

УДК 330.101.8

DOI: 10.18384/2310-6646-2022-3-79-88

## МОДЕЛЬ СО-ФИНАНСИРОВАНИЯ ФОРМИРОВАНИЯ ИНФРАСТРУКТУРЫ РАЗВИТИЯ АРКТИЧЕСКИХ ЗОН РОССИИ

**Новоселов А. Л.<sup>1</sup>, Новоселова И. Ю.<sup>2,3</sup>, Желтенков А. В.<sup>4</sup>**

<sup>1</sup> Российский экономический университет имени Г. В. Плеханова  
117997, г. Москва, Стремянный пер., д. 36, Российская Федерация

<sup>2</sup> Финансовый университет при Правительстве Российской Федерации  
125993, г. Москва, Ленинградский пр-т, д. 49, Российская Федерация

<sup>3</sup> Российский государственный университет нефти и газа (национальный исследовательский университет) имени И. М. Губкина  
119991, г. Москва, Ленинский пр-т, д. 65, Российская Федерация

<sup>4</sup> Московский государственный областной университет  
141014, Московская обл., г. Мытищи, ул. Веры Волошиной, д. 24, Российская Федерация

### Аннотация

**Цель.** Состоит в разработке экономико-математической модели, позволяющей определить вклад со-инвесторов инфраструктурных проектов развития арктических регионов России.

**Процедура и методы.** Разработка критерия оптимальности и системы ограничений, позволяющих обеспечить адекватное отображение оптимального набора компенсационных проектов, обеспечивающих удовлетворение интересов населения. В ограничениях модели учитываются фактор времени, возможности каждого потенциального инвестора, искомый вклад в рассматриваемые инфраструктурные проекты и др.

**Результаты.** Одновременный учёт возможностей финансирования потенциальных инвесторов, требуемых затрат на реализацию инфраструктурных проектов, фактора времени, а также очередности реализации проектов. Для каждого из инвесторов оценивается прибыль от участия в проекте, которая используется при построении векторного критерия оптимальности.

**Теоретическая и/или практическая значимость.** Приведение разработанной многокритериальной модели к стандартной модели линейного программирования благодаря прозрачности выполнения экспертных процедур и обработки полученных оценок, а также благодаря простоте экономико-математической модели. Модель достаточно гибкая – позволяет учитывать любой горизонт планирования, не зависит от количества инвесторов и числа проектов. Такая гибкость позволяет развивать инфраструктурные проекты любого арктического региона России.

**Ключевые слова:** доленое инвестирование, горизонт расчёта, затраты на проект, очередность проектов, критерий оптимальности, вклад инвесторов, оптимизация

## A MODEL FOR CO-FINANCING THE INFRASTRUCTURE DEVELOPMENT IN RUSSIA'S ARCTIC ZONES

**A. Novoselov<sup>1</sup>, I. Novoselova<sup>2,3</sup>, A. Zheltenkov<sup>4</sup>**

<sup>1</sup> Plekhanov Russian University of Economics  
36, Stremyanny per., Moscow, 117997, Russian Federation

<sup>2</sup> Financial University under the Government of the Russian Federation  
49, Leningradsky prosp., Moscow, 125993, Russian Federation

<sup>3</sup> National University of Oil and Gas «Gubkin University»  
65, Leninsky prosp., Moscow, 119991, Russian Federation

<sup>4</sup> Moscow Region State University  
24, Very Voloshinoy ul., Mytishi, 141014, Russian Federation

© СС BY Новоселов А. Л., Новоселова А. Л., Желтенков А. В., 2022.

### **Abstract**

**Aim** is to develop an economic and mathematical model to determine the contribution of co-investors in infrastructure projects for the development of Russia's Arctic regions.

**Methodology.** The development of an optimality criterion and a system of constraints to ensure an adequate mapping of the optimal set of compensation projects to meet the interests of the population. The constraints of the model consider the time factor, the capabilities of each potential investor, the sought-after contribution to the infrastructure projects under consideration, etc.

**Results.** The simultaneous consideration of the financing possibilities of potential investors, the required costs for the implementation of infrastructure projects, the time factor, as well as the order of implementation of projects. For each of the investors estimated profit from participation in the project, which is used in the construction of the vector criterion of optimality.

**Research implications** are in bringing the developed multi-criteria model to the standard linear programming model due to the transparency of procedures for performing expert procedures and processing the resulting evaluations, as well as the simplicity of the economic-mathematical model. The model is flexible enough to allow for any planning horizon, independent of the number of investors and number of projects. This flexibility makes it possible to develop infrastructure projects in any Arctic region of Russia.

**Keywords:** equity investment, calculation horizon, project costs, project prioritization, optimality criterion, investors' contribution, optimization.

### **Введение**

Успешное освоение арктических регионов России, являющихся кладовой углеводородного сырья и руд цветных и редкоземельных материалов, во многом зависит от создания развитой инфраструктуры [4; 7]. В рамках инфраструктурных проектов в арктических регионах создаются, наряду с добывающими и предприятиями первичной переработки, транспортные предприятия, причалы на реках и заливах морей с необходимыми сооружениями для осуществления погрузочно-разгрузочных работ, железнодорожные пути, автомобильные дороги, предприятия по производству электроэнергии (включая мини-АЭС, ПАТЭС, дизельные электростанции и др.), магазины (торговые центры), предприятия связи (включая интернет), аэропорты, медицинские учреждения и т. д.

Создание развитой инфраструктуры является неотъемлемой частью национальных проектов, направленных на освоение арктических регионов Российской Федерации и залогом успешной работы коллективов добывающих предприятий. В то же время создание инфраструктуры в арктической зоне приведёт к дальнейшей положительной динамике развития этих регионов, созданию предприятий местной промышленности, освоению новых технологий в области рыболовства и рыбоводства и т.д. Инфраструктурные проекты требуют значительных инвестиций, поскольку реализуются в суровых северных условиях, требуют для реализации значительного времени. К наиболее затратным инфраструктурным проектам относятся строительство железнодорожных путей: Северного широтного хода, который позволит соединить Северную железную дорогу со Свердловской железной дорогой; дороги Бованенков – Сабетта, которая является продолжением Северного широтного хода с портом Сабетта на полуострове Ямал; Мурманского транспортного узла, позволяющий создать удобный угольный и нефтяной терминалы на берегу Кольского залива; железной дороги «Белкомур», которая обеспечит выход к Белому морю регионов Пермского края и Республики Коми; железной

дороги «Баренцкомур», которая обеспечит доступ к порту Инидига с регионами Республики Коми, Свердловской области и Сургута. Вместе с тем, требуется создание мощного ледокольного флота, причём первенцы проекта 22220 уже сошли со стапеля (ледоколы Арктика, Сибирь, Урал) и ещё два ледокола этого проекта достраиваются, а ещё более современные (три ледокола проекта Лидер) будут построены к 2027 г. Этот ледокольный флот обеспечит круглогодичное проведение караванов судов по Северному морскому пути и перевозку грузов из портов арктических регионов России. Рост загрузки Северного морского пути<sup>1</sup> (рис. 1) в большей степени обеспечивается за счёт транспортировки углеводородного сырья [5].

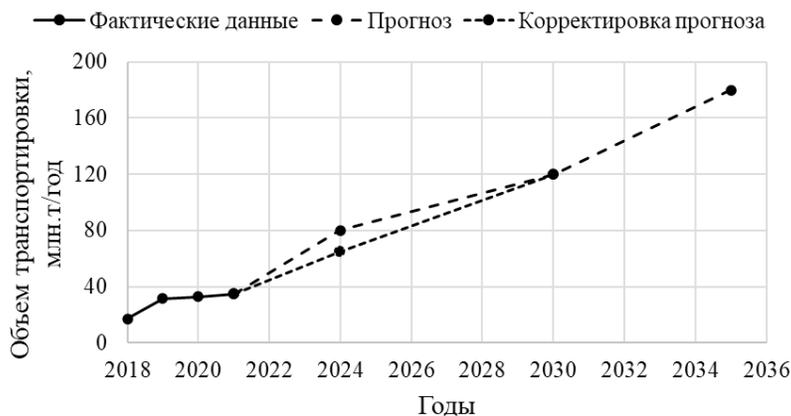


Рис. 1 / Fig. 1. Рост транспортировки грузов по Северному морскому пути / Growth of cargo transportation along the Northern Sea Route

Источник: составлено авторами.

Корректировки в планы вносятся в связи с падением мирового производства, обусловленным пандемией. При этом узким местом для достижения плановых объёмов перевозок во многом являются инфраструктурные проекты, в т. ч. строительство в Енисейском заливе, включая расширение порта, строительство новых терминалов, обеспечивающего флота и др. Чрезвычайно важными проектами, которые уже начали реализовываться, являются строящиеся и запускаемые в эксплуатацию мини-АЭС для населенных пунктов и предприятий арктических регионов. Важно не допустить переноса сроков выполнения проектов вследствие недофинансирования или отсутствия технологий и оборудования, которое создаётся в рамках импортозамещения.

Таким образом, поиск оптимального вклада со-инвесторов инфраструктурных проектов [3] должен учитывать заданные сроки их выполнения, требуемые для реализации проектов затраты. Сроки проектов с учётом их очередности задаются сетевым графиком и могут быть представлены графиком Ганта [1; 2]. Модель должна включать требуемые затраты на проекты в привязке к заданным срокам реализации, а также финансовые возможности потенциальных со-инвесторов, отражать их интересы, т. е. прибыль с учётом инвестиционного вклада.

<sup>1</sup> Указ Президента РФ от 26.10.2020 № 645 (ред. от 12.11.2021) «О Стратегии развития Арктической зоны Российской Федерации и обеспечения национальной безопасности на период до 2035 года»

### Модель поиска оптимального вклада со-инвесторов

В модели рассматриваются инфраструктурные проекты  $k = 1, 2, \dots, K$ , для которых заданы сроки выполнения – время начала  $T_k^H$  и окончания  $T_k^O$  строительства. В период строительства затраты принимаются на уровне  $Z_k$ , а прибыль от функционирования проектов –  $P_k$ . Задача состоит в отыскании доли вклада инвесторов  $s = 1, 2, \dots, S$  в обеспечение затрат на реализацию инфраструктурных проектов  $x_{ks}$  в пределах инвестиционных возможностей  $B_{s\tau}$  в период строительства  $\tau = T_k^i, T_k^o$ . Это условие позволяет сформировать ограничение по инвестиционным возможностям в указанный период для каждого инвестора:

$$\sum_{k=1}^K Z_k x_{ks} \leq B_{s\tau}, \quad s = \overline{1, S}, \quad \tau = \overline{T_k^H, T_k^O} \quad (1)$$

Следует отметить, что искомая доля финансирования  $x_{ks}$  остаётся неизменной для периода строительства инфраструктурного объекта (реализации проекта)  $\tau = \overline{T_k^i, T_k^o}$ .

Суммарный вклад каждого инвестора в долях не должен превышать единицы (в противном случае объём инвестирования превысит потребность финансирования проекта  $Z_k$ ). Поэтому для каждого инвестиционного проекта необходимо записать ограничение:

$$\sum_{s=1}^S x_{ks} \leq 1, \quad k = \overline{1, K}, \quad (2)$$

Система ограничений должна быть дополнена естественным пределом изменения искомых долей финансирования, регламентирующими их нижнюю границу:

$$x_{ks} \geq 0, \quad k = \overline{1, K}, \quad s = \overline{1, S} \quad (3)$$

Верхняя граница  $x_{ks}$  равна единице, но вводить такое ограничение не имеет смысла, поскольку верхний предел искомых переменных обеспечивается выполнением ограничения (2).

В качестве целевой функции в формируемой модели для каждого потенциального инвестора целесообразно записать максимизацию прибыли. Для привлечения как можно большего числа инвесторов с целью повышения надёжности инвестирования, целесообразно воспользоваться максимизацией прибыли для каждого потенциального инвестора и выравнять прибыль, которую они могут получить с учётом их вклада в обеспечение затрат на реализацию инфраструктурных проектов. В этом случае следует записать минимаксную целевую функцию следующего вида:

$$\min_{s=1,2,\dots,S} \left\{ \sum_{k=1}^K P_k x_{ks} \right\} \rightarrow \max \quad (4)$$

Поскольку целевая функция является минимаксной [6] и не может быть реализована непосредственно для решения задачи без дополнительного преобразования, в качестве такого преобразования необходимо воспользоваться преобразованием Гермейера и следует ввести дополнительную переменную  $\alpha$ , имеющую смысл минимальной суммарной прибыли от участия в реализации инфраструктурных проектов инвесторов  $s = 1, S$ . Тогда критерий оптимальности эквивалентной задачи будет состоять в максимизации  $\alpha$ :

$$\alpha \rightarrow \max \quad (5)$$

Условие равенства  $\alpha$  минимальной суммарной прибыли от участия в реализации инфраструктурных проектов инвесторов можно заменить на неравенство и записать дополнительную систему ограничений:

$$\alpha \leq \sum_{k=1}^K P_k x_{ks}, \quad s = \overline{1, S} \quad (6)$$

В результате получена замена целевой функции (4) на критерий (5) и ограничение (6). Таким образом сформирована требуемая экономико-математическая модель, позволяющая провести поиск оптимального вклада инвесторов в реализацию инфраструктурных проектов с учётом заданных сроков их реализации.

### Пример практической реализации разработанной модели

В качестве численного примера рассмотрим три проекта, сроки реализации которых представлены на графике Ганта (рис. 2).

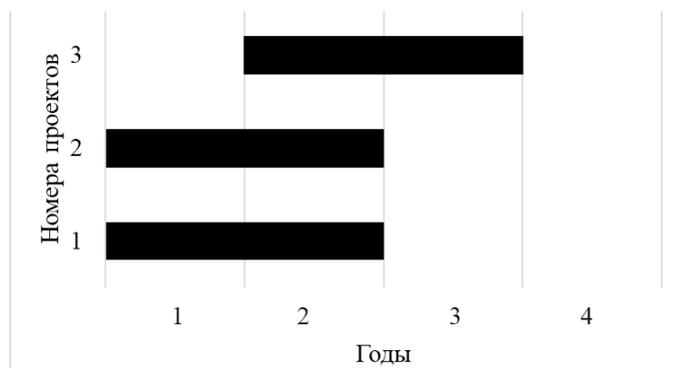


Рис. 2. / Fig. 2. График Ганта реализации проектов / Gantt chart of project implementation

Источник: составлено авторами.

Из графика видно, что проекты 1 и 2 выполняются параллельно в течение первого и второго годов, проект 3 выполняется в течение двух лет, начиная со второго года. Ожидаемая годовая прибыль от реализации проектов составляет:

- проект 1–25 млн. руб/год;
- проект 2–20 млн. руб/год;
- проект 3–40 млн. руб/год.

Затраты на проекты, которые реализуются в сроки, отражённые на графике Ганта, изменяются по годам и представлены в табл. 1.

Таблица 1 / Table 1

**Затраты на реализацию проектов в динамике / Project costs in dynamics**

Годы	Затраты на реализацию проектов, млн руб.		
	Проект 1	Проект 2	Проект 3
1	33	16	-
2	24	21	23
3	-	-	18

*Источник:* составлено авторами.

Инвесторы имеют предельные возможности финансирования, которые изменяются по годам. Численные значения предельных возможностей финансирования приведены в табл. 2.

Таблица 2. / Table 2

**Возможности со-финансирования проектов по годам / Project co-financing opportunities by year**

Годы	Предельные возможности финансирования, млн. руб/год	
	Инвестор 1	Инвестор 2
1	27	29
2	30	38
3	10	14

*Источник:* составлено авторами.

Приведённые численные значения параметров, характеризующих сроки и требуемые затраты на реализацию проектов, а также финансовые возможности инвесторов позволяют сформировать численные виды модели (1–3, 5, 6). Искомыми параметрами полученной модели являются: доли финансирования проектов первым инвестором:  $x_1, x_2, x_3$ ; доли финансирования проектов первым инвестором –  $x_4, x_5, x_6$ . Критерий оптимальности модели (5):  $\alpha \rightarrow \max$

Ограничения вида (6) для рассматриваемого примера записываются следующим образом:

$$\text{для инвестора 1} - \alpha \leq 25x_1 + 20x_2 + 40x_3$$

$$\text{для инвестора 2} - \alpha \leq 25x_4 + 20x_5 + 40x_6$$

Система ограничений вида (1) по предельным объёмам финансирования записывается для каждого инвестора по годам:

Для инвестора 1 получаем

$$\begin{aligned} 33x_1 + 16x_2 &\leq 27 \\ 24x_1 + 21x_2 + 23x_3 &\leq 30 \\ 18x_3 &\leq 10 \end{aligned}$$

Для инвестора 2 имеем

$$\begin{aligned} 33x_4 + 16x_5 &\leq 29 \\ 24x_4 + 21x_5 + 23x_6 &\leq 38 \\ 18x_6 &\leq 14 \end{aligned}$$

Ограничения (2) по верхнему значению суммарных долей финансирования для каждого проекта:

$$\begin{aligned} x_1 + x_4 &\leq 1 \\ x_2 + x_5 &\leq 1 \\ x_3 + x_6 &\leq 1 \end{aligned}$$

Ограничения (3) регламентирует неотрицательность искомых неизвестных:

$$x_k \geq 0, k = 1, 2, \dots, 6$$

Решение задачи на основе полученной модели линейного программирования позволяет найти оптимальное долевое инвестирование в разрабатываемые проекты (табл. 3).

Таблица 3 / Table 3

**Результаты оптимизационного расчета / Results of optimization calculation**

Инвесторы	Доля участия инвесторов в финансировании проектов		
	Проект 1	Проект 2	Проект 3
Инвестор 1	0,72	0,00	0,56
Инвестор 2	0,28	1,00	0,44
Сумма	1,00	1,00	1,00

Источник: составлено авторами.

Поскольку сумма долей финансирования для каждого проекта равна единице, оба инвестора полностью закрывают финансирование рассматриваемых проектов. Воспользовавшись найденным оптимальным решением (табл. 2) и требуемыми объёмами затрат на рассматриваемые проекты (табл. 1), не сложно определить объёмы финансирования проектов каждым из инвесторов (табл. 4).

Таблица 4 / Table 4

**Объемы финансирования проектов на основе найденного оптимального участия инвесторов / Volumes of project financing based on the found optimal participation of investors**

Годы	Финансирование проекта 1, млн.руб		Финансирование проекта 1, млн руб		Финансирование проекта 1, млн руб	
	инвесторы		инвесторы		инвесторы	
	1	2	1	2	1	2
1	23,68	9,32	0,00	16,00	0,00	0,00
2	17,22	6,78	0,00	21,00	12,78	10,22
3	0,00	0,00	0,00	0,00	10,00	8,00

*Источник:* составлено авторами.

Полученные результаты можно сопоставить с требуемыми затратами на реализацию проектов в динамике (табл. 1) и возможностями предельного инвестирования (табл. 2). Заметим, что ограничения (2) выполняются для всех проектов на строгое равенство. Это означает, что привлечённые со-инвесторы полностью финансируют реализацию анализируемых инфраструктурных проектов. Такой анализ даёт возможность установить, что заданные ограничения не нарушены и задача поиска оптимального долевого со-инвестирования решена корректно.

### Заключение

Разработанный механизм определения долевого финансирования является весьма гибким, поскольку его можно использовать при любом числе проектов и инвесторов, можно учитывать технологическую последовательность реализации проектов, различную продолжительность выполнения проектов и горизонт расчёта. Анализируемые инфраструктурные проекты могут относиться к различным отраслям экономики. Проведённые расчеты для ряда пилотных регионов позволили получить оптимальные варианты долевого со-финансирования инфраструктурных проектов. Для выполнения таких расчётов авторами был разработан программный комплекс, который позволяет формировать исходную информацию в виде отдельных информационных таблиц, проводить поиск оптимального долевого финансирования, выполнять построение графиков финансирования разными инвесторами в динамике на заданный горизонт расчёта.

*Статья поступила в редакцию 15.06.2022.*

### ЛИТЕРАТУРА

1. Новоселов А. Л., Новоселова И. Ю. Управление проектами развития территорий // Проблемы региональной экологии. 2020. № 5. С. 134–138.
2. Новоселов А. Л., Новоселова И. Ю., Желтенков А. В. Механизм оценки рисков при реализации проектов развития арктического региона // Вестник Московского государственного областного университета. Серия: Экономика. 2021. № 2. С. 56–66.
3. Новоселова И. Ю. Модель развития инфраструктуры селитебных территорий // Вестник Алтайской академии экономики и права. 2022. № 1. С. 84–89.

4. Davaakhuu N., Potravny I. M., Miloskavsky V. G., Utkin I. I. Rationale and mechanism for the implementation of the project of coal gasification in the Russian Arctic // UGOL Russian Coal Journal. 2019. № 9. P. 88–93.
5. Ivanov O. B., Buchwald E. M. National projects of Russia: regional dimension. Stage: economic analysis, theory, practice. 2019. P. 37–53.
6. Larichev O. Multicriteria Problems with Objective Models, Multiobjective Problems of Mathematical Programming / ed. A. Lewandowski, V. Volkovich. Berlin: Springer-Verlag, 1991. P. 15–20.
7. Volkov A. V., Galyamov A. L., Sidorov A. A. Problems of the Arctic mineral resources development (in terms of Chukotka and Alaska) // Arctic: ecology and economy. 2018. No. 4 (32). P. 4–14.

#### REFERENCES

1. Novoselov A. L., Novoselova I. Yu. [Management of territorial development projects]. In: *Problemy regional'noj ekologii* [Problems of Regional Ecology], 2020, no. 5, p. 134–138.
2. Novoselov A. L., Novoselova I. Yu., Zheltenkov A. V. [Mechanism of Risk Assessment in the Implementation of Arctic Region Development Projects]. In: *Mekhanizm ocenki riskov pri realizacii proektov razvitiya arkticheskogo regiona* [Bulletin of Moscow State Regional University. Series: Economics], 2021, no. 2, p. 56–66.
3. Novoselova I. Yu. [Model of Infrastructure Development of Residential Areas] In: *Vestnik Altajskoj akademii ekonomiki i prava* [Bulletin of the Altai Academy of Economics and Law], 2022, no 1, p.84–89.
4. Davaakhuu N., Potravny I. M., Miloskavsky V. G., Utkin I. I. Rationale and mechanism for the implementation of the project of coal gasification. In: *The Russian Arctic, UGOL – Russian Coal Journal*, 2019. №9. P. 88–93.
5. Ivanov O. B., Buchwald E. M. National projects of Russia: regional dimension. In: *Stage: economic analysis, theory, practice*. 2019, pp. 37–53.
6. Larichev O. Multicriteria Problems with Objective Models, Multiobjective Problems of Mathematical Programming. // In: *Berlin: Springer-Verlag, 1991. Vol. 351 of Lecture Notes in Economics and Mathematical Systems*, pp. 15–20.
7. Volkov A V., Galyamov A. L., Sidorov A. A. Problems of the Arctic mineral resources development (in terms of Chukotka and Alaska). In: *Arctic: ecology and economy*, 2018, no. 4 (32), P. 4–14.

---

#### ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Новоселов Андрей Леонидович – доктор экономических наук, профессор Российского экономического университета имени Г. В. Плеханова;  
e-mail: alnov2004@yandex.ru

Новоселова Ирина Юрьевна – доктор экономических наук, профессор Финансового университета при Правительстве Российской Федерации, профессор Российского государственного университета нефти и газа (национального исследовательского университета) имени И. М. Губкина;  
e-mail: iunov2010@yandex.ru

Желтенков Александр Владимирович – доктор экономических наук, профессор, профессор кафедры проектного и функционального менеджмента Московского государственного областного университета;  
e-mail: kaf-menedg@mgou.ru

**INFORMATION ABOUT AUTHORS**

*Andrey L. Novoselov* – Dr. Sci. (Economics), Prof., Plekhanov Russian University of Economics;  
e-mail: alnov2004@yandex.ru

*Irina Yu. Novoselova* – Dr. Sci. (Economics), Prof., Financial University under the Government of the Russian Federation, Gubkin University of Oil and Gas;  
e-mail: iunov2010@yandex.ru

*Alexander V. Zheltenkov* – Dr. Sci. (Economics), Prof., Head of the Department, Department of Project and Functional Management, Moscow Region State University;  
e-mail: kaf-menedg@mgou.ru

---

**ПРАВИЛЬНАЯ ССЫЛКА НА СТАТЬЮ**

Новоселов А. Л., Новоселова И. Ю., Желтенков А. В. Модель со-финансирования формирования инфраструктуры развития арктических зон России // Вестник Московского государственного областного университета. Серия: Экономика. 2022. № 3. С. 79–88.

DOI: 10.18384/2310-6646-2022-3-79-88

**FOR CITATION**

Novoselov A. L., Novoselova I. Yu., Zheltenkov A. V. A Model for Co-Financing Infrastructure Development In Russia's Arctic Zones. In: *Bulletin of Moscow Region State University. Series: Economics*, 2022, no. 3, pp. 79–88.

DOI: 10.18384/2310-6646-2022-3-79-88