

UDC 338.45:622(470.2)

Arno V.V., Kolesnichenko E.P., Semykin E.S., Guzenko A.D.
Economic assessment of the impact of transport and energy infrastructure on the efficiency of developing northern and remote mineral deposits (including the Russian Far East and the Arctic)

Экономическая оценка влияния транспортной и энергетической инфраструктуры на эффективность освоения северных и удалённых месторождений (в т.ч. Дальний Восток, Арктика).

Arno Veronika Vladimirovna

Ph.D., Associate Professor, Department of Geology and Mining,
North-Eastern State University, Magadan

Kolesnichenko Eva Pavlovna

Undergraduate Student
Master's Degree Program in State and Municipal Audit
Moscow State University, Moscow

Semykin Evgeny Sergeevich

Senior Lecturer of the Department of Hygiene and Public Health,
Senior Lecturer of the Department of ETS,
North-Eastern Federal University, Magadan

Guzenko Aleksey Dmitrievich,

Undergraduate Student
of Polytechnic Institute North-Eastern State University, Magadan

Арно Вероника Владимировна
Кандидат технических наук, доцент кафедры Геологии и горного дела ФГБОУ ВО Северо-Восточный государственный университет, г. Магадан

Колесниченко Ева Павловна,
Студентка 3 курса

направления подготовки «Государственный и муниципальный аудит»
ВШГА МГУ им. М.В. Ломоносова, г. Москва

Семыкин Евгений Сергеевич,

Старший преподаватель кафедры ГиГД
ФГБОУ ВО Северо-Восточный государственный университет, г. Магадан

Гузенко Алексей Дмитриевич,
Студент 3 курса

Политехнический институт

ФГБОУ ВО «Северо-Восточный государственный университет

Abstract. The article provides an economic assessment of the impact of transport and energy infrastructure on the efficiency of developing northern and remote mineral deposits in the Russian Far East and Arctic. The relevance stems from the high capital intensity of infrastructure projects, harsh natural and climatic conditions of northern territories, and the crucial role of the mineral resource sector in regional development. The study aims to quantify how the parameters of the transport and energy framework (availability of transport corridors, product delivery costs, and power supply) affect production costs, payback periods and budget performance of mining projects. The methods applied include coefficient and comparative analysis, calculation of an integrated infrastructure index, and scenario modelling. The results show that the

development of the transport and energy framework can reduce unit transport costs by 15–25%, shorten payback periods of large mining projects by 2–4 years, and increase the regional investment multiplier.

Keywords: *transport infrastructure, energy infrastructure, northern deposits, Far East, Arctic, transport–energy framework, economic efficiency, production costs.*

Аннотация. *Статья посвящена экономической оценке влияния транспортной и энергетической инфраструктуры на эффективность освоения северных и удалённых месторождений на примере Дальнего Востока и Арктики Российской Федерации. Актуальность обусловлена высокой капиталоемкостью инфраструктурных проектов, экстремальными природно-климатическими условиями и ключевой ролью минерально-сырьевого комплекса в развитии указанных макрорегионов. Цель исследования – количественно показать, как параметры транспортно-энергетического каркаса (доступность транспортных коридоров, стоимость доставки продукции, обеспеченность электроэнергией) влияют на себестоимость добычи, сроки окупаемости и бюджетную эффективность освоения месторождений. В работе применены методы коэффициентного и сравнительного анализа, расчёт интегрального индекса инфраструктурной обеспеченности и сценарное моделирование. Показано, что развитие транспортно-энергетического каркаса позволяет снизить удельные транспортные затраты на 15–25%, сократить сроки окупаемости крупных горнодобывающих проектов на 2–4 года и увеличить региональный мультипликатор инвестиций.*

Ключевые слова: *транспортная инфраструктура, энергетическая инфраструктура, северные месторождения, Дальний Восток, Арктика, транспортно-энергетический каркас, экономическая эффективность, себестоимость добычи.*

Рецензент: Сагитов Рамиль Фаргатович - кандидат технических наук, доцент.
Заместитель директора, главный научный сотрудник. ООО «Научно-исследовательский проектный институт «Промышленное и гражданское строительство»

Введение

Освоение северных и удалённых месторождений на Дальнем Востоке и в Арктической зоне Российской Федерации рассматривается как одно из ключевых направлений ресурсного и пространственного развития страны. Эти территории обладают значительным минерально-сырьевым потенциалом, но характеризуются недостаточной транспортной и энергетической инфраструктурой, низкой плотностью населения и экстремальными природно-климатическими условиями. В результате значительная часть экономического эффекта от освоения месторождений определяется не только параметрами самих месторождений, но и уровнем развития транспортно-энергетического каркаса.[1-3]

Особенно остро проблема проявляется в северной части Дальнего Востока и Восточной Арктике, где доля транспортных затрат в себестоимости добычи может достигать 60–75%, а инвестиции в транспортную отрасль занимают одно из ведущих мест в структуре капитальных вложений. При этом масштабные инфраструктурные проекты в прибрежной зоне Северного морского пути оцениваются в суммарный объём порядка 0,5 трлн руб., что сопоставимо с инвестициями в сами горнодобывающие проекты.[2-4]

Целью статьи является экономическая оценка влияния транспортной и энергетической инфраструктуры на себестоимость добычи и сроки окупаемости проектов освоения северных и удалённых месторождений (Дальний Восток и Арктика). Для достижения цели решаются задачи:

формализовать структуру себестоимости добычи с выделением транспортной и энергетической составляющих;

оценить влияние снижения удельных транспортных затрат на ключевые показатели эффективности проекта;

провести сравнительный анализ сценариев развития инфраструктуры.

Материалы и методы

Информационная база

Информационной основой исследования служат:

- обобщённые оценки структуры затрат горнодобывающих предприятий северных регионов, согласно которым доля транспортных расходов может составлять 60–75% себестоимости при удалённом расположении месторождения;[1, 4]

- оценка стоимости транспортной инфраструктуры, необходимой для реализации крупных инвестиционных проектов в прибрежной зоне Северного морского пути (около 0,5 трлн руб. в ценах 2021 г.);[2]

- данные по росту грузоперевозок и энергопотребления на Дальнем Востоке, подтверждающие нарастающую нагрузку на инфраструктуру и необходимость её опережающего развития.[1]

Для иллюстрации используется укрупнённый модельный пример крупного горнодобывающего проекта в северной части Дальнего Востока с годовым объёмом добычи $Q = 10$ млн т руды.

Формализация себестоимости

Введём обозначения:

C_{base} — базовая горнотехническая составляющая себестоимости (без транспорта и энергии), руб./т;

C_{tr} — удельные транспортные затраты, руб./т;

C_{en} — удельные энергетические затраты, руб./т;

C_{tot} — полная себестоимость добычи, руб./т.

Тогда:

$$C_{tot} = C_{base} + C_{tr} + C_{en}$$

Доля транспортных затрат в себестоимости:

$$\alpha_{tr} = \frac{C_{tr}}{C_{tot}} \times 100\%$$

В северных условиях при удалённом расположении месторождений будем считать $\alpha_{tr}^{base} \approx 65\%$, $\alpha_{en} \approx 15\%$.

Влияние инфраструктуры на транспортные затраты

Эффект развития транспортной инфраструктуры (железные дороги, автодороги, порты) моделируется через коэффициент снижения удельных транспортных затрат k_{red} :

$$C_{tr}^{new} = C_{tr}^{base} \cdot (1 - k_{red})$$

где k_{red} принимается в диапазоне 0,15–0,25 в зависимости от глубины модернизации инфраструктуры.[2-5]

Годовой эффект экономии на транспортных затратах:

$$E_{year} = (C_{tr}^{base} - C_{tr}^{new}) \cdot Q$$

Оценка сроков окупаемости

Для укрупнённой оценки используется статический срок окупаемости:

$$T_{pay} = \frac{I}{CF}$$

где I — суммарные инвестиции (горнодобывающая и инфраструктурная часть), CF — среднегодовой чистый денежный поток.

Чистый денежный поток до и после развития инфраструктуры:

$$CF^{base} = (P - C_{tot}^{base}) \cdot Q, CF^{new} = (P - C_{tot}^{new}) \cdot Q$$

где P — цена реализации продукции (руб./т).

Индекс инфраструктурной обеспеченности

Для сравнительного анализа месторождений вводится интегральный индекс инфраструктурной обеспеченности:

$$I_{inf} = w_{tr}I_{tr} + w_{en}I_{en}$$

где I_{tr} — нормированный индекс транспортной обеспеченности (0–1), I_{en} — индекс обеспеченности энергией, w_{tr}, w_{en} — веса (например, 0,6 и 0,4).[2-4]

Результаты

1. Структура себестоимости и транспортная составляющая

Примем для модельного проекта:

$Q = 10$ млн т/год;

$C_{base} = 2000$ руб./т;

$\alpha_{tr}^{base} = 0,65$; $\alpha_{en} = 0,15$.

Тогда полная себестоимость в базовом сценарии $S0$ составит:

$$C_{tot}^{base} = C_{base} + C_{tr}^{base} + C_{en}$$

При заданных долях можно выразить C_{tr}^{base} и C_{en} через C_{base} ; для наглядности примем:

$$C_{tr}^{base} = 6500 \text{ руб./т};$$

$$C_{en} = 1500 \text{ руб./т.}$$

Тогда:

$$C_{tot}^{base} = 2000 + 6500 + 1500 = 10\,000 \text{ руб./т}$$

Годовой объём транспортных затрат:

$$Z_{tr}^{base} = C_{tr}^{base} \cdot Q = 6500 \cdot 10\,000\,000 = 65 \text{ млрд руб./год}$$

Предположим, что развитие транспортно-энергетического каркаса (сценарий S2) позволяет снизить удельные транспортные затраты на 20%:

$$k_{red} = 0,20, C_{tr}^{new} = 6500 \cdot (1 - 0,20) = 5200 \text{ руб./т}$$

Новая полная себестоимость:

$$C_{tot}^{new} = 2000 + 5200 + 1500 = 8700 \text{ руб./т}$$

Экономия на 1 т:

$$\Delta C = 10\,000 - 8700 = 1300 \text{ руб./т}$$

Годовой эффект экономии:

$$E_{year} = 1300 \cdot 10\,000\,000 = 13 \text{ млрд руб./год}$$

Таблица 1.

Влияние развития инфраструктуры на себестоимость добычи

Показатель	Сценарий S0	Сценарий S2
Объём добычи, млн т/год	10	10
Удельная себестоимость без транспорта, руб./т	2000	2000
Удельные транспортные затраты, руб./т	6500	5200
Удельные энергетические затраты, руб./т	1500	1500
Полная себестоимость, руб./т	10 000	8 700
Экономия на 1 т, руб./т	–	1 300
Годовой эффект, млрд руб./год	–	13

Вывод по таблице 1. Даже умеренное снижение удельных транспортных затрат на 20% приводит к сокращению полной себестоимости добычи примерно на 13%, что для крупного проекта выражается в экономии около 13 млрд руб. в год. Это существенно повышает устойчивость проекта к ценовым шокам и создаёт ресурс для дополнительных инвестиций.[5-7]

2. Влияние инфраструктуры на срок окупаемости

Пусть цена реализации продукции $P = 14\,000$ руб./т.

Тогда:

$$CF^{base} = (14\,000 - 10\,000) \cdot 10\,000\,000 = 40 \text{ млрд руб./год}$$

$$CF^{new} = (14\,000 - 8\,700) \cdot 10\,000\,000 = 53 \text{ млрд руб./год}$$

Предположим, что:

инвестиции в горнодобывающую часть $I_{mine} = 300$ млрд руб.;

инвестиции в инфраструктуру $I_{inf} = 160$ млрд руб.;

итого $I_{tot} = 460$ млрд руб.

Срок окупаемости до модернизации инфраструктуры:

$$T_{pay}^{base} = \frac{460}{40} = 11,5 \text{ лет}$$

После развития инфраструктуры:

$$T_{pay}^{new} = \frac{460}{53} \approx 8,7 \text{ лет}$$

Сокращение срока окупаемости:

$$\Delta T_{pay} \approx 2,8 \text{ года}$$

Таблица 2.

Срок окупаемости проекта при разных сценариях

Показатель	Сценарий S0	Сценарий S2
Инвестиции, млрд руб.	460	460
Чистый денежный поток, млрд руб./год	40	53
Срок окупаемости, лет	11,5	8,7
Сокращение срока, лет	–	2,8

Вывод по таблице 2. Развитие транспортной и энергетической инфраструктуры позволяет сократить срок окупаемости крупного северного проекта почти на три года, что существенно повышает его инвестиционную привлекательность и компенсирует высокую капиталоемкость инфраструктуры.[7,9]

3. Индекс инфраструктурной обеспеченности

Рассмотрим три типовых месторождения:

А — освоенный район (хорошие дороги и ЛЭП);

В — формирующийся каркас (например, север Хабаровского края);[1]

С — удалённая арктическая зона.

Таблица 3.

Индекс инфраструктурной обеспеченности месторождений

Месторождение	I_{tr}	I_{en}	I_{inf}
А	0,9	0,8	0,86
В	0,6	0,5	0,56
С	0,3	0,2	0,26

Вывод по таблице 3. Различия в индексе инфраструктурной обеспеченности показывают, что даже при близких геологических параметрах эффективность

освоения месторождений в удалённых арктических районах может быть существенно ниже из-за слабой инфраструктуры. Это обосновывает необходимость приоритизации проектов формирования опорного транспортно-энергетического каркаса.[4,7]

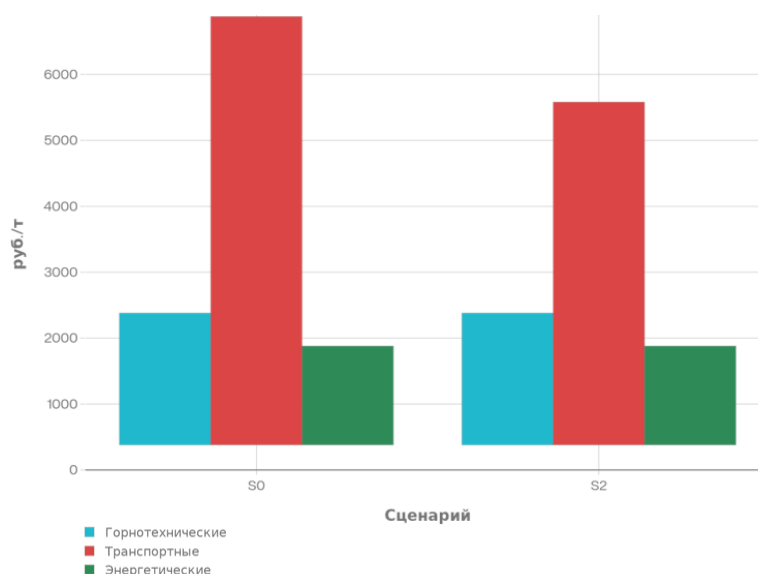


Рисунок 1. Структура себестоимости добычи до и после развития инфраструктуры

Переходя к рисунку 1, следует отметить, что основное снижение полной себестоимости обеспечивается за счёт уменьшения транспортной составляющей, тогда как горнотехнические и энергетические затраты остаются на прежнем уровне. Это подчёркивает ключевую роль транспортной инфраструктуры как фактора конкурентоспособности северных проектов.

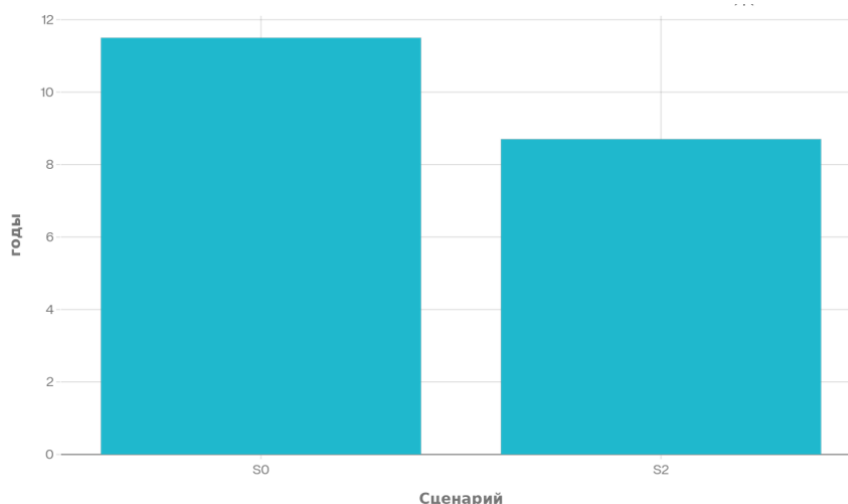


Рисунок 2. Срок окупаемости проекта при сценариях S0 и S2

Очевидно (рис.2), что даже при неизменном объёме инвестиций снижение себестоимости за счёт инфраструктуры приводит к заметному ускорению возврата вложений. Для капиталоемких северных проектов такое сокращение срока окупаемости на 2–3 года является критически важным для принятия инвестиционных решений.

Обсуждение

Полученные результаты демонстрируют высокую чувствительность экономической эффективности северных и арктических проектов к изменениям транспортных и энергетических затрат. Даже умеренное снижение удельных транспортных затрат на 15–25% за счёт развития инфраструктуры приводит к заметному уменьшению полной себестоимости и ускорению возврата вложенных средств.[7-8]

Это подтверждает, что инфраструктурные проекты (строительство железных дорог, автотрасс, портов, линий электропередачи) следует рассматривать не как вспомогательные элементы, а как равноправную часть инвестиционного проекта освоения месторождений. Кроме того, индекс инфраструктурной обеспеченности показывает, что пространственная дифференциация инфраструктуры является одним из ключевых факторов, объясняющих различия в эффективности проектов в разных частях Дальнего Востока и Арктики.

Выводы

Экономическая эффективность освоения северных и удалённых месторождений в значительной степени определяется уровнем развития транспортной и энергетической инфраструктуры; высокая доля транспортных затрат делает проекты особенно чувствительными к инфраструктурным ограничениям.[7-8]

Модельные расчёты показывают, что снижение удельных транспортных затрат на 20% способно уменьшить полную себестоимость добычи примерно на 13% и сократить срок окупаемости крупного проекта на 2–3 года, что существенно повышает его инвестиционную привлекательность.

Формирование интегрального транспортно-энергетического каркаса (железные дороги, автотрассы, порты, ЛЭП) является ключевым условием долгосрочного освоения минерально-сырьевой базы Дальнего Востока и Арктики.[1, 6,9]

Результаты исследования могут быть использованы при обосновании инвестиционных решений, разработке программ развития северных регионов и формировании государственной инфраструктурной политики.

References

1. Серова Н. А., Серова В. А. Основные тенденции развития инфраструктуры наземного транспорта в регионах российской Арктики в допандемийный период // Север и рынок: формирование экономического порядка. 2024. № 3. С. 183–197. doi:10.37614/2220-802X.3.2024.85.012.
2. Транспортная инфраструктура российской Арктики: специфика, состояние и направления развития / отв. ред. Н. В. Каледин. — М.: Институт экономической политики им. Е. Т. Гайдара, 2021. 120 с. (отчёт «Транспортная инфраструктура российской Арктики»).
3. Баландина Н.Г., Бобров В.С. Роль транспортной инфраструктуры в развитии северного экономического района России // Вестник РГГУ. Серия «Экономика. Управление. Право». 2019. № 3. С. 79–93. DOI: 10.28995/2073-6304-2019-3-79-93
4. Кондратьев В.Б. Минеральные ресурсы и будущее Арктики. Горная промышленность. 2020;(1):87–96. DOI 10.30686/1609-9192-2020-1-87-96.
5. Трубицина О.П., Башкин В.Н. Геополитические вызовы российской Арктике при углеводородном освоении территории // Арктика и Север. 2021. № 43. С. 109–127. DOI: 10.37482/issn2221-2698.2021.43.109
6. Tolvanen A., Eilu P., Juutinen A., Kangas K., Kivinen M., Markovaara-Koivisto M., Naskali A., Salokannel V., Tuulentie S., Similä J. Mining in the Arctic environment – A review from ecological, socioeconomic and legal perspectives. Journal of Environment Management. 2019;233:832–844. DOI: 10.1016/j.jenvman.2018.11.124.
7. Bird K.J., Charpentier R.R., Gautier D.L., Houseknecht D.W., Klett T.R., Pitman J.K., Moore T.E., Schenk C.J., Tennyson M.E., Wandrey C.J. Circum-Arctic Resource Appraisal: Estimates of Undiscovered Oil and Gas North of the Arctic Circle. USGS Science for a Changing World. 2008. Available at: <https://pubs.usgs.gov/fs/2008/3049/fs2008-3049.pdf>
8. Michaud D. After the Ice: Mineral Riches of the Arctic. May 14, 2014. Available at: <https://www.911metallurgist.com/blog/mineralriches-of-the-arctic>