовой продукции, конкурирующей по технологическим качествам с синтетическими алмазами (индикатором успешности импортозамещения и должен быть несырьевой экспорт);
- вовлечь в оборот экономический потенциал отечественной минерально-сырьевой базы технического абразивного сырья, поддерживать экономическую активность в Арктической зоне РФ, способствовать связанности пространства как механизму смягчения межрегионального неравенства, научно-техническому развитию смежных секторов (геологоразведка, беспилотные летательные аппараты и проч.).

* * *

Автор благодарит академика РАН Н.П. Похиленко, чл.-корр. РАН В.А. Крюкова, А.В. Толстова, В.П. Афанасьева, А.И. Кубышева, А.А. Корогодского, Я.В. Крюкова за совместную работу по тематике формирования подходов к интегрированию алмаз-лонсдейлитового сырья в экономические и технологические цепочки, результаты которой описаны в данной статье.

Статья подготовлена в рамках государственного задания ФАНО России по проекту XI.174.1.2 (0325-2017-0006) «Принципиальные подходы к формированию взаимосвязей основных участников процессов освоения минерально-сырьевых ресурсов Азиатской части России в условиях глобальных вызовов XXI века» № АААА–А17–117022250131–5

Список источников

1. Акбердина В.В., Душин А.В., Брянцева О.С. Формирование методологии оценки влияния технологического развития на изменение цепочек добавленной стоимости в процессе переработки минерального сырья // Вестник ЗабГУ. – 2014. – № 02 (105). – С. 94–106.

2. *Афанасьев В.П., Похиленко Н.П.* Попигайские импактные алмазы: новое российское сырье для существующих и будущих технологий // *Иноватика и экспертиза*. – 2013. – Вып. 1 (10). – С. 8–15.
3. *Варшавский А.Е.* О стратегии научно-технологического развития российской экономики // *Общество и экономика*. – 2017. – № 6. – С. 5–27.
4. *Ивантер В.В.* Перспективы восстановления экономического роста в России // *Вестник Российской академии наук*. – 2017. – Т. 87, № 1. – С. 15–28.
5. *Корогодский А.А.* Технологическая отсталость – в головах людей // *ЭКО*. – 2015. – № 3. – С. 5–13.
6. *Кравченко Н.А., Кузнецова С.А., Юсупова А.Т., Халимова С.Р., Балдина Н.П.* Развитие высокотехнологичного бизнеса в Сибири: проблемы и перспективы // *Регион: экономика и социология*. – 2018. – № 2 (98). – С. 168–193.
7. *Крюков В.А., Самсонов Н.Ю., Крюков Я.В.* Межрегиональные технологические цепочки в освоении Попигайского месторождения алмаз-лондейлитового сырья // *ЭКО*. – 2016. – № 8. – С. 51–66.
8. *Крюков В.А., Толстов А.В., Афанасьев В.П. и др.* Обеспечение российской промышленности высокотехнологичной сырьевой продукцией на основе гигантских месторождений Арктики – Томгорского ниобий-редкоземельного и Попигайского сверхтвердого абразивного материала // *Север и Арктика в новой парадигме мирового развития. Лузинские чтения – 2016: Мат. VIII Междунар. науч.-практ. конф. (Апатиты, 14–16 апреля 2016 г.)* / Под общ. ред. Е.П. Башмаковой, Е.Е. Торопушиной. – Апатиты: ИЭП КНЦ РАН, 2016. – С. 204–206.
9. *Масайтис В.Л.* Импактные алмазы Попигайской астроблемы: основные свойства и практическое применение // *Записки Российского минералогического общества*. – 2013. – Т. 142, № 2. – С. 1–10.
10. *Медведев Д.А.* Новая реальность: Россия и глобальные вызовы // *Вопросы экономики*. – 2015. – № 10. – С. 5–29.
11. *Медведев Д.А.* Россия-2024: Стратегия социально-экономического развития // *Вопросы экономики*. – 2018. – № 10. – С. 5–28.
12. *Николаев М.В., Григорьева Е.Э., Николаев А.М., Самсонов Н.Ю.* Алмаз-лондейлитовое сырье Попигайской астроблемы – новый вид высокотехнологичных материалов: формирование цены // *Инновации*. – 2017. – № 3. – С. 102–107.
13. *Отчет о результатах исследований по теме «Инструментальное исследование свойств импактных алмазов Попигайской астроблемы для целей их технического применения»* / ИГМ СО РАН, «Якутнипроалмаз» АК «АЛРОСА» (ПАО); сост. В.П. Афанасьев. – Новосибирск, 2015. – 289 с.
14. *Порошки, инструмент и пасты из синтетических алмазов: Каталог-справочник* / АН Украинской ССР; Ин-т сверхтвердых материалов им. В.Н. Бакуля; сост. Е.Б. Верник. – Киев: Наукова думка, 1981. – 143 с.

15. Похиленко Н.П., Афанасьев В.П., Толстов А.В., Ягольницер М.А. Импактные алмазы – новый вид высокотехнологичного сырья // ЭКО. – 2012. – № 12 (462). – С. 5–11.
16. Похиленко Н.П., Толстов А.В., Афанасьев В.П., Самсонов Н.Ю. Новые механизмы государственного управления минерально-сырьевой базой стратегических полезных ископаемых Арктической зоны Сибири и Дальнего Востока // Минеральные ресурсы России: экономика и управление. – 2016. – № 5. – С. 60–63.
17. Толстов А.В. Главные рудные формации севера Сибирской платформы. – М.: ИМГРЭ, 2006. – 212 с.
18. Толстов А.В. Минералогия и геохимия золота северо-запада Якутии и перспективы золоторудности Анабарского щита // Вестник Воронежского государственного университета. Сер.: Геология. – 1999. – № 8. – С. 194–197.
19. Юсупова А.Т. Высокотехнологичные компании-лидеры: устойчивость рыночных позиций, отраслевые и региональные особенности // Регион: экономика и социология. – 2017. – № 3. – С. 277–297.
20. Юсупова А.Т., Халимова С.Р. Характеристики, особенности развития, региональные и отраслевые детерминанты высокотехнологичного бизнеса в России // Вопросы экономики. – 2017. – № 12. – С. 142–154.
21. Aguiar de Medeiros C., Trebat N. Inequality and income distribution in global value chains // Journal of Economic Issues. – 2017. – No. 51 (2). – P. 401–408.
22. Brynjolfsson E., McAfee A. Race Against the Machine: How the Digital Revolution is Accelerating Innovation, Driving Productivity, and Irreversibly Transforming Employment and the Economy. – Lexington, MA: Digital Frontier Press, 2011.
23. Chen X. Performance evaluation of China's high-tech innovation process: Analysis based on the innovation value chain // Technovation. – 2018. – Vol. 74. – P. 42–53.
24. Daunfeldt S.O., Elert N., Johansson D. Are high-growth firms overrepresented in high-tech industries? // Industrial and Corporate Change. – 2015. – No. 25 (1). – P. 1–2.
25. Gereffi G., Humphrey J., Sturgeon T. The governance of global value chains // Review of International Political Economy. – 2005. – 12 (1). – P. 78–104.
26. Ohfuji H., Nakaya M., Yelisseyev A.P. et al. Mineralogical and crystallographic features of polycrystalline yakutite diamond // Journal of Mineralogical and Petrological Sciences. – 2017. – Vol. 112, Iss. 1. – P. 46–51.
27. Pomfret R., Sourdin P. Value chains in Europe and Asia: Which countries participate? // International Economic. – 2018. – Vol. 153. – P. 34–42.
28. Quentin D., Campling L. Global inequality chains: integrating mechanisms of value distribution into analyses of global production // Global Networks. – 2017. – No. 18 (1). – P. 33–56.
29. Robinson D.K.R., Propp T. Multi-path mapping for alignment strategies in emerging science and technologies // Technological Forecasting and Social Change. – 2008. – Vol. 75, Iss. 4. – P. 517–538.

30. *Stevens G.C., Johnson M.* Integrating the supply chain... 25 years on // International Journal of Physical Distribution & Logistics Management. – 2016. – No. 46 (1). – P. 19–42.

31. *Teece D.J.* Profiting from technological innovation: Implications for integration, collaboration, licensing and public policy // Research Policy. – 1986. – No. 15 (6). – P. 285–305.

32. *Timmer M.P., Erumban A.A., Los B. et al.* Slicing up global value chains // Journal of Economic Perspectives. – 2014. – No. 28 (2). – P. 99–118.

33. *Yelisseyev A.P., Afanasiev V.P., Panchenko A.V. et al.* Yakutites: Are they impact diamonds from the Popigai crater? // Lithos. – 2016. – No. 265. – P. 278–291.

Информация об авторе

Самсонов Николай Юрьевич (Россия, Новосибирск) – кандидат экономических наук, старший научный сотрудник. Институт экономики и организации промышленного производства СО РАН (630090, Новосибирск, просп. Акад. Лаврентьева, 17, e-mail: samsonov@ieie.nsc.ru).

DOI: 10.15372/REG20190108

Region: Economics & Sociology, 2019, No. 1 (101), p. 172–200

N.Yu. Samsonov

FORMING VALUE-ADDED CHAINS OF HIGH-TECH DIAMOND-LONSDALITE MINERAL RAW MATERIALS OF ARCTIC AS FACTORS OF GROWTH IN INDUSTRIAL EFFICIENCY

The paper proposes an approach to the formation of value-added chains of high-tech mineral raw materials of the Arctic (diamond-lonsdalite material) considered as factors of growth in industrial efficiency, primarily in instrumental industry. We use system methods of scientific research, economic analysis and evaluation of the investment project for the extraction and processing of this raw material with both standard (NPV, IRR, PI, DPBP) and unconventional (MIRR, EAA) efficiency indicators. The article shows

the features and characteristics of the raw materials; justifies approaches to creating value chains, producing and consuming diamond-lonsdalite material within the industry; estimates economic parameters of its production and consumption; systematizes regulated and unregulated problems and restrictions associated with the process of forming value-added chains. The results can be used in shaping the development strategy of certain sectors in a new high-tech domestic economy (high-performance tool industry), administering science and technology policy, implementing technology import substitution policy, and expanding export potential.

Keywords: the Arctic; the Popigai astrobleme; Krasnoyarsk Krai; the Republic of Sakha (Yakutia); super-abrasive rough diamonds; tools industry; innovation; technologies; value-added chains; import substitution; demand; consumption

The publication is prepared within the FASO Russia state assignment according to the project No. XI.174.1.2, 0325–2017–0006 «Principal approaches to the formation of interrelations of the main participants in the development of mineral resources in the Asian part of Russia amid the global challenges of the XX century», No. AAAA–A17–117022250131–5

References

1. Akberdina, V.V., A.V. Dushin & O.S. Bryantseva. (2014). Formirovanie metodologii otsenki vliyaniya tekhnologicheskogo razvitiya na izmenenie tsepochek dobavlennoy stoimosti v protsesse pererabotki mineralnogo syrya [The methodology formation of technologies development impact on the value chain estimation in the process of mineral raw material processing]. Vestnik ZabGU [Transbaikal State University Journal], 02 (105), 94–106.
2. Afanasiev, V.P. & N.P. Pokhilenko. (2013). Popigayskie impaktnye almazy: novoe rossiyskoe syrye dlya sushchestvuyushchikh i budushchikh tekhnologiy [Popigai impact diamonds: the new Russian raw materials for existing and future technologies]. Innovatika i ekspertiza [Innovatics and Expert Examination], 1 (10), 8–15.
3. Varshavskiy, A.E. (2017). O strategii nauchno–tekhnologicheskogo razvitiya rossiyskoy ekonomiki [On the strategy of scientific and technological development of the Russian economy]. Obshchestvo i ekonomika [Society and Economy], 6, 5–27.

4. *Ivanter, V.V.* (2017). Perspektivy vosstanovleniya ekonomicheskogo rosta v Rossii [Prospects of restoring the economic growth in Russia]. *Vestnik Rossiyskoy akademii nauk* [Herald of the Russian Academy of Sciences], Vol. 87, No. 1, 15–28.

5. *Korogodskiy, A.A.* (2015). Tekhnologicheskaya otstalost – v golovakh lyudey [The cause of Russian technological backwardness is in minds of people but not in machines]. *EKO*, 3, 5–13.

6. *Kravchenko, N.A., S.A. Kuznetsova, A.T. Yusupova, S.R. Khalimova & N.P. Baldina.* (2018). Razvitiye vysokotekhnologichnogo biznesa v Sibiri: problemy i perspektivy [High-tech business development in Siberia: problems and prospects]. *Region: ekonomika i sotsiologiya* [Region: Economics and Sociology], 2, 168–193.

7. *Kryukov, V.A., N.Yu. Samsonov & Ya.V. Kryukov.* (2016). Mezhhregionalnye tekhnologicheskie tsepy v osvoenii Popigayskogo mestorozhdeniyaalmaz–lonsdeylitovogo syrya [Formation of interregional process chains to improve the economic efficiency of developing Popigai diamond-lonsdalite raw materials deposit]. *EKO*, 8, 51–66.

8. *Kryukov, V.A., A.V. Tolstov, V.P. Afanasiev et al.; E.P. Bashmakova & E.E. Toropushina* (Eds.). (2016). Obespechenie rossiyskoy promyshlennosti vysokotekhnologichnoy syrevoy produktsiyey na osnove gigantskikh mestorozhdeniy Arktiki – Tomtorskogo niobiy-redkozemel'nogo i Popigayskogo sverkhtrverdogo abrazivnogo materiala [Providing the Russian industry with high-tech products based on the raw material from the giant deposits in the Arctic – Tomtor niobium-rare earth and Popigai superhard abrasive]. *Sever i Arktika v novoy paradigme mirovogo razvitiya. Luzinskic hteniya–2016: Mat. VIII Mezhdunar. nauch.-prakt. konf. (Apatity, 14–16 aprelya 2016 g.)* [North and the Arctic in the New Paradigm of Global Development. Luzin Readings-2016: Proceedings of the VIII International Science Conference (Apatity, April 14–16, 2016)]. Apatity, Luzin Institute for Economic Studies KSC RAS Publ., 204–206.

9. *Masaitis, V.L.* (2013). Impaktnye almazy Popigayskoy astroblemy: osnovnye svoystva i prakticheskoe primenenie [Impact diamonds of Popigai astrobleme: their principal features and industrial uses]. *Zapiski Rossiyskogo mineralogicheskogo obshchestva* [Proceedings of the Russian Mineralogical Society], Vol. 142, No. 2, 1–10.

10. *Medvedev, D.A.* (2015). Novaya realnost: Rossiya i globalnye vyzovy [A new reality: Russia and global challenges]. *Voprosy ekonomiki* [Problems of Economics], 10, 5–29.

11. *Medvedev, D.A.* (2018). Rossiya-2024: Strategiya sotsialno–ekonomicheskogo razvitiya [Russia-2024: The strategy of social and economic development]. *Voprosy ekonomiki* [Problems of Economics], 10, 5–28.

12. *Nikolaev, M.V., E.E. Grigoryeva, A.M. Nikolaev & N.Yu. Samsonov.* (2017). Almaz-lonsdeylitovoe syrye Popigayskoy astroblemy – novyy vid vysokotekhnologichnykh materialov: formirovanie tseny [Diamond-lonsdaleite new raw materials: price formation]. *Innovatsii* [Innovations], 3, 102–107.

13. *Otchet o rezultatakh issledovaniy po teme «Instrumentalnoe issledovanie svoystv impaktnykh almazov Popigayskoy astroblemy dlya tseyey ikh tekhnicheskogo primeneniya»* [Report on the Research Results of «The instrumental study on the properties of Popigai astrobleme impact diamonds for their technological application»]. (2015). V.S. Sobolev Institute of Geology and Mineralogy of the Russian Academy of Sciences, Yakutniproalmaz ALROSA Group. Compiled by V.P. Afanasiev. Novosibirsk, 289.

14. *Poroshki, instrument i pasty iz sinteticheskikh almazov: katalog-spravochnik* [Synthetic Diamond Powders, Tools and Pastes: a reference catalogue]. (1981). Academy of Sciences of the Ukrainian SSR; V. Bakul Institute for Superhard Materials; Compiled by E.B. Vernik. Kiev, Naukova Dumka Publ., 143.

15. *Pokhilenko, N.P., V.P. Afanasiev, A.V. Tolstov & M.A. Yagolnitsa*. (2012). *Impaktnye almazy – novyy vid vysokotekhnologichnogo syrya* [Impact Diamonds – a new kind of high-tech raw material]. EKO, 12 (462), 5–11.

16. *Pokhilenko, N.P., A.V. Tolstov, V.P. Afanasiev & N.Yu. Samsonov*. (2016). *Novye mekhanizmy gosudarstvennogo upravleniya mineralno-syryevoy bazoy strategicheskikh poleznykh iskopaemykh Arkticheskoy zony Sibiri i Dalnego Vostoka* [New mechanisms of state management of the mineral resource base of strategic minerals in the Arctic zone of Siberia and the Far East]. *Mineralnye resursy Rossii. Ekonomika i upravlenie* [Mineral Resources of Russia. Economics and Management], 5, 60–63.

17. *Tolstov, A.V.* (2006). *Glavnye rudnye formatsii Severa Sibirskoy platformy* [The Main Ore Formations of the North of the Siberian Platform]. Moscow, Institute of Mineralogy, Geochemistry and Crystal Chemistry of Rare Elements Publ., 212.

18. *Tolstov, A.V.* (1999). *Mineralogiya i geokhimiya zolota Severo-zapada Yakutii i perspektivy zolotorudnosti Anabarskogo shchita* [Mineralogy and geochemistry of gold in the north-western Yakutia and gold-bearing prospects of the Anabar Shield]. *Vestnik Voronezhskogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya: Geologiya* [Proceedings of Voronezh State University. Series: Geology], 8, 194–197.

19. *Yusupova, A.T.* (2017). *Vysokotekhnologichnye kompanii–lidery: ustoychivost rynochnykh pozitsiy, otraslevye i regionalnye osobennosti* [High-tech leaders: sustainability of their market positions, sectoral and regional characteristics]. *Region: ekonomika i sotsiologiya* [Region: Economics and Sociology], 3, 277–297.

20. *Yusupova, A.T. & S.R. Khalimova*. (2017). *Kharakteristiki, osobennosti razvitiya, regionalnye i otraslevye determinanty vysokotekhnologichnogo biznesa v Rossii* [Characteristics, features of development, regional and sectoral determinants of high-tech business in Russia]. *Voprosy ekonomiki* [Problems of Economics], 12, 142–154.

21. *Aguiar de Medeiros, C. & N. Trebat*. (2017). *Inequality and income distribution in global value chains*. *Journal of Economic Issues*, 51 (2), 401–408.

22. *Brynjolfsson, E. & A. McAfee*. (2011). *Race against the Machine: How the Digital Revolution is Accelerating Innovation, Driving Productivity, and Irreversibly Transforming Employment and the Economy*. Lexington, MA, Digital Frontier Press.

23. *Chen, X.* (2018). Performance evaluation of China's high-tech innovation process: Analysis based on the innovation value chain. *Technovation*, 74, 42–53.
24. *Daunfeldt, S.O., N. Elert & D. Johansson.* (2015). Are high-growth firms overrepresented in high-tech industries? *Industrial and Corporate Change*, 25 (1), 1–2.
25. *Gereffi, G., J. Humphrey & T. Sturgeon.* (2005). The governance of global value chains. *Review of International Political Economy*, 12 (1), 78–104.
26. *Ohfuji, H., M. Nakaya, A.P. Yelisseyev et al.* (2017). Mineralogical and crystallographic features of polycrystalline yakutite diamond. *Journal of Mineralogical and Petrological Sciences*, Vol. 112, Iss. 1, 46–51.
27. *Pomfret, R. & P. Sourdin.* (2018). Value chains in Europe and Asia: Which countries participate? *International Economic*, 153, 34–42.
28. *Quentin, D. & L. Campling.* (2017). Global inequality chains: integrating mechanisms of value distribution into analyses of global production. *Global Networks*, 18 (1), 33–56.
29. *Robinson, D.K.R. & T. Propp.* (2008). Multi-path mapping for alignment strategies in emerging science and technologies. *Technological Forecasting and Social Change*, Vol. 75, Iss. 4, 517–538.
30. *Stevens, G.C. & M. Johnson.* (2016). Integrating the supply chain... 25 years on. *International Journal of Physical Distribution & Logistics Management*, 46 (1), 19–42.
31. *Teece, D.J.* (1986). Profiting from technological innovation: Implications for integration, collaboration, licensing and public policy. *Research Policy*, 15(6), 285–305.
32. *Timmer, M.P., A.A. Erumban, B. Los et al.* (2014). Slicing up global value chains. *Journal of Economic Perspectives*, 28 (2), 99–118.
33. *Yelisseyev, A.P., V.P. Afanasiev, A.V. Panchenko et al.* (2016). Yakutites: Are they impact diamonds from the Popigai crater? *Lithos*, 265, 278–291.

Information about the author

Samsonov, Nikolay Yurievich (Novosibirsk, Russia) – Candidate of Sciences (Economics), Senior Researcher at the Institute of Economics and Industrial Engineering, Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences (17, Ac. Lavrentiev av., Novosibirsk, 630090, Russia, e-mail: samsonov@ieie.nsc.ru).

Поступила в редколлегию 02.07.2018.

После доработки 24.10.2018.

Принята к публикации 25.10.2018.