

Научная статья

УДК 338.49:004(571.51-21)

<https://doi.org/10.35266/2949-3455-2026-2-7>



Оценка инновационного потенциала и системных барьеров цифровизации инфраструктурного комплекса арктического города (на примере г. Норильска)

Ольга Юрьевна Орлова¹, Игорь Сергеевич Беляев², Влада Руслановна Самплина^{2✉}

¹Санкт-Петербургский государственный экономический университет, Санкт-Петербург, Россия

²Заполярный государственный университет им. Н. М. Федоровского, Норильск, Россия

Аннотация. В статье исследуются системные барьеры и инновационный потенциал цифровизации критической инфраструктуры в условиях арктических монопрофильных городов. Объектом исследования выступает инфраструктурный комплекс г. Норильска. Целью работы является апробация методологического подхода к оценке инновационного потенциала и барьеров цифровизации инфраструктуры в экстремальных природно-климатических и экономических условиях, а также выработка стратегических направлений для преодоления выявленных барьеров. Исследование базируется на принципах системного подхода и теории региональных инновационных систем. Использован комплексный метод, сочетающий PEST- и SWOT-анализ, а также метод экспертных оценок. Идентифицированы четыре группы системных барьеров: технологические (9,2 балла), экономические (8,8 балла), институциональные (7,1 балла) и социально-кадровые (6,9 балла). Доказано, что технологические и экономические барьеры создают эффект lock-in, препятствующий внедрению инноваций. Кейс-стади показал сверхдлительные сроки окупаемости проектов цифровизации (12–15 лет), для которых необходимы специальные методы оценки. Преодоление барьеров требует комплексного организационно-экономического механизма, интегрирующего усилия государства и бизнеса. Результаты вносят вклад в теорию региональной экономики и применимы для корректировки государственных программ развития Арктики.

Ключевые слова: региональная экономика, экономика инноваций, Арктика, Норильск, цифровая трансформация, инфраструктура, инновационный потенциал, системные барьеры, lock-in effect, PEST-анализ, SWOT-анализ

Для цитирования: Орлова О. Ю., Беляев И. С., Самплина В. Р. Оценка инновационного потенциала и системных барьеров цифровизации инфраструктурного комплекса арктического города (на примере г. Норильска) // Вестник Сургутского государственного университета. 2026. Т. 14, № 2. С. 84–91. <https://doi.org/10.35266/2949-3455-2026-2-7>.

Original article

Assessment of innovative potential and systemic barriers to digitalization of infrastructure complex for Arctic city (the case of Norilsk)

Olga Yu. Orlova¹, Igor S. Belyaev², Vlada R. Samplina^{2✉}

¹Saint Petersburg State Economic University, Saint Petersburg, Russia

²Fedorovsky Polar State University, Norilsk, Russia

Abstract. The article examines systemic barriers and the innovative potential of the digitalization of critical infrastructure in the conditions of Arctic single-industry cities. This investigation centers on the infrastructure complex of Norilsk. The purpose of the study is to test a methodological approach to assessing innovative potential and barriers to infrastructure digitalization under extreme natural, climatic, and economic conditions, as well as to develop strategic directions for overcoming the identified barriers. The research

is based on the principles of a systems approach and the theory of regional innovation systems. A comprehensive methodology combining PEST and SWOT analyses, as well as the expert assessment method, is applied. Four groups of systemic barriers are identified: technological (9.2 points), economic (8.8 points), institutional (7.1 points), and social and human capital barriers (6.9 points). It is established that technological and economic constraints induce a lock-in effect, which consequently inhibits the deployment of innovations. The case study reveals extremely long payback periods for digitalization projects (12–15 years), which require the use of specialized evaluation methods. Overcoming these barriers requires an integrated organizational and economic mechanism that combines the efforts of the state and business. The results contribute to the theory of regional economics and can be applied to the adjustment of government programs for Arctic development.

Keywords: regional economics, innovation economics, the Arctic, Norilsk, digital transformation, infrastructure, innovative potential, systemic barriers, lock-in effect, PEST analysis, SWOT analysis

For citation: Orlova O. Yu., Belyaev I. S., Samplina V. R. Assessment of innovative potential and systemic barriers to digitalization of infrastructure complex for Arctic city (the case of Norilsk). *Surgut State University Journal*. 2026;14(2):84–91. <https://doi.org/10.35266/2949-3455-2026-2-7>.

ВВЕДЕНИЕ

Арктическая зона Российской Федерации (АЗРФ) является объектом стратегического государственного интереса, что отражено в ряде доктринальных документов, включая Стратегию развития АЗРФ до 2035 г. [1]. Однако устойчивое развитие региона невозможно без модернизации его инфраструктурного каркаса. Города, являющиеся опорными точками освоения Арктики, сталкиваются с комплексом проблем, унаследованных от советской эпохи, и новыми вызовами, связанными с глобальными климатическими и экономическими изменениями [2]. В этом контексте цифровизация инфраструктуры рассматривается как ключевой фактор повышения ее надежности и эффективности.

В теоретическом плане, опираясь на эволюционный подход к экономике инноваций [3, 4] и концепцию региональных инновационных систем (РИС) [5], мы утверждаем, что успешность цифровизации определяется не только технологическими решениями, но и способностью региональной системы к адаптации и преодолению эффектов «технологической блокировки» (path dependency). Данная статья посвящена эмпирической проверке этого тезиса на примере г. Норильска. Научная задача заключается в идентификации системных барьеров и оценке инновационного потенциала для их преодоления.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Исследование построено на принципах качественного кейс-стади (case study) [6], позво-

ляющего глубоко изучить конкретный феномен в его реальном контексте. Выбор Норильска в качестве объекта обусловлен его типичностью как арктического монопрофильного города и одновременно уникальностью как крупнейшего мирового центра по производству цветных металлов. Методология исследования носит комплексный характер и включает три этапа.

На первом этапе с помощью PEST-анализа были систематизированы факторы макросреды, влияющие на цифровизацию инфраструктуры. На втором этапе посредством SWOT-анализа были структурированы внутренние и внешние факторы, определяющие потенциал и барьеры цифровизации. На третьем этапе для верификации и углубления анализа была проведена серия из пяти полуструктурированных экспертных интервью. Респондентами выступили эксперты, обладающие не менее чем 10-летним опытом работы в системе муниципального управления г. Норильска или в структурах ПАО «ГМК «Норильский никель», ответственных за развитие инфраструктуры [7]. Данные интервью были проанализированы с использованием метода тематического анализа для выявления ключевых тем и паттернов.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Полученные результаты подтверждают наличие в экономике Норильска классического эффекта «институциональной ловушки» (lock-in effect), описанного в работах

П. Дэвида и Б. Артура [8]. Высокая степень износа фондов и доминирование градообразующего предприятия создают ситуацию, при которой система не способна перейти на новую технологическую траекторию, несмотря на очевидные выгоды. Технологические и экономические барьеры выступают основными элементами этой «ловушки».

Сверхдлительные сроки окупаемости инновационных проектов (12–15 лет) делают их нерентабельными с точки зрения стандартных методов оценки инвестиций (NPV, IRR), что согласуется с выводами других исследователей арктической экономики [9]. Это доказывает необходимость применения альтернативных подходов к оценке, учитывающих долгосрочные социальные и экологические эффекты. Таким образом, эмпирические данные, полученные на примере Норильска, служат верификацией теоретических положений исследования.

Перспективные направления дальнейших исследований лежат в области разработки конкретных организационно-экономических механизмов и моделей государственно-част-

ного партнерства, адаптированных к условиям Крайнего Севера. Такие механизмы должны быть направлены на снижение рисков для частных инвесторов и создание стимулов для внедрения прорывных технологий, способных преодолеть выявленные системные барьеры и обеспечить устойчивое развитие инфраструктуры в Арктической зоне Российской Федерации. В табл. 1 указаны PEST-факторы цифровизации инфраструктуры.

На рис. 1 наглядно представлен баланс положительных и отрицательных факторов макросреды. Анализ показывает, что отрицательные факторы (совокупный балл –30) значительно перевешивают положительные (совокупный балл +18), что создает крайне сложный фон для реализации инновационных проектов. Наибольшее негативное влияние оказывают технологические факторы (–8 баллов), связанные с физическим износом инфраструктуры и климатическими ограничениями, и экономические факторы (–7 баллов), связанные с санкциями и высокой стоимостью проектов. Положительные факторы в основном сосредоточены в политической и экономической сферах,

Таблица 1

PEST-анализ факторов макросреды, влияющих на цифровизацию инфраструктуры г. Норильска

| Факторы | Влияние на цифровизацию инфраструктуры |
|------------------------------------|---|
| Political (Политические) | (+) Государственная стратегия развития АЗРФ до 2035 г.; национальные проекты в области цифровой экономики; поддержка инновационных инициатив на уровне Красноярского края. (–) Санкционное давление, ограничивающее доступ к зарубежным технологиям и оборудованию; неопределенность в отношении долгосрочного финансирования региональных проектов |
| Economic (Экономические) | (+) Стабильная ресурсная база и значительные финансовые возможности ПАО «ГМК «Норильский никель» (инвестиции в цифровизацию в 2023 г. составили 7,6 млрд руб.); наличие собственного капитала для финансирования инновационных проектов. (–) Высокая стоимость реализации проектов в условиях Крайнего Севера; удорожание логистики и строительных материалов; волатильность мировых цен на никель и палладий |
| Social (Социальные) | (+) Высокий уровень средней заработной платы (выше среднероссийского на 40–50 %), привлекающий специалистов; наличие образовательных учреждений для подготовки кадров. (–) Устойчивый миграционный отток постоянного населения (убыль 0,5–1 % в год); острый дефицит IT-специалистов; цифровое неравенство между центром и периферией города |
| Technological (Технологические) | (+) Наличие у «Норникеля» собственных программ цифровой трансформации производства; опыт внедрения искусственного интеллекта и автоматизации; собственное IT-подразделение. (–) Высокий уровень износа коммунальной инфраструктуры (более 60 % основных фондов); ускоренная деградация вечной мерзлоты; отсутствие широкополосного интернета за пределами корпоративных сетей; суровые климатические условия (до –60 °С) |

Примечание: составлено авторами на основании данных, полученных в исследовании.

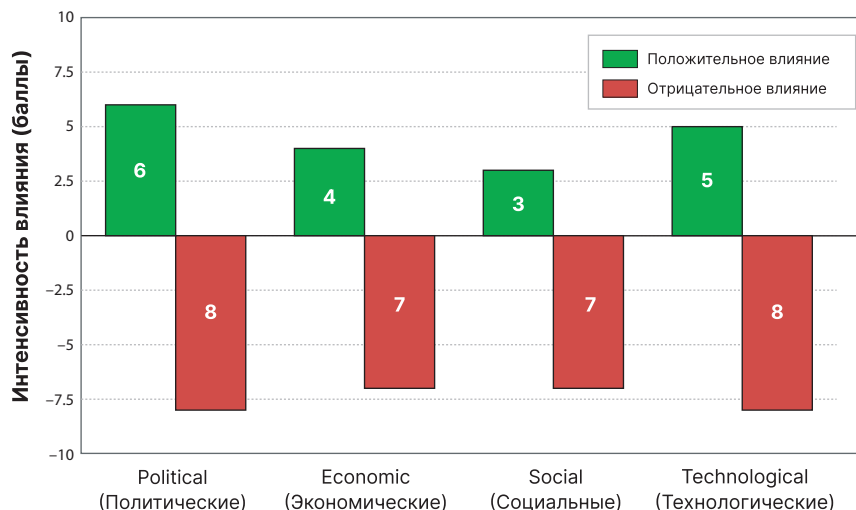


Рис. 1. Баланс положительных и отрицательных PEST-факторов цифровизации инфраструктуры г. Норильска

Примечание: составлено авторами на основании данных, полученных в исследовании.

однако их влияния недостаточно для компенсации негативных тенденций. Это подчеркивает необходимость активного государственного вмешательства и разработки специальных механизмов поддержки, способных нивелировать действие негативных факторов и создать благоприятные условия для реализации инновационных инициатив.

Результаты SWOT-анализа (рис. 2) позволяют перейти от простого перечисления фак-

торов к разработке стратегических альтернатив развития. Матрица демонстрирует, что город обладает значительными сильными сторонами (концентрация капитала в «Норникеле», уникальный опыт строительства на мерзлоте, программа реновации до 2035 г.), однако они сопряжены с серьезными слабостями (критический износ инфраструктуры, монопрофильная экономика, дефицит ИТ-кадров).



Рис. 2. Матрица SWOT-анализа цифровизации инфраструктуры г. Норильска

Примечание: составлено авторами на основании данных, полученных в исследовании.

Наиболее перспективным направлением является стратегия «Сила и Возможности» (SO), предполагающая использование финансовых и технологических ресурсов «Норникеля» для внедрения технологий «умного города» и привлечения федерального финансирования. Однако для реализации этой стратегии необходимо нейтрализовать угрозы и компенсировать слабые стороны. Стратегия «Сила и Угрозы» (ST) должна быть направлена на использование опыта компании в строительстве на мерзлоте для противодействия ее ускоренной деградации с помощью новых технологий мониторинга. Стратегия «Слабость и Возможности» (WO) предполагает использование возможностей федерального финансирования для преодоления дефицита кадров. Стратегия «Слабость и Угрозы» (WT) требует разработки защитных механизмов для минимизации рисков.

Приоритизация барьеров на основе экспертных оценок (рис. 3) показывает, что технологические барьеры (9,2 балла из 10) и экономические барьеры (8,8 балла) являются критическими и требуют первоочередного внимания. Это означает, что любые инициативы по цифровизации столкнутся в первую очередь с необходимостью колоссальных инвестиций в модернизацию физически изношенной инфраструктуры и с проблемой поиска долгосрочного финансирования в условиях санкций и высоких рисков. Технологические барьеры включают не только физический износ (более 60 % основных фондов требуют замены),

но и климатические ограничения и дефицит коммуникационной инфраструктуры.

Институциональные (7,1 балла) и социально-кадровые барьеры (6,9 балла) также значимы, но носят вторичный характер. Однако их влияние нельзя игнорировать, так как они могут препятствовать реализации даже хорошо финансируемых проектов. Выявленная конфигурация барьеров соответствует классическому описанию эффекта lock-in (технологической блокировки) в работах П. Дэвида и Б. Артура [6], когда система оказывается «заперта» на неэффективной траектории развития.

Для иллюстрации выявленных барьеров и их влияния на инвестиционные решения рассмотрим гипотетический проект внедрения системы комплексного мониторинга состояния жилых зданий на основе IoT-датчиков. Этот проект выбран в качестве примера, так как он является приоритетным для администрации города и имеет высокий потенциал социального воздействия. Ключевые финансово-экономические показатели проекта мониторинга жилых зданий на базе IoT указаны в табл. 2.

На рис. 4 представлены ключевые экономические параметры проекта. Диаграмма слева (4а) показывает, что основная доля затрат (45 %) приходится на закупку оборудования и датчиков, что типично для проектов в условиях Арктики из-за удорожания логистики. Монтаж и интеграция составляют 30 % затрат, программное обеспечение – 20 %, обучение персонала – 5 %.

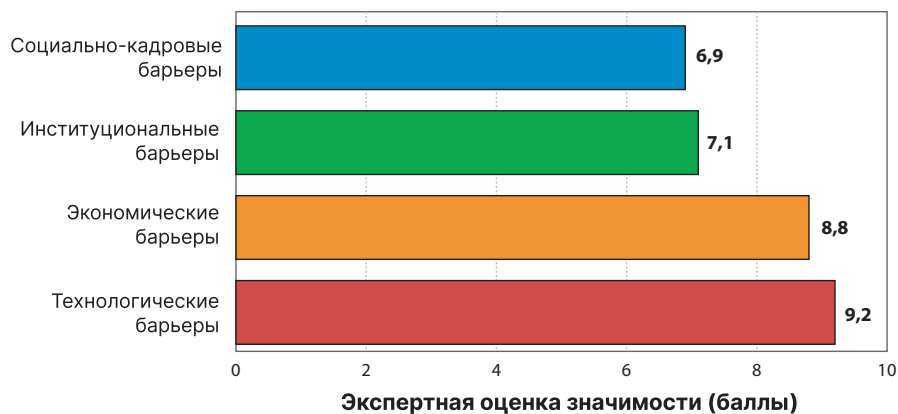


Рис. 3. Экспертная оценка значимости системных барьеров для цифровизации инфраструктуры

Примечание: составлено авторами на основании данных, полученных в исследовании.

Таблица 2

Основные экономические параметры проекта IoT-мониторинга жилых зданий

| Параметр | Значение |
|---|-------------------|
| Ориентировочная стоимость оснащения одного здания | 2–3 млн руб. |
| Общее количество зданий, требующих мониторинга | ~800 зданий |
| Совокупные инвестиции | 1,6–2,4 млрд руб. |
| Ожидаемый срок окупаемости | 12–15 лет |

Примечание: составлено авторами на основании данных, полученных в исследовании.

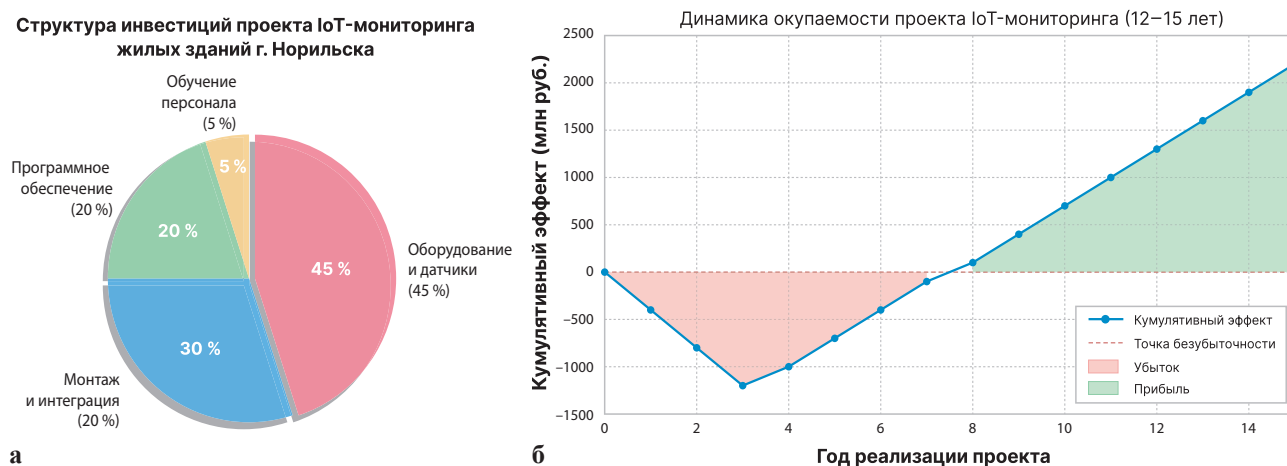


Рис. 4. Экономические параметры проекта IoT-мониторинга жилых зданий:
а – структура инвестиций; б – динамика окупаемости проекта

Примечание: составлено авторами на основании данных, полученных в исследовании.

График справа (4б) демонстрирует ключевую проблему арктических инноваций – сверхдлинный срок окупаемости, достигающий 12–15 лет. В течение первых 3 лет проект генерирует отрицательный кумулятивный эффект (–1,2 млрд руб.). Только после 9–10 лет реализации проект выходит на точку безубыточности. Это делает проект непривлекательным для

частных инвесторов и требует применения специальных методов оценки, учитывающих предотвращенный ущерб и социальные выгоды.

Сценарный анализ (рис. 5) показывает три возможные траектории развития инфраструктуры города до 2035 г. Базовый сценарий предполагает сохранение текущих тенденций и минимальные инвестиции в цифровизацию

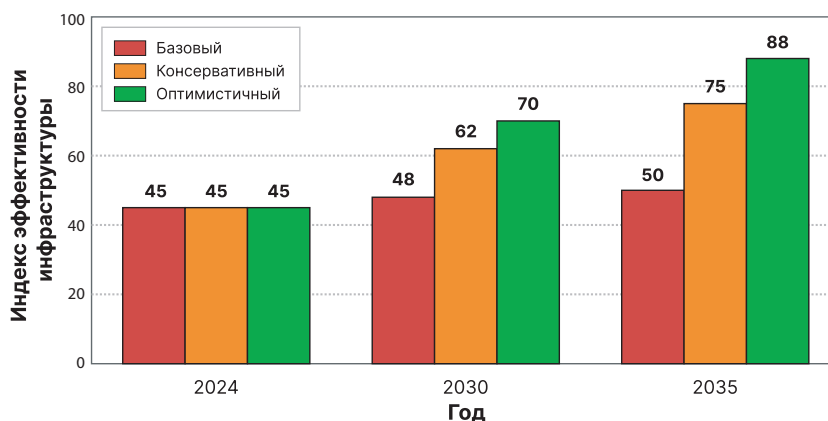


Рис. 5. Сравнение сценариев развития инфраструктуры г. Норильска (2024–2035 гг.)

Примечание: составлено авторами на основании данных, полученных в исследовании.

(бюджет не превышает 100–150 млн руб. в год). Индекс эффективности инфраструктуры вырастет всего на 5 пунктов (с 45 до 50 баллов), что недостаточно для обеспечения надежности критических систем.

Консервативный сценарий основан на частичной цифровизации инфраструктуры (бюджет 300–500 млн руб. в год) и позволяет достичь значительного улучшения (рост на 30 пунктов, индекс достигает 75 баллов). Оптимистичный сценарий предполагает полную реализацию предложенных мер (бюджет 800 млн – 1,2 млрд руб. в год) и способен вывести инфраструктуру на качественно новый уровень (рост на 43 пункта, индекс достигает 88 баллов). Разрыв между сценариями доказывает высокий потенциальный эффект от цифровизации и экономическую целесообразность перехода к оптимистичному сценарию.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Результаты исследования имеют высокую практическую значимость. Во-первых, предложенный подход к диагностике барьеров может быть использован органами государственной

власти и местного самоуправления для проведения мониторинга и разработки целевых программ развития не только для Норильска, но и для других арктических территорий со схожими характеристиками. Во-вторых, экономический анализ кейс-стади доказывает неэффективность стандартных подходов к оценке инвестиционных проектов в арктических условиях и обосновывает необходимость применения специализированных методик, учитывающих долгосрочные социальные и экологические экстерналии.

Проведенное исследование позволило всесторонне оценить инновационный потенциал и системные барьеры, препятствующие цифровизации инфраструктурного комплекса г. Норильска. Научная новизна работы заключается в том, что на конкретном эмпирическом материале была продемонстрирована взаимосвязь между технологическими, экономическими и институциональными барьерами, формирующими системный эффект технологической блокировки (lock-in effect), который препятствует переходу региона на новую, более эффективную траекторию развития.

Список источников

1. О Стратегии развития Арктической зоны Российской Федерации и обеспечения национальной безопасности на период до 2035 года : указ Президента РФ от 26.10.2020 № 645. Доступ из СПС «Гарант».
2. Лексин В. Н., Швецов А. Н. Государство и регионы: теория и практика государственного регулирования территориального развития. М. : ЛКИ, 2007. 368 с.
3. Нельсон Р. Р., Уинтер С. Дж. Эволюционная теория экономических изменений / пер. с англ. М. : Дело, 2002. 536 с.
4. Казакова П. А., Тимушев С. Б. Цифровая трансформация региональных экономических систем: развитие инновационного потенциала // Естественно-гуманитарные исследования. 2025. № 2. С. 219–224.
5. Regional Innovation Systems: The Role of Governance in a Globalized World / H.-J. Braczyk, P. Cooke, M. Heidenreich, eds. 2nd ed. London : Routledge, 2004. 416 p.
6. Yin R. K. Case Study Research: Design and Methods. 5th ed. Thousand Oaks, CA : Sage, 2014. 282 p.
7. Отчет об устойчивом развитии 2023. URL: <https://sr2023.nornickel.ru> (дата обращения: 15.12.2025).

References

1. On the Strategy for the Development of the Arctic Zone of the Russian Federation and Ensuring National Security for the Period up to 2035: Decree of the President of the Russian Federation No. 645 of October 26, 2020. Accessed through Law assistance system “Garant”. (In Russ.).
2. Leksin V. N., Shvetsov A. N. Gosudarstvo i regiony: teoriya i praktika gosudarstvennogo regulirovaniya territorialnogo razvitiya. Moscow: LKI; 2007. 368 p. (In Russ.).
3. Nelson R. R., Winter S. G. An Evolutionary Theory of Economic Change. Trans. Moscow: Delo; 2002. 536 p. (In Russ.).
4. Kazakova P. A., Timushev S. B. Digital transformation of regional economic systems: Development of innovation potential. *Estestvenno-gumanitarnye issledovaniya*. 2025;(2):219–224. (In Russ.).
5. Braczyk H.-J., Cooke P., Heidenreich M., eds. Regional Innovation Systems: The Role of Governance in a Globalized World. 2nd ed. London: Routledge; 2004. 416 p.
6. Yin R. K. Case Study Research: Design and Methods. 5th ed. Thousand Oaks, CA: Sage; 2014. 282 p.
7. Otchet ob ustoychivom razvitii 2023. URL: <https://sr2023.nornickel.ru> (accessed: 15.12.2025). (In Russ.).

8. Arthur W. B. Competing technologies, increasing returns, and lock-in by historical events // *The Economic Journal*. 1989. Vol. 99, no. 394. P. 116–131.
9. Беляев И. С. Развитие механизмов государственно-частного партнерства как инструментов поддержки строительных организаций, действующих в российской Арктике // Актуальные проблемы современного строительства : материалы LXXIV Всерос. науч.-практ. конф. студентов, аспирантов и молодых ученых, 05–09 апреля 2021 г., г. Санкт-Петербург. В 2 ч. СПб. : Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет, 2021. Ч. 2. С. 124–135.
8. Arthur W. B. Competing technologies, increasing returns, and lock-in by historical events. *The Economic Journal*. 1989;99(394):116–131.
9. Belyaev I. S. Razvitie mekhanizmov gosudarstvenno-chastnogo partnerstva kak instrumentov podderzhki stroitelnykh organizatsiy, deystvuyushchikh v rossiyskoy Arktike. In: *Proceedings of the 77th All-Russian Research-to-Practice Conference for Students, Postgraduates and Young Scientists “Aktualnye problemy sovremennogo stroitelstva”*, April 5–9, 2021, Saint Petersburg. In 2 pts. St. Petersburg: Saint Petersburg State University of Architecture and Civil Engineering; 2021. Pt. 2. p. 124–135. (In Russ.).

Информация об авторах

О. Ю. Орлова – доктор экономических наук, профессор;

<https://orcid.org/0000-0001-5342-0066>,
orlova.o@unecon.ru

И. С. Беляев – кандидат экономических наук, доцент;

<https://orcid.org/0000-0001-9149-4357>,
belayevis@norvuz.ru

В. Р. Самплина – ассистент;
samplinavr1@norvuz.ru✉

About the authors

O. Yu. Orlova – Doctor of Sciences (Economics), Professor;

<https://orcid.org/0000-0001-5342-0066>,
orlova.o@unecon.ru

I. S. Belyaev – Candidate of Sciences (Economics), Docent;

<https://orcid.org/0000-0001-9149-4357>,
belayevis@norvuz.ru

V. R. Samplina – Assistant Professor;
samplinavr1@norvuz.ru✉