

УДК 911.3

## ОЦЕНКА ПОТЕНЦИАЛА ЖИЗНЕСТОЙКОСТИ ГОРОДОВ РОССИЙСКОЙ АРКТИКИ

Н.Ю. Замятина<sup>1</sup>, Е.А. Котов<sup>2</sup>, Р.В. Гончаров<sup>3</sup>, А.В. Бурцева<sup>4</sup>, В.И. Гребенец<sup>5</sup>,  
А.А. Медведков<sup>6</sup>, В.А. Молодцова<sup>7</sup>, В.П. Ключева<sup>8</sup>, Ю.В. Кульчицкий<sup>9</sup>, Б.А. Миронова<sup>10</sup>,  
Б.В. Никитин<sup>11</sup>, А.Н. Пилясов<sup>12</sup>, А.Е. Поляченко<sup>13</sup>, А.В. Потураева<sup>14</sup>, Д.А. Стрелецкий<sup>15</sup>,  
И.А. Шамало<sup>16</sup>

<sup>1, 5, 6, 11, 12, 14, 16</sup> Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, географический факультет

<sup>2, 3, 7, 9, 13</sup> Национальный исследовательский университет «Высшая школа экономики»

<sup>4</sup> Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого,

Высшая школа инженерной педагогики, психологии и прикладной лингвистики

<sup>8, 15</sup> Тюменский научный центр СО РАН

<sup>10</sup> Аналитический центр АНО «Московский урбанистический форум»

<sup>1</sup> Кафедра социально-экономической географии зарубежных стран, доц., канд. геогр. наук;

e-mail: zamyatina@geogr.msu.ru

<sup>2</sup> Факультет городского и регионального развития / Высшая школа урбанистики имени А.А. Высоковского,  
ст. препод., науч. сотр.; e-mail: ekotov@hse.ru

<sup>3</sup> Факультет городского и регионального развития / Высшая школа урбанистики имени А.А. Высоковского,  
доц., канд. геогр. наук; e-mail: rgoncharov@hse.ru

<sup>4</sup> Доц., канд. пед. наук; e-mail: alexandraburtseva@yandex.ru

<sup>5</sup> Кафедра криолитологии и гляциологии, доц., канд. геогр. наук; e-mail: vgreb@inbox.ru

<sup>6</sup> Кафедра физической географии мира и геоэкологии, доц., канд. геогр. наук; e-mail: a-medvedkov@bk.ru

<sup>7</sup> Факультет городского и регионального развития / Высшая школа урбанистики имени А.А. Высоковского,  
препод., мл. науч. сотр.; e-mail: vmolodtsova@hse.ru

<sup>8</sup> Институт проблем освоения Севера, сектор социальной антропологии,  
вед. науч. сотр., канд. ист. наук; e-mail: vormpk@gmail.com

<sup>9</sup> Факультет городского и регионального развития / Высшая школа урбанистики имени А.А. Высоковского,  
препод.; e-mail: kulchitsky@hse.ru

<sup>10</sup> Аналитик; e-mail: Mironova@mosurbanforum.ru

<sup>11</sup> Кафедра социально-экономической географии зарубежных стран, асп.; e-mail: borisnikitin25@gmail.com

<sup>12</sup> Кафедра социально-экономической географии зарубежных стран, проф., д-р геогр. наук; e-mail: pelyasov@mail.ru

<sup>13</sup> Факультет экономических наук, студент; e-mail: apolyachenko@gmail.com

<sup>14</sup> Кафедра социально-экономической географии зарубежных стран, асп.; e-mail: av-poturaeva@yandex.ru

<sup>15</sup> Институт криосферы земли, ст. науч. сотр., канд. геогр. наук; e-mail: strelets@udel.edu

<sup>16</sup> Кафедра социально-экономической географии зарубежных стран, асп.; e-mail: vshamalo@rambler.ru

Жизнестойкость, понимаемая как способность городских систем к преодолению природных или антропогенных кризисов, рассматривается как концепция, взаимно дополняющая концепцию устойчивого развития. В условиях Арктики, отличающейся повышенной уязвимостью как природных, так и экономических систем, применение концепции жизнестойкости особенно актуально. В статье проанализированы 19 количественных индикаторов 27 арктических населенных пунктов РФ по следующим подсистемам: экономической специализации, жизнеобеспечения и коммунального хозяйства, социально-культурной, природно-экологической, административно-управленческой. В ходе кластерного анализа выявлены семь стабильных групп городов, устойчиво демонстрирующих сходство друг с другом при различных вариантах анализа. Преодоление кризисов в развитии города требует одновременного выполнения условий жизнестойкости в разных подсистемах городского развития: слабость любой из этих подсистем может повлечь крах всей системы в целом, поэтому оценка жизнестойкости требует комплексного подхода.

**Ключевые слова:** устойчивое развитие, арктические города, социально-экологические системы

## ВВЕДЕНИЕ

Жизнестойкость – сравнительно новый подход к развитию городов по сравнению с устойчивостью. Они взаимодополняют друг друга: разница заключается в том, что концепции устойчивости работают на стабильных, заданных траекториях, тогда как жизнестойкость отвечает за выживание города в условиях кризисов, в точках бифуркации, на смене траекторий развития. Данный аспект был детально рассмотрен как в наших предыдущих работах [Замятина и др., 2020], так и в работах коллег (в частности, несколько иной взгляд на соотношение жизнестойкости и устойчивости дан в работах [Vlasova et al., 2021; Жихаревич и др., 2020]), поэтому детальный анализ собственно концепции жизнестойкости не включен в данную статью.

Введение понятия жизнестойкости для городов Арктики особенно важно. Более ранние работы позволяют уверенно утверждать, что арктические города отличаются повышенной уязвимостью как с точки зрения природной среды, так и в сфере социальноэкономического развития, поэтому здесь анализ возможностей преодоления кризисов как нигде важен [Бабурин и др., 2016; Zamyatina, Goncharov, 2018]. Особенно актуальна тема жизнестойкости для Российской Арктики, пережившей за последнюю четверть века абсолютно беспрецедентные трансформации системы расселения [Бабурин, Земцов, 2015; Kumo, Litvinenko, 2020].

Заметим, что сама тема жизнестойкости различных социальных, социоэкологических систем относительно разработана, в том числе для Арктики [Council, 2016; Vlasova et al., 2021], однако в отношении именно городов Арктики, обладающих целым рядом специфических особенностей, работ почти нет. Новизна данной работы состоит, во-первых, в самом обращении к теме жизнестойкости арктических городов, во-вторых, в разработке комплексной методики ее анализа, включающей особенности многолетнемерзлых пород и климата, миграционные показатели, транспортно-географическое положение, структуру экономики и особенности развития малого бизнеса, организации системы теплоснабжения, жилой застройки, инновационной деятельности, административного управления и др.

## ПОСТАНОВКА ПРОБЛЕМЫ

Проблема выбора параметров оценки жизнестойкости коренится в неоднозначности самого термина: на данный момент нет консенсуса даже в отношении термина, пригодного для использования на русском языке (см. детальный анализ в [Жихаревич и др., 2020]). В свою очередь, неоднозначность термина «жизнестойкость» во многом связана с его

двойным происхождением: термин возник в экологии и почти одновременно в психологии (и в данных отраслях на русском языке закрепилось понятие «жизнестойкость»), а затем был перенесен в экономику и экономическую географию (где по поводу не только перевода термина, но в отношении вариативности его наполнения возникли дискуссии). Мы хотели бы в максимальной степени сохранить исходное значение термина – настолько, насколько возможно при перенесении его в географию – и следуем традиции перевода термина *resilience* именно как «жизнестойкость», чтобы не прерывать преемственность с экологией и психологией [Замятина и др., 2020].

В практике анализа жизнестойкости городов, в свою очередь, сложилось два основных подхода, каждый из которых имеет как достоинства, так и недостатки. Первый подход учитывает сложность городской системы, включает экологические, управленческие, поведенческие, экономические аспекты. Однако приверженцы данного подхода не выходят на обобщение, работая на микроуровне с отдельными городами [Collier et al., 2014].

Второй подход заключается в количественной оценке жизнестойкости на больших массивах данных, однако, жизнестойкость при этом, по сути, редуцируется к сугубо экономическим аспектам. В общем случае критерием проявления жизнестойкости служит динамика численности населения и/или валового продукта. Различные параметры тестируются на предмет объясняющей силы этих изменений, хотя есть различные вариации в методиках анализа. Например, Р. Мартин для расчета жизнестойкости использовал набор двух показателей: сопротивляемости (способности сохранять исходные экономические показатели во время кризиса) и восстановительной способности [Martin, 2012]. Отдельные авторы дополнительно использовали методы сдвига доли [Giannakis, Bruggeman, 2015] или статистического анализа взаимного влияния по полученным показателям [Fingleton et al., 2011]. Сильной стороной подобного «экономоцентричного» подхода является безусловное доказательство роли того или иного фактора в формировании траектории прохождения города через кризис, а слабой – узость сферы анализа (например, в работе [Martin, 2012]).

Сходство обоих подходов состоит в том, что жизнестойкость в обоих случаях оценивается эмпирически – как реакция на кризис. В первом случае речь идет о многокомпонентном наборе параметров жизнестойкости, описывающем структуру города как сложной системы. Во втором случае проводится оценка влияния некоторых факторов на узкий аспект жизнестойкости города – его экономическую жизнестойкость – зато по большой выборке горо-

дов, сопоставимых с точки зрения опыта преодоления конкретного кризиса.

Тем не менее, учитывая безусловное преимущество второго подхода (возможность сравнения городов между собой), мы провели предварительное исследование по методике Мартина [Martin, 2012], расширив круг использованных параметров за счет ряда природных, транспортно-географических и других показателей. Была проведена оценка жизнестойкости российских арктических городов в долгосрочном (1989–2017) и относительно краткосрочном (2009–2016) периодах [Polyachenko, 2019]. Однако данный «универсальный» подход оказался неприменим к Российской Арктике: население многих городов сокращается в течение почти всего периода, начиная с 1989 г. и делая невозможным измерение собственно «кризиса». Для группы «нефтегазовых» городов, рассмотренных отдельно, положительно влияющими на жизнестойкость факторами оказались: начальная стадия ресурсного цикла, статус регионального центра, высокая доля коренного населения в «хинтерланде» города, крупный размер самого города; отрицательно влияющий фактор – расположение в пригородной зоне более крупного города. Для прочих городов к положительным факторам относятся: статус регионального административного центра, выраженная роль некоторых отраслей бюджетного сектора (оборонная промышленность, атомная энергетика и т. п.), доля занятых в образовании, роль центрального места (по положению в сети расселения). Интересно, что расположение на берегу моря или судоходной реки оказалось отрицательно связано с жизнестойкостью в долгосрочном периоде (очевидно, сказывается кризис перевозок по Севморпути в 1990-е гг.). Полученные выкладки были использованы для дальнейшего анализа, однако, очевидная ограниченность второго подхода к оценке жизнестойкости – через универсальный критерий – заставила от него отказаться.

В итоге, была предпринята попытка смешанного подхода: от первого из названных выше подходов были взяты представления о жизнестойкости как функции устройства многокомпонентной системы города, от второго – нацеленность на сопоставление большого ряда городов по единым критериям. При этом пришлось отойти от собственно оценки жизнестойкости как реакции на кризис, перейдя к оценке *потенциальной жизнестойкости* на основе анализа особенностей городской системы. Иными словами, от тестирования показателей жизнестойкости на предмет роли в преодолении кризиса мы перешли к параметрам городской системы, которые предположительно должны обеспечить жизнестойкость системы при потенциальном кризисе.

Правомерность данного перехода обусловлена заданными условиями выбора показателей для каждой из отдельных подсистем: в качестве критерия выбора показателей была определена их связь с жизнестойкостью, показанная в более ранних исследованиях по особенностям реакции на кризис соответствующих подсистем (природно-экологической, экономической специализации, подсистемы жизнеобеспечения) или обнаруженная в процессе собственных полевых исследований (для описания социокультурной подсистемы).

## МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЯ

Методика исследования включает четыре блока: выбор городов для анализа, составление многокомпонентного набора показателей потенциальной жизнестойкости, кластеризация городов Российской Арктики по многокомпонентному комплексному набору параметров потенциальной жизнестойкости.

**Выбор городов для анализа.** Для формирования выборки авторы воспользовались ранее апробированным приемом: в дополнение к 21-му арктическому городскому округу были добавлены некоторые крупнейшие населенные пункты муниципальных районов при соблюдении ряда условий [Zamyatina, Goncharov, 2018]. Всего, таким образом, в анализ было включено 27 населенных пунктов<sup>1</sup>.

**Составление многокомпонентного комплексного набора параметров жизнестойкости по отдельным подсистемам города** базировалось на анализе литературы по конкретным подсистемам города, экспертном анализе материалов (в том числе полевых социально-географических исследований) по прохождению ряда кризисов в арктических городах (в частности, экономического кризиса 1990-х гг. в Мурманске, Апатитах, Никеле, Норильске, Игарке; аварии на газопроводе в Норильске в 1979 г. и др.).

Показатели отбирались, в первую очередь, по критерию соответствия теоретической модели жизнестойкости [Замятина и др., 2020], которая подразумевает способность городской системы противостоять кризису. Эта способность определяется тремя основными параметрами. Первый – *готовность к изменениям* в широком смысле, принятие риска нового: в случае кризиса развитие города может опереться на новые виды и формы деятельности. Второй – *вовлеченность* в мировые процессы (сам термин «вовлеченность» заимствован из психологической трактовки жизнестойкости и может быть интерпретирован как включенность во внешние взаимодействия, позволяющая как получать дополнительные ресурсы извне, так и отслеживать и объективно оценивать развитие ситуации).

<sup>1</sup> В границах АЗРФ по состоянию на июнь 2020 г.

Проиллюстрируем это на примере. У глобального города, концентрирующего экономические, политические, информационные потоки, выше шансы перенести какие-либо катаклизмы, чем у изолированной деревни – хотя она (в отсутствие катаклизмов) и могла бы сохранять стабильность на протяжении столетий. Здесь снова актуальна параллель между экосистемой с меняющейся численностью популяций отдельных видов, но выживающей при экстремальных изменениях внешних условий, и стабильной по численности популяций экосистеме, которая, однако, уязвима к экстремальным внешним изменениям [Holling, 1973]. Заметим, что параметры вовлеченности и готовности к изменениям необходимы, но недостаточны: монопрофильный город с высокой вовлеченностью в мировые экономические связи уязвим, и для его жизнестойкости необходим третий параметр – *контроль судьбы* (fate control) – широко используемая категория в работах как по жизнестойкости, так и по устойчивости развития, подразумевающая наличие ресурсов и возможностей для влияния на ситуацию.

В каждой из городских подсистем существуют свои особенности формирования жизнестойкости, которые измеряются отдельными параметрами. Так, в экономической подсистеме готовность к изменениям проявляется в способности к генерации и/или восприятию инноваций (то, что в зарубежной литературе по экономической географии называется «поглощающей способностью» местной производственной системы – absorptive capacity); в социуме готовность к изменениям – это креативность, «открытость мышления», которая традиционно (по Флориде) оценивается через показатели толерантности, разнообразия (как необходимого ресурса для креативности), развития творческих видов деятельности и т.п. Контроль судьбы в случае города – это достаточные и разнообразные ресурсы для развития экономических видов деятельности (система экономической специализации), доверие (в том смысле, как оно используется в социологии – trust) к месту у местного населения (можно также вспомнить понятие *топофилии* И-Фу Туана): в случае кризиса и доверия к месту сообщество готово бороться за город, а не мигрировать в другие места. В то же время контроль судьбы включает институциональные возможности влиять на развитие города (социокультурная подсистема). В административном плане у жизнестойкого города должна быть действенная система самоуправления, при этом желателен также высокий административный статус. Из пяти городских подсистем, выделенных в модели (экономической специализации, административно-управленческой, жизнеобеспечения, социокультурной и природно-экологической), на-

званные параметры не применимы только к природно-экологической подсистеме. В основу оценки ее параметров жизнестойкости было положено представление о природно-экологической подсистеме города как источнике экосистемных услуг для других подсистем (включая услуги по предоставлению продовольствия, воды, ресурсов топлива и т.д.), а жизнестойкость – как возможность, в первую очередь, резкого увеличения (в условиях кризиса) объемов экосистемных услуг (кроме того, учитывается минимизация риска необратимых изменений в подсистеме в условиях внешних воздействий).

Названные три параметра основаны на теоретическом изучении и сопоставлении разных подходов к оценке жизнестойкости – теоретические выкладки были проверены на основе изучения поведения отдельных подсистем арктических городов как в специальной литературе, так и в ходе полевых исследований; более детально рассмотреть обоснование теоретической схемы выбора параметров нет возможности из-за ограничения объема статьи.

Отбор показателей был проведен в два этапа: на первом этапе были отобраны 35 показателей, соответствующих теоретической модели жизнестойкости, затем, после детального анализа (в том числе корреляционного анализа, парных диаграмм рассеяния и применения метода главных компонент), были отобраны 19 показателей (по три-четыре для каждой подсистемы).

**Подсистема экономической специализации.** Очевидным и хорошо изученным фактором жизнестойкости города (фактором преодоления экономического структурного кризиса) выступает уровень диверсификации его экономики [Замятина, Пилясов, 2015]. Отраслевое разнообразие стимулирует экономические взаимодействия, способствует инновационному процессу и снижает риск фатальных последствий для города в случае деградации одного из секторов (в условиях Российской Арктики, где значительная часть городов сформировалась в связи с разработкой близлежащих месторождений полезных ископаемых, большое значение приобретает угроза истощения сырьевой базы) [Hopkins, 2018]. Общеизвестный фактор повышения жизнестойкости города в случае кризиса в градообразующей отрасли – это способность к инновационному поиску [Замятина, Пилясов, 2015].

Исходя из этих особенностей, для оценки уровня жизнестойкости были выбраны широко известный *индекс Херфиндаля-Хиршмана*, посчитанный по показателям занятости по секторам городской экономики (Росстат), а также широко используемый показатель *патентной активности*. Кроме того, был впервые применен показатель *наличия в городе инновационных предприятий*, отобранных экспер-

ным путем по базе данных организаций СПАРК (в контексте количественной оценки жизнестойкости экономики города особое внимание уделяется инновационным фирмам, предлагающим технологические, организационные или маркетинговые нововведения [Klimanov et al., 2020]).

К сожалению, некоторые статистические данные представляются искаженными, в частности, явно занижен уровень занятости в добывающей промышленности некоторых городов ЯНАО (их жители, работающие на удаленных от города месторождениях, в том числе работающие вахтовым методом, регистрируются по месту работы). В отдельных случаях это обстоятельство искажает значения индекса Херфиндаля-Хиршмана (очевидный пример – город Муравленко), хотя в целом индекс дает, по-видимому, адекватную картину. Отчасти для нивелирования этих искажений был привлечен комплексный показатель уровня развития добывающей промышленности – балльная оценка, основанная на следующих показателях:

а) доля территории в радиусе 150 км, находящейся в границах лицензионных участков (ЛУ) углеводородных ресурсов и твердых полезных ископаемых;

б) доля территории в радиусе 150 км, находящейся в границах перспективных лицензионных участков углеводородных ресурсов и твердых полезных ископаемых (с лицензией на проведение поисковых работ);

в) число лицензионных участков разных типов в радиусе 150 км [Гончаров и др., 2021].

Кажущееся дублирование показателей (учет и относительных, и абсолютных метрик) обусловлено особенностями добывающей промышленности: лицензионные участки углеводородных ресурсов могут отличаться значительными размерами (поэтому в местах добычи УВС важны именно относительные метрики), тогда как участки по добыче твердых полезных ископаемых обычно небольшие по размерам (места их концентрации обнаруживаются через абсолютные метрики).

**Подсистема жизнеобеспечения.** Система теплоснабжения имеет критическую важность для жизнестойкости населенных пунктов в климатических условиях Арктики. Для оценки состояния систем теплоснабжения арктических городов авторами были собраны данные из схем теплоснабжения. *Отношение резерва/дефицита тепловой мощности к тепловой нагрузке* отражает возможности теплоснабжающих организаций, обслуживающих населенные пункты, оперативно заместить мощности, выведенные из строя в случае чрезвычайных происшествий, и, в первом приближении, возможность «контроля судьбы». Рассматривались также показатели отношения потерь в тепловой сети к те-

пловой нагрузке, доли местного топлива, структуры используемого топлива (доля угля, нефти и др.) – однако собрать полный набор показателей по совокупности исследованных городов не удалось.

Кроме того, были использованы данные по доле *деревянного жилого фонда в общем объеме многоквартирного жилья* по федеральной базе «Реформа ЖКХ» (в условиях Крайнего Севера многоквартирное деревянное жилье<sup>2</sup> – это, как правило, низкокачественный жилой фонд типовых домов 1960–1970-х гг., непрестижные «деревяшки»). По сути, выбранный параметр характеризует долю устаревшего жилого фонда. Кроме того, была использована *балльная оценка транспортной обеспеченности*, детально описанная в более ранних работах [Гончаров и др., 2021]. Другие отрасли, связанные с жизнеобеспечением (пищевая промышленность, водоснабжение и др.), по предварительным оценкам не дают сильной дифференциации городов и были исключены из рассмотрения.

**Социокультурная подсистема.** При оценке жизнестойкости социокультурной подсистемы авторы отталкивались от понимания жизнестойкости в психологии [Maddi, Khoshaba, 2005] как сочетания вовлеченности во внешние связи, способности к контролю судьбы и инновационным изменениям. Первый показатель – «контроль судьбы» (от англ. fate control) – также широко используется в исследованиях по устойчивому развитию [Arctic Social Indicators..., 2010]. Из примерно двух десятков изначально рассмотренных показателей были отобраны четыре. Вовлеченность во внешние связи оценена через *отношение среднего значения исходящей миграции за 2017–2019 гг. к миграционному обороту* (сумме выехавших и въехавших). Сальдо миграции использовать нецелесообразно, т. к. практически все арктические города отличаются большим миграционным оборотом [Zamyatina, Goncharov, 2018]. Очень сложно было выбрать показатель «контроля судьбы». В зарубежных работах опираются, как правило, на показатели развития демократических институтов – особенно если дело касается вовлечения отдельных категорий местных жителей (женщины, коренные народы и т. д.) – однако с учетом российских политических реалий (в частности, ситуации контроля выборных органов власти градообразующими предприятиями) от подобных оценок было решено отказаться. В итоге, в качестве базового был выбран показатель *количества предприятий малого и среднего бизнеса на 1000 жителей* – не только как показатель уровня развития предприимчивости и гибкости экономического поведения, но и как по-

<sup>2</sup> Из этого не следует, что деревянное домостроение как таковое снижает жизнестойкость, однако качественных жилых деревянных домов в Российской Арктике крайне мало.

казатель уровня доверия к территории («не верим в будущее города – не инвестируем»), что четко проявляется в полевых исследованиях).

Арктические города России традиционно отличаются большим этнокультурным разнообразием, и данный аспект, на взгляд авторов, непременно требует учета. Поэтому было решено ввести необычный показатель – *зарегистрированное число национально-культурных автономий на 1000 жителей*. Опыт работы членов авторского коллектива с миграционной службой и службами адаптации мигрантов (А.В. Бурцева), этнологического мониторинга и раннего предупреждения конфликтов (В.П. Ключева) позволяет экспертно оценивать данный показатель как хороший индикатор способности этнокультурных групп легально отстаивать свои интересы в диалоге с органами власти. Тем самым данный показатель в большей мере отражает наличие институциональных механизмов контроля судьбы мультиэтнического городского сообщества, и в этом качестве «работает» лучше, чем показатели этнического разнообразия как такового, равно как и территориальная структура миграционных потоков (которые тоже рассматривались на первом этапе).

В качестве показателя способности к инновационному развитию был выбран традиционный уже показатель *числа публикаций в РИНЦ за последние пять лет на 1000 жителей* [Смирнов, 2020]; рассматривались также показатели числа зарегистрированных пользователей РИНЦ, а также зарубежных баз научных публикаций; наличие университета и/или число студентов [Замятина, Гончаров, 2020] – все они в целом высоко коррелируют между собой.

**Природно-экологическая подсистема.** К числу природных факторов, характеризующих жизнестойкость городов (с тем или иным знаком), были отнесены следующие составляющие геосистемного покрова: *универсальный индекс теплового дискомфорта*, используемый для оценки жесткости погоды [Fiala et al., 2012; Виноградова, 2019], показатель *овражности* – один из наиболее выразительных количественных показателей, раскрывающий потенциал развития механической денудации, обусловленный расчлененностью рельефа и литологическими условиями территории [Современные изменения..., 1996; Национальный атлас..., 2007], *годовая продукция фитомассы* как интегральный параметр, часто используемый и в оценках устойчивости природной среды [Исаченко, 2003], поскольку биопродукционные характеристики определяют средозащитный потенциал мерзлотных ландшафтов и скорость их восстановления после механической и аэротехногенной трансформации. Наконец, важнейшим показателем стал собственный индекс *распространения многолетнемерзлых пород*, оце-

ненный через сочетание *характера распространения* (сплошной, прерывистый и массивно-островной) и *льдистости многолетнемерзлых пород*<sup>3</sup>. С увеличением лдьистости и сплошности мерзлоты (которая также отражает суровость климата) падает жизнестойкость инфраструктуры: выше затраты на ее строительство и поддержание в рабочем состоянии.

**Административно-управленческая подсистема.** Набор показателей, который способен охарактеризовать жизнестойкость подсистемы управления, отличается от стандартных и достаточно хорошо известных показателей эффективности муниципального управления ввиду специфики задачи. Предварительную калибровку прошло около десятка показателей, в итоговом перечне оставлены три. *Административный статус города и уровень собственных доходов бюджета* (среднее за 2017–2019 гг.) показывают способность контроля судьбы, соответственно, в политико-административном и финансовом отношениях. Дополнительно использован также показатель *среднесписочной численности занятых в секторе «Государственное управление и обеспечение военной безопасности; социальное обеспечение» в соотношении с общим количеством занятых, в %* (среднее за 2017–2019 гг.). Показатель *расходов бюджета на одного жителя* (среднее за 2017–2019 гг.) косвенно отражает размер финансовых ресурсов, которые потенциально могут быть использованы самим городом для быстрого реагирования на кризисные ситуации.

Более детально выбор показателей отражен на созданном в рамках проекта ресурсе [Устойчивость арктических городов..., 2021].

**Методика кластеризации городов.** Первичный отбор переменных производился с привлечением метода главных компонент и анализа парных диаграмм рассеяния. Предпочтение отдавалось показателям, имеющим высокое влияние в первых пяти компонентах, позволяющих дифференцировать города, и далее разбить на группы по жизнестойкости, проводя кластерный анализ.

Набор данных с отобранными показателями был подготовлен для кластеризации:

- переменные со значительными, отличающимися на порядки, значениями были логарифмированы;

- все переменные были центрированы и масштабированы.

На первом этапе кластеризация производилась методами иерархической кластеризации и методом К-средних. Выбор лучшего числа кластеров производился методом «плеча» с оптимизацией характе-

<sup>3</sup> По карте IPA <https://nsidc.org/data/ggd318>.

ристики компактности кластеров, а также методом оптимизации ширины «силуэта».

На втором этапе (ввиду неудовлетворительных результатов, получаемых при помощи классических методов) были применены методы *t*-SNE<sup>4</sup> [Maaten, Hinton, 2008] и UMAP<sup>5</sup> [McInnes et al., 2018] для снижения размерности набора данных (применяются, когда метод главных компонент не способен выделить первые два-три компонента с высокой долей объясняемой дисперсии, в том числе из-за большого числа переменных). При помощи алгоритмов снижения размерности данные проецировались в две переменных (аналог основных компонент). Ввиду элемента случайности в работе алгоритмов, каждая операция по снижению размерности была выполнена в 1000 итераций. К результатам каждой итерации снижения размерности был применен метод GMM<sup>6</sup> [Scrusa et al., 2016] для кластеризации с автоматическим выбором оптимальной формы кластеров и оптимального числа кластеров по критерию максимизации BIC<sup>7</sup>. Исходные данные, код, воспроизводящий кластерный анализ, и графики опубликованы как дополнительные материалы к статье на GitHub [Kotov, 2022].

На последнем этапе полученные группы экспертно оценивались на предмет интерпретируемости.

## ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

**Кластеризация городов по многокомпонентному комплексному набору параметров потенциальной жизнестойкости.** Несмотря на многоступенчатый отбор переменных на первом этапе, результаты кластеризации классическими методами (иерархическая кластеризация и метод *K*-средних) не позволяют выделить устойчивые группы городов, которые бы характеризовались особыми значениями отобранных показателей и их комбинациями. Как видно из графиков (рис. 1), метод анализа ширины силуэта (справа) ложно указывает на 3 или 5 групп. Их действительно можно выделить, но, как видно на том же рисунке слева, компактность кластеров, независимо от метода кластеризации, снижается исключительно плавно, что говорит о нестабильности кластеров – малейшие вариации в значениях переменных, замена или исключение из анализа одной переменной немедленно приводят к перемещению значительного числа городов в совершенно другие группы.

<sup>4</sup> *t*-SNE – *t*-distributed Stochastic Neighbor Embedding (стохастическое вложение соседей с *t*-распределением).

<sup>5</sup> UMAP – Uniform Manifold Approximation and Projection.

<sup>6</sup> GMM – Gaussian Mixture Model.

<sup>7</sup> BIC – Bayesian Information Criterion (Байесовский информационный критерий).

Вывод о невозможности разбить рассматриваемые города на стабильные интерпретируемые группы классическими способами также подтверждается методом главных компонент. Как видно из графиков (рис. 2), только половина дисперсии объясняется первыми тремя компонентами, а чтобы объяснить при помощи переменных различия между городами (а следовательно, и группами городов) хотя бы на 75%, требуется уже минимум шесть компонент, каждая из которых включает влияние всех переменных. Это и приводит к невозможности формирования стабильных кластеров.

Только при применении описанной выше методики методом UMAP + GMM получилось выделить семь устойчивых групп городов (рис. 3) и проанализировать различия этих групп по исследуемым переменным (рис. 4). Сопоставление рисунков 3 и 4 позволяет выявить группы городов с относительно схожей конфигурацией системы жизнестойкости. Так, например, второй кластер (Воркута, Норильск, Дудинка) сильно «проигрывает» из-за суровости природных условий и транспортного положения – хотя имеет достаточно высокий уровень развития малого бизнеса и разнообразия социума; здесь почти нет деревянного жилья (существовавшие в этих городах ветхие деревянные бараки снесены). В целом, высокий уровень бюджетной обеспеченности (по показателю расходов бюджета на жителя), а также неплохой уровень развития малого бизнеса (в силу хорошо организованной господдержки) имеют ямальские города, Кола и Нарьян-Мар (шестая и седьмая группы). «Беда» шестой группы (Лабытнанги, Тарко-Сале, Ноябрьск, Муравленко, Салехард) – большая доля многоквартирного деревянного жилья (это низкокачественные двухэтажные строения типовых серий, а не индивидуальная застройка); этим они резко отличаются от большинства других «нефтегазовых» и иных городов с высокой бюджетной обеспеченностью (Губкинский, Новый Уренгой и др. – седьмая группа). Четвертая группа (Онега и др.) – это города с относительно однородным населением, изношенной инфраструктурой и высоким миграционным оттоком. Пятую группу составили очевидные лидеры по многим параметрам – Мурманск и Архангельск.

## ВЫВОДЫ

Результаты применения целой серии методов оценки жизнестойкости и потенциала жизнестойкости арктических городов России убеждают в абсолютной специфичности феномена арктического города: значительная их часть имеет уникальный набор потенциальных параметров жизнестойкости, обусловленный различными комбинациями организации подсистем экономической специализации, жизне-

обеспечения, социально-культурной, природно-экологической и административно-управленческой.

Выводы работы можно разделить на концептуальную и прикладную составляющие. Концептуальный вывод состоит в том, что жизнестойкость арктических городов формируется каждый раз уникальным сочетанием социокультурных, институциональных, производственных, технологических

и природно-экологических параметров. Интересно отсутствие зависимости жизнестойкости от общей численности населения города, специализации и т.д., что разрушает многие стереотипы относительно закономерностей развития городов в целом: в Арктике крупнейшие города не являются ни самыми инновационными, ни самыми комфортными с точки зрения качества жилого фонда и т.д.

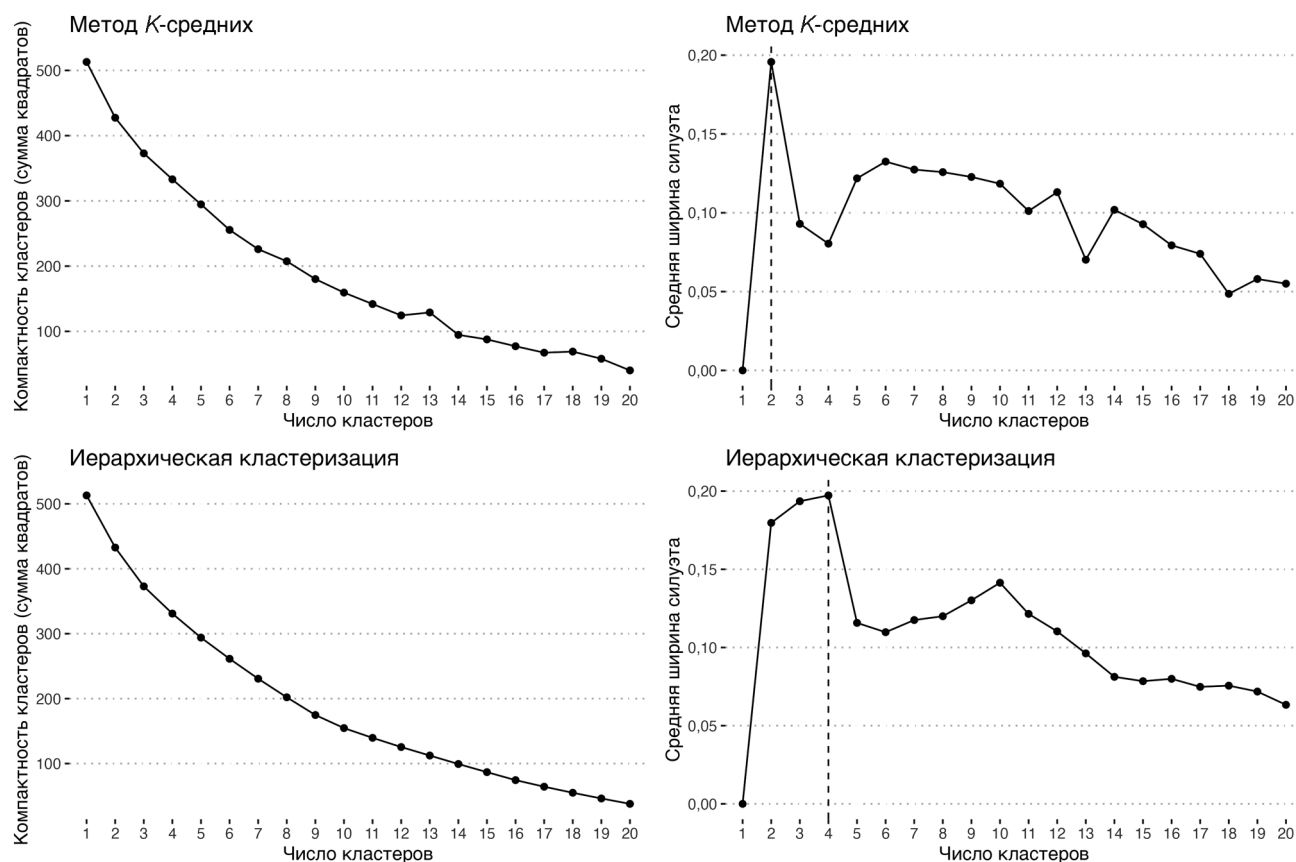


Рис. 1. Подбор оптимального числа кластеров формальными методами

Fig. 1. Selection of the optimal number of clusters using formal methods

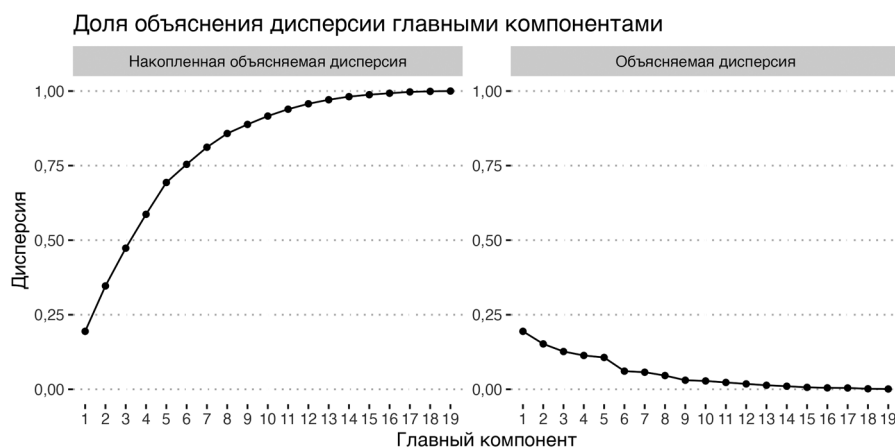


Рис. 2. Метод главных компонент на 19 отобранных переменных – объясняемая дисперсия

Fig. 2. The method of principal components on 19 selected variables – an explained variance

### Как часто города попадают в один кластер?

на основе 1000 итераций

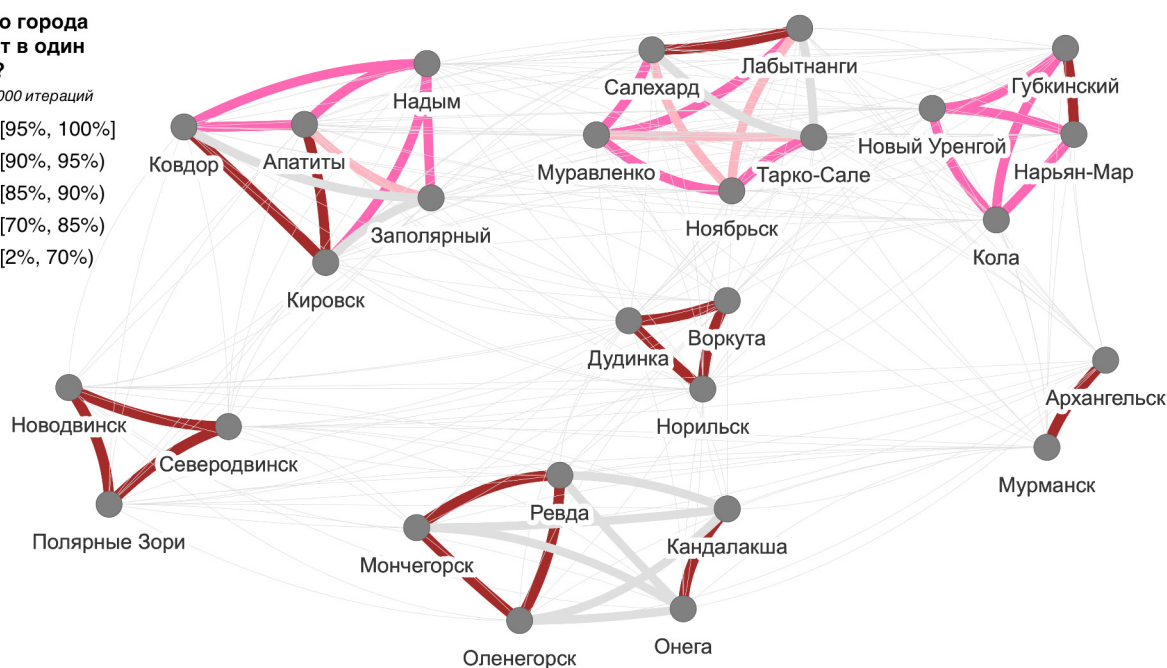
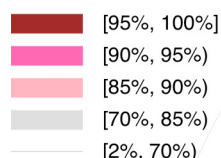


Рис. 3. Группы городов на основе GMM-кластеризации после снижения размерности методом UMAP

Fig. 3. Groups of cities based on GMM-clustering after reducing the dimension by the UMAP method

Главный прикладной вывод состоит в принципиальной неадекватности типовых решений для развития арктических городов: при относительно небольшом общем числе их совокупность отличается высоким разнообразием. Повышение жизнестойкости каждого из городов должно планироваться с опорой на самую сильную подсистему конкретного города, вокруг которой должна выстраиваться система взаимосвязи (и взаимозаменяемости в кризисных ситуациях) городских подсистем таким об-

разом, чтобы особенности сильной подсистемы создавали позитивные эффекты в более слабых – через перетоки кадров и инноваций, использование общей инфраструктуры, через развитие новых видов экономической деятельности, основанных на преимуществах «сильной» природно-экологической подсистемы, диверсификации экономики на основе многообразия опыта и внешних связей мультиэтнического городского сообщества и т. д. – в зависимости от конкретного города.

**Благодарности.** Статья подготовлена при поддержке гранта РФФИ № 18-05-60088 «Устойчивость развития Арктических городов в условиях природно-климатических изменений и социально-экономических трансформаций».

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Бабурин В.Л., Бадина С.В., Горячко М.Д., Земцов С.П., Колтерманн К.П. Оценка уязвимости социально-экономического развития Арктической территории России // Вестн. Моск. ун-та. Сер. 5. Геогр. 2016. № 6. С. 71–77.
- Бабурин В.Л., Земцов С.П. Эволюция системы городских поселений и динамика природных и социально-экономических процессов в Российской Арктике // Региональные исследования. 2015. Т. 50. № 4. С. 76–83.
- Виноградова В.В. Тепловое воздействие на территории России в середине XXI века по модельным данным // Известия РАН. Серия географическая. 2020. Т. 84. № 3. С. 404–413. DOI: 10.31857/S2587556620030115.
- Гончаров Р.В., Данькин М.А., Замятина Н.Ю., Молодцова В.А. Соборы в пустыне или опорные базы? Разнообразие городов и поселков Российской Арктики по характеру взаимосвязей с окружающей территорией // Городские исследования и практики. 2021. Т. 5. № 1. С. 33–56. DOI: <https://doi.org/10.17323/usp51202033-56>.
- Жихаревич Б.С., Климанов В.В., Марача В.Г. Шокоустойчивость территориальных систем: концепция, измерение, управление // Региональные исследования. 2020. № 3. С. 4–15. DOI: 10.5922/1994-5280-2020-3-1.
- Замятина Н.Ю., Гончаров Р.В. Арктическая урбанизация: феномен и сравнительный анализ // Вестн. Моск. ун-та. Сер. 5. Геогр. 2020. № 4. С. 69–82.

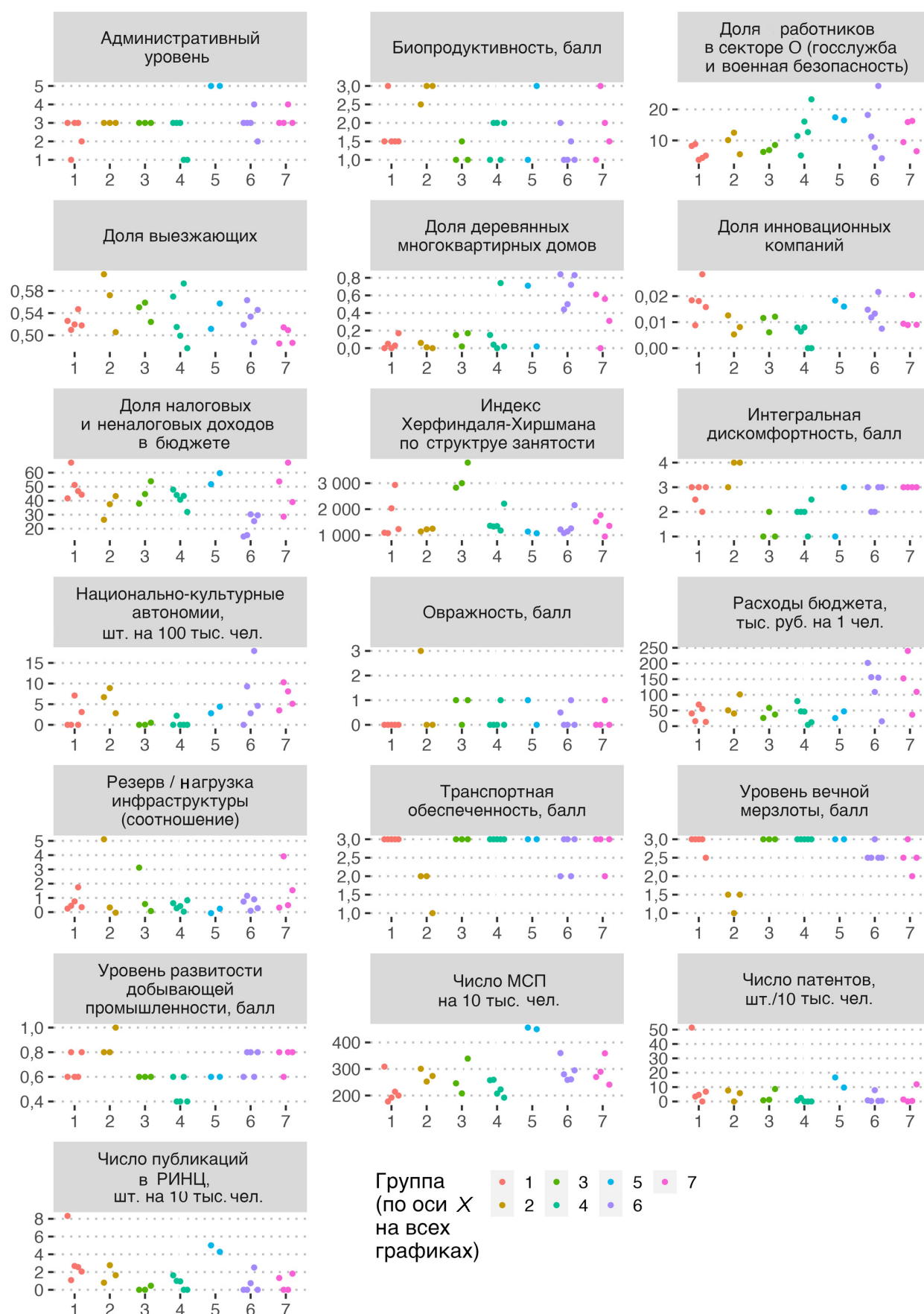


Рис. 4. Различия групп по значениям анализируемых переменных

Fig. 4. Differences between the groups by the values of analyzed variables

- Замятина Н.Ю., Медведков А.А., Поляченко А.Е., Шамало И.А. Жизнестойкость арктических городов: анализ подходов // Вестник Санкт-Петербургского университета. Науки о Земле. 2020. Т. 65. № 3. С. 481–505. DOI: 10.21638/spbu07.2020.305.
- Замятина Н.Ю., Пилясов А.Н. Инновационный поиск в монопрофильных городах: блокировки развития, новая промышленная политика и дорожная карта перемены. М.: УРСС, 2015. 216 с.
- Исаченко А.Г. Введение в экологическую географию. СПб.: СПбГУ, 2003. 192 с.
- Национальный атлас России. Т. 2: Природа. Экология / под ред. А.В. Бородко (предисл.), В.В. Свешников (гл. ред.) и др. М.: Роскартография, 2007. 496 с.
- Смирнов А.В. Человеческое развитие и перспективы формирования экономики знаний в Российской Арктике // Арктика: экология и экономика. 2020. № 2(38). С. 18–30. DOI: 10.25283/2223-4594-2020-2-18-30.
- Современные изменения в литосфере под влиянием природных и антропогенных факторов / под ред. В.И. Осипова, А.Л. Яншина и др. М.: Недра, 1996. 222 с.
- Arctic Resilience Report, M. Carson and G. Peterson (eds.), Stockholm Environment Institute and Stockholm Resilience Centre, Stockholm, 2016, 218 p.
- Arctic Social Indicators – a follow-up to the Arctic Human Development Report, J.N. Larsen, P. Schweitzer, and G. Fondahl (eds.), Nordic Council of Ministers, Copenhagen, 2010, 159 p.
- Collier F., Hambling J., Macmillan S., Richardson E., Pérez A.P., Kovacevic B., Miller R., Kernaghan S. Tomorrow's cities: a framework to assess urban resilience, *Proceedings of the Institution of Civil Engineers: Urban Design and Planning*, 2014, vol. 167(2), p. 79–91, DOI: 10.1680/udap.13.00019.
- Council A. Arctic resilience report, *Stockholm Environment Institute and Stockholm Resilience Centre*, 2016.
- Fiala D., Havenith G., Bröde P., Kampmann B., Jendritzky G. UTCI-Fiala multi-node model of human heat transfer and temperature regulation, *International journal of biometeorology*, 2012, vol. 56, p. 429–441, DOI: 10.1007/s00484-011-0424-7.
- Fingleton B., Garretsen H., Martin R. Recessional Shocks and Regional Employment: Evidence on the Resilience of UK Regions, *Journal of Regional Science*, 2012, vol. 52, no. 1, p. 109–133.
- Giannakis E., Bruggeman A. Economic crisis and regional resilience: Evidence from Greece, *Papers in Regional Science*, 2017, vol. 96, no. 3, p. 451–476.
- Holling C.S. Resilience and Stability of Ecological Systems, *Annual Review of Ecology and Systematics*, 1973, vol. 4, p. 1–23.
- Hopkins R. The Transition Handbook: From Oil Dependency to Local Resilience, Totnes, Devon: Green Books Ltd, 2018, 340 p.
- Klimanov V., Kazakova S., Mikhaylova A. Economic and Fiscal Resilience of Russia's Regions, *Regional Science Policy and Practice*, 2020, vol. 12, iss. 4, p. 627–640.
- Kumo K., Litvinenko T.V. Instability and stability in the population dynamics of Chukotka and its settlements in the post-soviet period: Regional features and intraregional and local differences, *Regional Research of Russia*, 2020, vol. 10, no. 1, p. 71–85.
- Maaten L.V.D., Hinton G. Visualizing Data using t-SNE, *Journal of Machine Learning Research*, 2008, vol. 9, p. 2579–2605.
- Maddi S., Khoshaba D. Resilience at work, New York, Amazon, 2005, 240 p.
- Martin R. Regional economic resilience, hysteresis and recessionary shocks, *Journal of Economic Geography*, 2012, vol. 12, no. 1, p. 1–32.
- McInnes L., Healy J., Melville J. UMAP: Uniform Manifold Approximation and Projection for Dimension Reduction, 2018, DOI: 10.48550/ARXIV.1802.03426.
- Polyachenko A. Regional Resilience of Russian Arctic Cities, *ERSA Abstract Book*, 2019, 346 p.
- Scrucca L., Fop M., Murphy T.B., Raftery A.E. Mclust 5: Clustering, Classification and Density Estimation Using Gaussian Finite Mixture Models, *The R Journal*, 2016, vol. 8(1), p. 205–233, DOI: 10.32614/RJ-2016-021.
- Vlasova T., Petrov A.N., Volkov S. Rethinking Sustainability Monitoring in the Arctic by Linking Resilience and Sustainable Development in Socially-Oriented Observations: A Perspective, *Sustainability*, 2021, vol. 13(1), p. 177, DOI: 10.3390/su13010177.
- Zamyatina N., Goncharov R. Arctic urbanization: resilience in a condition of permanent instability. The case of Russian Arctic cities, *Resilience and Urban Disasters Surviving Cities. New Horizons in Regional Science series*, K. Borsekova, P. Nijkamp (eds.), UK, Edward Elgar Publishing Ltd, 2018, p. 136–154.

#### Электронные ресурсы

- Устойчивость арктических городов / Сайт проекта «Устойчивость развития Арктических городов в условиях природно-климатических изменений и социально-экономических трансформаций». Грант РФФИ 18-05-60088. URL: <https://www.resilient-arctic-urban.space/> (дата обращения 09.03.2021).
- Kotov E. Clustering of Russian Arctic Cities: data, R code and plots, 2022, URL: <https://github.com/e-kotov/ru-resilient-arctic-clusters>, Zenodo, DOI: 10.5281/zenodo.6484062 (дата обращения 09.03.2021).

Поступила в редакцию 09.03.2021

После доработки 15.11.2021

Принята к публикации 09.03.2022

## RESILIENCE POTENTIAL OF THE RUSSIAN ARCTIC CITIES

N.Yu. Zamjatina<sup>1</sup>, E.A. Kotov<sup>2</sup>, R.V. Goncharov<sup>3</sup>, A.V. Burceva<sup>4</sup>, V.I. Grebenets<sup>5</sup>,  
A.A. Medvedkov<sup>6</sup>, V.A. Molodtsova<sup>7</sup>, V.P. Klyueva<sup>8</sup>, Yu.V. Kul'chitskii<sup>9</sup>, B.A. Mironova<sup>10</sup>,  
B.V. Nikitin<sup>11</sup>, A.N. Pilyasov<sup>12</sup>, A.E. Polyachenko<sup>13</sup>, A.V. Poturaeva<sup>14</sup>, D.A. Streletskii<sup>15</sup>,  
I.A. Shamalo<sup>16</sup>

<sup>1, 5, 6, 11, 12, 14, 16</sup> Lomonosov Moscow State University, Faculty of Geography

<sup>2, 3, 7, 9, 13</sup> HSE University

<sup>4</sup> Peter the Great St. Petersburg Polytechnic University, Higher School of Engineering Pedagogy,  
Psychology and Applied Linguistics

<sup>8, 15</sup> Tyumen Scientific Center SB RAS

<sup>10</sup> Analytical Center of the ANO "Moscow Urban Forum"

<sup>1</sup> Department of socio-economic geography of foreign countries, Associate Professor, Ph.D. in Geography;  
e-mail: nadezam@mail.ru

<sup>2</sup> Faculty of Urban and Regional Development / Vysokovsky Graduate School of Urbanism, Senior Lecturer, Scientific  
Researcher; e-mail: ekotov@hse.ru

<sup>3</sup> Faculty of Urban and Regional Development / Vysokovsky Graduate School of Urbanism, Associate Professor,  
Ph.D. in Geography; e-mail: rgoncharov@hse.ru

<sup>4</sup> Associate Professor, Ph.D. in Pedagogy; e-mail: alexandraburtseva@yandex.ru

<sup>5</sup> Department of Cryolithology and Glaciology, Associate Professor, Ph.D. in Geography; e-mail: vgreb@inbox.ru

<sup>6</sup> Department of World Physical Geography and Geoecology, Associate Professor, Ph.D. in Geography;  
e-mail: a-medvedkov@bk.ru

<sup>7</sup> Faculty of Urban and Regional Development / Vysokovsky Graduate School of Urbanism, Lecturer, Junior Researcher;  
e-mail: vmolodtsova@hse.ru

<sup>8</sup> Institute of Problems of the Development of the North, sector of Social Anthropology, Leading Scientific Researcher,  
Ph.D. in History; e-mail: vormpk@gmail.com

<sup>9</sup> Faculty of Urban and Regional Development / Vysokovsky Graduate School of Urbanism,  
Lecturer; e-mail: kulchitsky@hse.ru

<sup>10</sup> Analyst; e-mail: Mironova@mosurbanforum.ru

<sup>11</sup> Department of socio-economic geography of foreign countries, postgraduate student; e-mail: borisnikitin25@gmail.com

<sup>12</sup> Department of socio-economic geography of foreign countries, Professor, D.Sc. in Geography; e-mail: pelyasov@mail.ru  
<sup>13</sup> Faculty of Economic Sciences, master student; e-mail: apolyachenko@gmail.com

<sup>14</sup> Department of socio-economic geography of foreign countries, postgraduate student; e-mail: av-poturaeva@yandex.ru

<sup>15</sup> Institute of the Earth's Cryosphere, Senior Scientific Researcher, Ph.D. in Geography; e-mail: strelets@udel.edu

<sup>16</sup> Department of socio-economic geography of foreign countries, postgraduate student; e-mail: vshamalo@rambler.ru

Resilience is the ability of urban systems to overcome natural or manufactured crises. It is regarded as a complementary concept to that of sustainable development. Application of the concept of resilience is particularly relevant in the Arctic, where both natural and economic systems are particularly vulnerable. The article analyzes 19 quantitative indicators for 27 Arctic settlements of the Russian Federation according to the following subsystems: economic specialization, life support and communal services, socio-cultural, natural-ecological, administrative and managerial. Cluster analysis identified 7 groups of cities that consistently demonstrate similarity under different versions of analysis. Overcoming crises in a city development requires simultaneous resilience in different subsystems of urban development; the weakness of any of these subsystems could cause the collapse of the entire system. Therefore, the assessment of resilience requires an integrated approach.

**Keywords:** sustainable development, Arctic cities, socio-ecological systems

**Acknowledgements.** The study was financially supported by the Russian Foundation for Basic Research (project no. 18-05-60088 "Urban Arctic resilience in the context of climate change and socio-economic transformation").

## REFERENCES

- Arctic Resilience Report, M. Carson and G. Peterson (eds.), Stockholm Environment Institute and Stockholm Resilience Centre, Stockholm, 2016, 218 p.
- Arctic Social Indicators – a follow-up to the Arctic Human Development Report, J.N. Larsen, P. Schweitzer, and G. Fondahl (eds.), Nordic Council of Ministers, Copenhagen, 2010, 159 p.
- Baburin V.L., Badina S.V., Goryachko M.D., Zemtsov S.P., Koltermann K.P. Otsenka uyazvimosti sotsial'no-ekonomicheskogo razvitiya Arkticheskoi territorii Rossii [Vulnerability assessment of the socio-economic development of the Russian Arctic territories], *Vestn. Mosk. un-ta, Ser. 5, Geogr.*, 2016, no. 6, p. 71–77. (In Russian)

- Baburin V.L., Zemtsov P.P. Evolyutsiya sistemy gorodskikh poselenii i dinamika prirodnikh i sotsial'no-ekonomicheskikh protsessov v Rossiiskoi Arktike [Evolution of the urban settlement system and the dynamics of natural and socio-economic processes in the Russian Arctic], *Regional'nye issledovaniya*, 2015, vol. 50, no. 4, p. 76–83. (In Russian)
- Collier F., Hambling J., Kernaghan S. et al. Tomorrow's cities: a framework to assess urban resilience, *Proceedings of the Institution of Civil Engineers: Urban Design and Planning*, 2014, vol. 167(2), p. 79–91, DOI: 10.1680/udap.13.00019.
- Council A. *Arctic resilience report*. Stockholm Environment Institute and Stockholm Resilience Centre, 2016.
- Fiala D. UTCI-Fiala multi-node model of human heat transfer and temperature regulation, *Int. Journal of Biometeorol.*, 2012, no. 56, p. 429–441.
- Fingleton B., Garretsen H., Martin R. Recessionary Shocks and Regional Employment: Evidence on the Resilience of UK Regions, *Journal of Regional Science*, 2012, vol. 52, no. 1, p. 109–133.
- Giannakis E., Bruggeman A. Economic crisis and regional resilience: Evidence from Greece, *Papers in Regional Science*, 2017, vol. 96, no. 3, p. 451–476.
- Goncharov R.V., Dan'kin M.A., Zamyatina N.Yu. Molodtsova V.A. Sobory v pustyni ili opornye bazy? Raznoobrazie gorodov i poselkov Rossiiskoi Arktiki po kharakteru vzaimosvyazei s okruzhayushchei territoriei [Cathedrals in the desert or support bases? The diversity of cities and towns of the Russian Arctic by the nature of relationships with the surrounding territory], *Gorodskie issledovaniya*, 2021, vol. 5, no. 1, p. 33–56, DOI: 10.17323/usp51202033-56. (In Russian)
- Holling C.S. Resilience and Stability of Ecological Systems, *Annual Review of Ecology and Systematics*, 1973, vol. 4, p. 1–23.
- Hopkins R. *The Transition Handbook: From Oil Dependency to Local Resilience*, Totnes, Devon, Green Books Ltd, 2018, 340 p.
- Isachenko A.G. *Vvedenie v ekologicheskuyu geografiyu* [Introduction to ecological geography], SPb., SPbGU, 2003, 192 p. (In Russian)
- Klimanov V., Kazakova S., Mikhaylova A. Economic and Fiscal Resilience of Russia's Regions, *Regional Science Policy and Practice*, 2020, vol. 12, iss. 4, p. 627–640.
- Kumo K., Litvinenko T.V. Instability and stability in the population dynamics of Chukotka and its settlements in the post-soviet period: Regional features and intraregional and local differences, *Regional Research of Russia*, 2020, vol. 10, no. 1, p. 71–85.
- Maaten L.V.D., Hinton G. Visualizing Data using t-SNE, *Journal of Machine Learning Research*, 2008, vol. 9, p. 2579–2605.
- Maddi S., Khoshaba D. *Resilience at work*, New York, Amazon, 2005, 240 p.
- Martin R. Regional economic resilience, hysteresis and recessionary shocks, *Journal of Economic Geography*, 2012, vol. 12, no. 1, p. 1–32.
- McInnes L., Healy J., Melville J. *UMAP: Uniform Manifold Approximation and Projection for Dimension Reduction*, 2018, DOI: 10.48550/ARXIV.1802.03426.
- Natsional'nyi atlas Rossii, t. 2, Priroda. Ekologiya* [National Atlas of Russia, vol. 2, Nature, Ecology], A.V. Borodko, V.V. Sveshnikov et al. (eds.), Moscow, Roskartografiya Publ., 2007, 496 p. (In Russian)
- Pilyasov A.N., Kolesnikova O.V. Otsenka tvorcheskogo potentsiala rossiiskikh regional'nykh soobshchestv [Assessment of the creative potential of Russian regional communities], *Voprosy ekonomiki*, 2008, no. 9, p. 50–69. (In Russian)
- Polyachenko A. Regional Resilience of Russian Arctic Cities, *ERSA Abstract Book*, 2019, p. 346.
- Scrucca L., Fop M., Murphy T.B., Raftery A.E. Mclust 5: Clustering, Classification and Density Estimation Using Gaussian Finite Mixture Models, *The R Journal*, 2016, vol. 8(1), p. 205–233, DOI: 10.32614/RJ-2016-021.
- Smirnov A.V. Chelovecheskoe razvitiye i perspektivy formirovaniya ekonomiki znaniy v Rossiiskoi Arktike [Human development and prospects for the formation of the knowledge economy in the Russian Arctic], *Arktika: ekologiya i ekonomika*, 2020, no. 2(38), p. 18–30, DOI: 10.25283/2223-4594-2020-2-18-30. (In Russian)
- Sovremennye izmeneniya v litosfere pod vliyaniem prirodnikh i antropogennykh faktorov* [Modern changes in the lithosphere under the influence of natural and anthropogenic factors], V.I. Osipov, A.L. Yanshin et al. (eds.), Moscow, Nedra Publ., 1996, 222 p. (In Russian)
- Vinogradova V.V. Teplovoe vozdeistvie na territorii Rossii v seredine XXI veka po model'nym dannym [Thermal impact on the territory of Russia in the middle of the 21<sup>st</sup> century according to model data], *Izvestiya Rossiiskoi akademii nauk. Seriya geograficheskaya*, 2020, vol. 84, no. 3, p. 404–413. (In Russian)
- Vlasova T., Petrov A.N., Volkov S. Rethinking Sustainability Monitoring in the Arctic by Linking Resilience and Sustainable Development in Socially-Oriented Observations: A Perspective, *Sustainability*, 2021, vol. 13(1), p. 177, DOI: 10.3390/su13010177.
- Zamyatina N.Yu. Razvilki sud'by frontirnogo goroda: uroki Igarki [The forks of the fate of a frontier city: the lessons of Igarka], *EKO*, 2021, no. 1, p. 67–92. (In Russian)
- Zamyatina N.Yu., Goncharov R.V. Arkticheskaya urbanizatsiya: fenomen i sravnitel'nyi analiz [Arctic urbanization: a phenomenon and a comparative analysis], *Vestn. Mosk. un-ta, Ser. 5, Geografiya*, 2020, no. 4, p. 69–82. (In Russian)
- Zamyatina N.Yu., Medvedkov A.A., Polyachenko A.E., Shmallo I.A. Zhiznestoikost' arkticheskikh gorodov: analiz podkhodov [Resilience of Arctic cities: analysis of approaches], *Vestn. Sankt-Peterburgskogo un-ta, Nauki o Zemle*, 2020, vol. 65, no. 3, p. 481–505, DOI: 10.21638/spbu07.2020.305. (In Russian)
- Zamyatina N., Goncharov R. Arctic urbanization: resilience in a condition of permanent instability. The case of Russian Arctic cities, *Resilience and Urban Disasters Surviving Cities. New Horizons in Regional Science series*, K. Borsekova, P. Nijkamp (eds.), UK, Edward Elgar Publishing Ltd, 2018, p. 136–154.
- Zamyatina N.Yu., Pilyasov A.N. *Innovatsionnyi poisk v monoprofil'nykh gorodakh: blokirovki razvitiya, novaya promyshlennaya politika i dorozhnaya karta peremen* [Innovative search in single-industry cities: development blocks, new industrial policy and a roadmap for change], Moscow, URSS Publ., 2015, 216 p. (In Russian)
- Zhikharevich B.P., Klimanov V.V., Maracha V.G. Shokoustoichivost' territorial'nykh sistem: kontseptsiya, izmerenie, upravlenie [Shock resistance of territorial systems: concept, measurement, management], *Regional'nye issledovaniya*, 2020, no. 3, p. 4–15, DOI: 10.5922/1994-5280-2020-3-1. (In Russian)

*Web sources*

- Kotov E., Clustering of Russian Arctic Cities: data, R code and plots, 2022, URL: <https://github.com/e-kotov/ru-resilient-arctic-clusters>, Zenodo, DOI: 10.5281/zenodo.6484062 (access date 09.03.2021).
- Ustoichivost' arkticheskikh gorodov* [Sustainability of Arctic cities], Sait proekta Grant RFFI 18-05-60088 Ustoichivost' razvitiya Arkticheskikh gorodov v usloviyakh prirodno-klimaticheskikh izmenenii i sotsial'no-ekonomicheskikh transformatsii [Website of the RFBR Grant project 18-05-60088 Sustainability of the development of Arctic cities in the conditions of natural and climatic changes and socio-economic transformations], URL: <https://www.resilient-arctic-urban.space/> (access date 09.03.2021).

Received 09.03.2021

Revised 15.11.2021

Accepted 09.03.2022