

УДК: 314.9+528.9

DOI: 10.35595/2414-9179-2023-1-29-55-72

В.С. Тикунов¹, В.Р. Гайдуков²

ГЕОИНФОРМАЦИОННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ИНДЕКСА ЧЕЛОВЕЧЕСКОГО РАЗВИТИЯ СТРАН ОЭСР И ИХ РЕГИОНОВ

АННОТАЦИЯ

Статья посвящена вопросам разработки индекса человеческого развития (ИЧР) в рамках проведения межтерриториальных сравнений стран Организации экономического сотрудничества и развития (ОЭСР) и их регионов. Рассмотрены процессы создания базовой картографической основы для проведения геоинформационного моделирования индекса человеческого развития на страновом и региональном уровнях одновременно. Выявлены новые черты аппарата математико-картографического моделирования, описаны основные концептуальные сложности разработки тематического содержания подобного моделирования. На основе анализа международной и российской версии индекса человеческого развития предложена концепция тематического наполнения данного индекса для обеспечения межтерриториальных сравнений. В рамках геоинформационного моделирования были получены результаты с позиций общих представлений о дифференциации территорий по значениям индекса человеческого развития. Предложен подход к комплексированию оценочных и типологических моделей, который позволил не только рассмотреть типологию территорий по степени интенсивности значений индикаторов индекса человеческого развития, но и рассмотреть их в связке со всем многообразием значений индекса в рамках данного типа, что позволило дать комплексную характеристику территории. Полученный анализ позволил рассмотреть территорию с позиции общественного здоровья, эффективности системы среднего специального и высшего образования, а также оценить размер экономики территории применительно к численности населения. На основе этого был выявлен ряд основных проблем территорий с позиций компонентов индекса человеческого развития и дан ряд рекомендаций лицам, принимающим управленческие решения в рамках ведения национальной и региональной политики.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: индекс человеческого развития, общественное здоровье, эффективность системы образования, социально-экономическое развитие, геоинформационное моделирование

¹ Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, Географический факультет, Ленинские горы, д. 1, Москва, Россия, 119991,
e-mail: vstikunov@yandex.ru

² Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, Географический факультет, Ленинские горы, д. 1, Москва, Россия, 119991,
e-mail: gayd.vladislav2013@yandex.ru

Vladimir S. Tikunov¹, Vladislav R. Gaidukov²

GEOINFORMATION MODELING OF THE HUMAN DEVELOPMENT INDEX OF OECD COUNTRIES AND THEIR REGIONS

ABSTRACT

The article is devoted to the development of the Human development Index (HDI) in the framework of inter-territorial comparisons of the countries of the Organization for Economic Cooperation and Development (OECD) and their regions. The processes of creating a basic cartographic basis for conducting geoinformation modeling of the human development index at the country and regional levels at the same time are considered. New features of the mathematical-cartographic modeling apparatus are revealed, the main conceptual difficulties of developing the thematic content of such modeling are described. Based on the analysis of the international and Russian versions of the human development index, the concept of thematic content of this index is proposed to ensure inter-territorial comparisons. Within the framework of geoinformation modeling, the results were obtained from the standpoint of general ideas about the differentiation of territories according to the values of the human development index. An approach to the integration of evaluation and typological models is proposed, which allowed not only to consider the typology of territories according to the degree of intensity of the values of the human development index indicators, but also to consider them in conjunction with the entire variety of index values within this type, which made it possible to give a comprehensive characteristic of the territory. The analysis made it possible to consider the territory from the standpoint of public health, the effectiveness of the system of secondary specialized and higher education, as well as to assess the size of the territory's economy in relation to the population. On the basis of this, a number of the main problems of the territories were identified from the standpoint of the components of the human development index and a number of recommendations were given to those making managerial decisions within the framework of national and regional policy.

KEYWORDS: human development index, public health, efficiency of the education system, socio-economic development, geoinformation modeling

ВВЕДЕНИЕ

Изучение социально-экономического развития во все времена являлось темой, не теряющей своей актуальности. Причиной того, что данная тематика широко волновала и продолжает волновать все мировое сообщество, является ее исключительная важность для комфортного существования человечества. Правильная и объективная оценка развития территории — во многом залог успешного, стабильного мирового развития, ключ к решению крайне острой проблемы социально-экономического неравенства, а также к разработке документов в области мировой, национальной, региональной политики и источник новых научных открытий для эффективного и рационального управления территориями.

Поиск подходящего инструмента для измерения социально-экономического развития все чаще заставляет обращаться к огромному числу индексов, которые в данный момент времени востребованы и популярны, разрабатываются ведущими международными

¹ M.V. Lomonosov Moscow State University, Faculty of Geography, 1, Leninskie Gory, Moscow, 119991, Russia, *e-mail*: vstikunov@yandex.ru

² M.V. Lomonosov Moscow State University, Faculty of Geography, 1, Leninskie Gory, Moscow, 119991, Russia, *e-mail*: gayd.vladislav2013@yandex.ru

и национальными организациями. Их использование на различных территориальных уровнях сопряжено с рядом сложных проблем в методическом и концептуальном плане. Во многих случаях используемые наборы данных, даже в самых авторитетных индексах, очень специфичны и имеют ряд концептуальных вопросов, признаваемых самими авторами; при этом данные наборы составлены так, что их статистическая несоизмеримость делает невозможным их использование на различных территориальных уровнях. Это доказывает наличие огромного числа национальных версий даже основополагающих индексов, признаваемых мировым сообществом, одним из которых является индекс человеческого развития.

Индекс человеческого развития (ИЧР) — составной индекс, ежегодно рассчитываемый Программой развития ООН. Индекс измеряет уровень жизни, грамотности, образованности и продолжительности жизни как основных характеристик человеческого потенциала. В соответствии со значением индекса происходит классификация стран по уровню развития.

Человеческое развитие понимается как результат социально-экономического развития с одной стороны, и как основа будущего роста — с другой; и в настоящее время представляет собой один из наиболее востребованных объектов исследования экономической науки. На его основании можно объективно оценить деятельность органов власти, сформировать систему важнейших целевых показателей социально-экономического развития [Иконникова, 2012].

Вследствие этого появляется необходимость формирования набора данных для правомерного расчета индексов для сравнения стран и их регионов как единой системы, а также поиска непротиворечивой методики его расчета. На базе этого возможно проводить корректные научные сравнения, формировать программы территориального развития и управления.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

На первом этапе проведения исследования стояла задача адаптации тематического набора индикаторов, входящих в ИЧР, для проведения правомерных и объективных межтерриториальных сравнений. Для этого была тщательно проанализирована концепция классического тематического наполнения ИЧР для исследования стран мира, показанных на рис. 1.

Расчет индексов развития человеческого потенциала – графическая презентация



Рис. 1. Тематическое содержание классического варианта ИЧР¹
Fig. 1. Thematic content of the classical version of the HDI

¹ Caplan B. Against the Human Development Index, 2009. Электронный ресурс: http://econlog.econlib.org/archives/2009/05/against_the_hum.html (дата обращения 05.12.2022).

Содержательный анализ индикаторов в рамках корректности межтерриториальных сравнений вызывает определенные вопросы. Использование в качестве индикаторов образования среднего количества лет обучения в школе и ожидаемых лет обучения при поступлении в систему образования является весьма спорным решением [Косьмин и др., 2017]. Синхронизация этих индикаторов даже на страновом уровне сопряжена с большим числом трудностей и упирается в различные сроки обучения и разницу в самих системах образования в странах мира. То же самое касается и уровня доходов, который можно лишь условно количественно соизмерить для проведения межстрановых исследований. Само понятие «доход» может по-разному восприниматься населением на одной и той же территории, что также делает его крайне непростым показателем в плане унификации [Суринов, Луппов, 2020].

Проиллюстрируем данный тезис на примере рассчитанного ИЧР для регионов России в рамках исследований ООН. Вариант, разработанный для регионов России, имеет несколько измененный тематический набор индикаторов, отвечающий требованиям и реалиям отечественной учетно-статистической информации [Янгирова, Искаков, 2022].

ИЧР российских регионов по федеральным округам, 2019 год

	Душевой ВВП, долл. ППС	Индекс дохода	Ожидаемая продолжительность жизни, лет	Индекс долготелности	Грамотность, %	Доля учащихся в возрасте 7–24 лет	Индекс образования	ИЧР 2019	Место 2019	ИЧР 2018	Место 2018
Центральный федеральный округ	32727	0,875	74,5	0,826	99,8	0,900	0,965	0,887	2	0,883	2
Северо-Западный федеральный округ	32433	0,873	73,7	0,812	99,8	0,892	0,963	0,881	3	0,875	3
Южный федеральный округ	19176	0,794	73,7	0,812	99,7	0,865	0,953	0,850	6	0,848	6
Северо-Кавказский федеральный округ	11108	0,712	76,6	0,861	99,2	0,707	0,897	0,819	8	0,815	8
Приволжский федеральный округ	24309	0,830	72,9	0,799	99,6	0,870	0,954	0,858	4	0,853	4
Уральский федеральный округ	50506	0,940	72,5	0,792	99,7	0,871	0,955	0,893	1	0,890	1
Сибирский федеральный округ	26057	0,840	71,1	0,769	99,6	0,882	0,958	0,852	5	0,849	5
Дальневосточный федеральный округ	28804	0,855	70,2	0,754	99,7	0,822	0,939	0,846	7	0,842	7
Россия	29189	0,857	73,3	0,806	99,7	0,862	0,952	0,870		0,866	

Рис. 2. Перечень индикаторов ИЧР Российских регионов¹
 Fig. 2. List of indicators of the HDI of Russian regions

Перечень индикаторов ИЧР для российских регионов отличается иным тематическим содержанием: вместо показателя дохода используется региональный ВВП на душу населения, в блоке образования используется показатель доли учащихся в возрасте 7–24 лет. Все это доказывает неприменимость даже самых авторитетных индексов при переходе уровня расчета на иной территориальный уровень. При ином наборе данных их

¹ Индекс человеческого развития в России 2021/2022: региональные различия. Электронный ресурс: https://ac.gov.ru/uploads/2Publications/analitika/2022/_2021_long.pdf?ysclid=llqvsvua5v505895282 (дата обращения 23.04.2023).

статистическая несопоставимость делает невозможным использование национальной версии в рамках международных сравнений.

Вследствие данных трудностей был пересмотрен набор индикаторов, используемых при расчете данного индекса. Отметим, что сами тематические блоки — экономика, продолжительность жизни и образование — остались без изменений. Были пересмотрены лишь индикаторы, из которых состоят данные блоки.

В блоке экономики показатель дохода на душу населения был заменен на ВРП на душу населения. В целом подобная замена делает данный блок более формализуемым, поскольку при этом обеспечивает отсутствие необходимости возможного дополнительного анализа стоимости проживания на территории и уводит его из аспектов субъективных оценочных суждений, которые могут возникнуть при рассмотрении дохода, однако при этом позволяет рассмотреть размер экономики территории по отношению к населению. Отечественная разработка также оправдывает и допускает наш подход в рамках оценки экономической составляющей, где используется показатель ВВП (ВРП) на душу населения [Горбунова, 2013].

Блок продолжительность жизни предлагается расширить индексом общественного здоровья, состоящим из показателей ожидаемой продолжительности жизни женщин и мужчин, а также младенческой смертностью. Данный индекс апробирован в научных исследованиях и является полезным инструментом при оценке условий и качества жизни человека [Колосницына, 2019].

Наибольшему переосмыслению подвергся блок образования, который, согласно классической методике, является наиболее неоднозначным и противоречивым. Смещение акцентов на школьное образование и в целом на грамотность населения вполне оправдано при оценке индекса в масштабах всего мира, когда в исследовании принимают участие беднейшие страны, где проблема отсутствия даже базового образования и низкого уровня грамотности действительно ярко выражена [Ломакина, 2013].

В случаях, когда исследование направлено на рассмотрение стран только с высоким и очень высоким уровнем человеческого развития, подобный подход может потерять свою ярко выраженную работоспособность вследствие повсеместно высоких значений уровня грамотности населения, а также наличием обязательного минимального уровня образования, декларируемого на государственном уровне. Это особенно актуально для нашего исследования, поскольку, согласно докладу о человеческом развитии, ни одна из рассматриваемых нами стран не находится на низком или даже среднем уровне по ИЧР.

Правильность подобных рассуждений подтверждает также пересмотр блока образования в отечественной адаптации ИЧР, составленного ООН. Даже в разрезе федеральных округов России показатель грамотности населения практически не имеет ярко выраженной дифференциации и повсеместно имеет значение более 99 % [Бирюков, 2016], в то время как показатель «доля учащихся в возрасте 7–24 лет» имеет скорее демографический характер, явно не относящийся к самому понятию человеческого развития.

Для решения данных проблем предложено произвести смещение акцентов с уровня школьного образования на более высокие его ступени. Такой подход направлен на рассмотрение человеческого развития и реализации в рамках уровней образования, не являющихся обязательными, а выбираемых самим человеком.

Были использованы следующие показатели: число лиц с высшим и средним образованием в доле работоспособного населения в возрасте от 16 до 25 лет и число безработных лиц, имеющих высшее и среднее образование, по отношению к работоспособному населению. Таким набором характеризуется эффективность самой системы образования, сложившейся в стране, с позиций реализации человеческого

потенциала. Все данные были взяты из международных баз региональных и страновых данных таких организаций, как ОЭСР¹ и Евростат², а также дополнены данными национальных статистических агентств. Была предложена многоуровневая концепция расчета ИЧР для проведения правомерных межтерриториальных сравнений (рис. 3).



Рис. 3. Многоуровневая концепция расчета ИЧР для межтерриториальных сравнений
Fig. 3. Multilevel concept of HDI calculation for interterritorial comparisons

После определения тематического набора индикаторов стало возможным приступить к процессу геоинформационного моделирования, который потребовал разработки цифровой картографической основы и выбора математического аппарата моделирования.

Проведение геоинформационного моделирования ИЧР для правомерных межтерриториальных сравнений на уровне стран и их регионов требует интеграции базовых пространственных и статистических социально-экономических данных. При этом процесс интеграции на первом этапе базируется на актуализации базы пространственных данных [Тикунов и др., 2023].

Была разработана цифровая картографическая основа, отображающая современное состояние населенных пунктов, дорожной сети, административных границ и ряда прочих общегеографических объектов, типичных для социально-экономической картографии. Это было осуществлено с опорой на единицы статистического учета наднациональных статистических агентств [Тулохонов, 2007]. Особое внимание при разработке основы уделено сетке административных границ, которая является связующим звеном между пространственными данными и набором первичных социально-экономических индикаторов.

Согласно опыту исследований регионов России и стран Евросоюза, основная сетка регионов стран выбиралась согласно европейскому стандарту учета территориальных единиц уровня NUTS-2¹ (регионы второго уровня — «средней величины») [Игонин, 2012], которые опираются на единицы статистического учета, а также на программы ведения национальной и региональной политики. Учитывая данный опыт, на глобальном уровне были использованы стандарты статистической организации ОЭСР.

Территориальные сетки (TL2 и TL3) официально установлены и относительно стабильны во всех странах — членах ОЭСР и используются многими в качестве основы для

¹ OECD.Stat. Электронный ресурс: <https://stats.oecd.org/> (дата обращения 01.06.2021).

² Eurostat (European Statistical Office; DG ESTAT). Электронный ресурс: <https://ec.europa.eu/eurostat/> (дата обращения 01.06.2021).

реализации региональной политики, а также являются единицами статистического учета на региональном уровне¹.

Регионы в 38 странах ОЭСР классифицируются по двум территориальным уровням, отражающим административную организацию стран. 391 крупный регион ОЭСР (TL2) представляет собой первый административный уровень субнационального управления, 2 197 малых регионов ОЭСР (TL3) включены в регион TL2 и представляют второй административный уровень. Регионы TL3 соответствуют административным регионам, за исключением Австралии, Канады, Германии и Соединенных Штатов. Все регионы определены в пределах национальных границ².

Для стран, не входящих в ОЭСР, были определены только регионы TL2 для Колумбии и Российской Федерации, тогда как для Латвии и Литвы TL3 получены из европейского стандарта NUTS^{1,2}.

При создании основы уделено внимание системе связей базовой картографической основы и набора индикаторов на глобальном уровне для обеспечения достоверности, сопоставимости и автоматизированной обработки информации в разрезе административно-территориального деления.

Специально для проведения исследования был создан классификатор, построенный по иерархичной системе, когда все множество объектов административно-территориального деления подразделяется на группы согласно территориальному делению, и эти группы располагаются по двум уровням классификации в соответствии с административной подчиненностью, причем в каждый уровень включаются объекты, непосредственно подчиненные объектам предыдущего уровня.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Первый уровень классификации включает 38 государств, участвующих в моделировании. Согласно кодировке, принятой ОЭСР, каждая страна имеет свой уникальный цифровой код, который и используется для связи базовой картографической основы с базой индикаторов.

Ко второму уровню классификации относится 421 регион стран, включенных в моделирование. Причем в рамках базы данных ОЭСР каждый регион страны имеет собственный индикационный номер, характерный только для данной территориальной единицы.

Путь создания трехзначного или четырехзначного итогового индикатора делает данную систему непротиворечивой и упорядоченной. В нижеприведенном изображении показан фрагмент базы глобальных данных на базовой картографической основе, выделенные регионы соответствуют АД Чехии. Четырехзначный индикатор территории принимает вид 1604, где первые две цифры — код, принятый для страны, к которой данные регионы относятся, вторые две — уникальное значение самой территориальной единицы. В случае если индикатор страны не превышает двузначных значений, индикатор региона будет трехзначным соответственно. Подобная система хорошо подходит для проведения межтерриториальных сравнений, при необходимости — единовременного учета как странового, так и регионального уровня (рис. 4).

Таким образом формируется уникальная базовая картографическая основа, полностью отвечающая возможным задачам как национального, так и регионального анализа, а также территориального управления (рис. 4–5).

¹ NUTS — Nomenclature of territorial units for statistics. European Commission. Электронный ресурс: <https://ec.europa.eu/eurostat/web/regions-and-cities/overview> (дата обращения 25.04.2023).

² Организация экономического сотрудничества и развития (ОЭСР). Электронный ресурс: <https://anticor.hse.ru/main/organization/OECD?ysclid=llr01xroqk298084701> (дата обращения 25.04.2023).

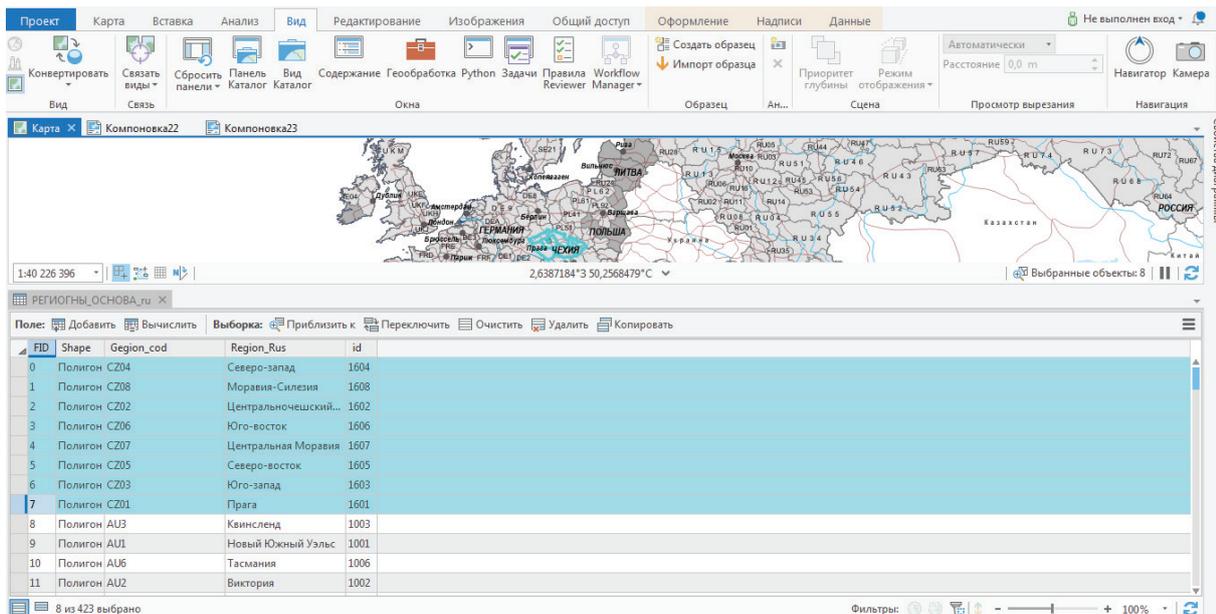


Рис. 4. Региональная кодировка согласно разработанной классификации
 Fig. 4. Regional coding according to the developed classification

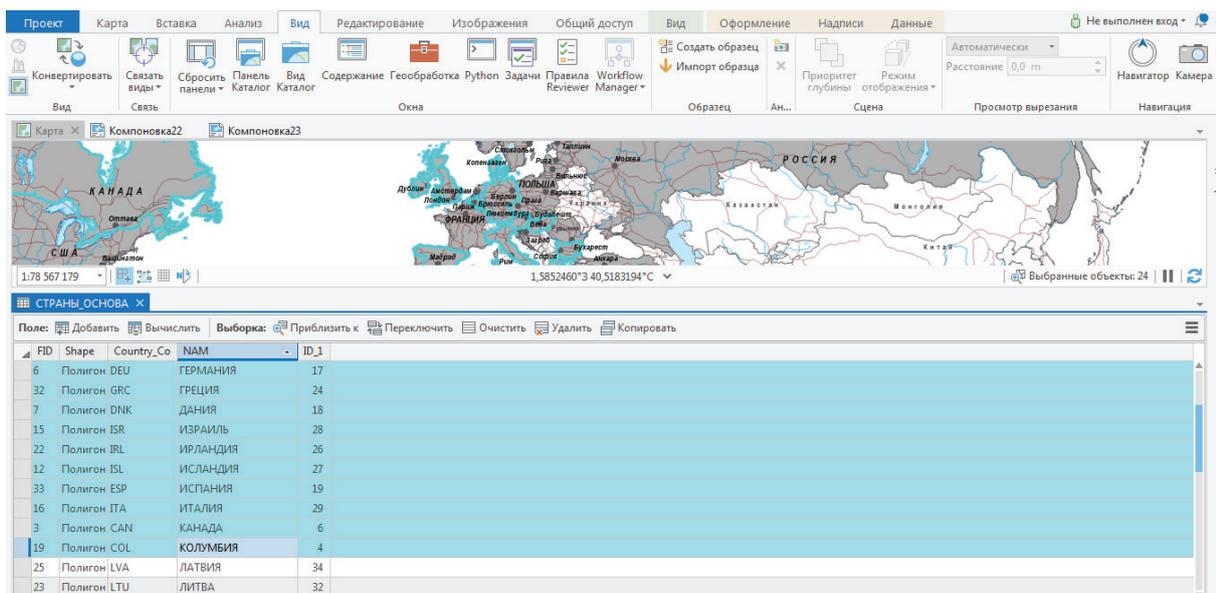


Рис. 5. Страновая кодировка согласно разработанной классификации
 Fig. 5. Country coding according to the developed classification

На основании первого элемента геоинформационной модели можно осуществлять сам процесс моделирования (рис. 6–7).



Рис. 6. Фрагмент базовой картографической основы, часть 1
Fig. 6. Fragment of the basic cartographic framework, part 1



Рис. 7. Фрагмент базовой картографической основы, часть 2
Fig. 7. Fragment of the basic cartographic framework, part 2

Далее наступил черед выбора математического аппарата моделирования. На взгляд авторов наиболее подходящим инструментарием расчета территориальных индексов являются алгоритмы математико-картографического моделирования, которые обеспечивают непосредственную связь индикаторов, участвующих в расчете интегрального индекса с территориальной единицей [Тикун, 1997]. Данные алгоритмы имеют широкое научное признание, однако их использование в рамках учета странового и регионального уровня будет сопровождаться определенными особенностями, ранее не раскрытыми при работе на региональном или страновом уровне по отдельности [Тимонин, 2015].

Рассмотрим основные особенности данного алгоритма через возможную технологическую схему его реализации для геоинформационного моделирования ИЧР.

На первом этапе пользователь, моделирующий соответствующий индекс, обращается к базе социально-экономических индикаторов и отбирает необходимые данные для расчета индекса, согласно его задаче.

Необходимость правомерных межтерриториальных сравнений в рамках моделирования по оценочному алгоритму во многом описывается впервые, что может создать специфические изменения самой технологии расчета.

Применительно к классической методике, первым этапом моделирования является нормировка индикаторов согласно формуле (1):

$$\hat{x}_{ij} = \frac{|x_{ij} - x_j^0|}{|\max/\min x - x_j^0|}, \quad i = 1, 2, 3, \dots, N, \quad j = 1, 2, 3, \dots, M, \quad (1)$$

где x — наихудшее значение (по каждому показателю) из всех встречающихся с точки зрения их влияния на разрабатываемый индекс.

Так, при расчете индекса ИЧР, а именно — индекса общественного здоровья в рамках наихудших значений показателей, характеризующих процессы смертности, требуется брать максимальные значения младенческой смертности $\max/\min x$ — наиболее отличающиеся от x^0 значения показателей; n — количество исследуемых территориальных единиц [Прохоров, Тикун, 2005].

Здесь заложена ключевая особенность моделирования на данном уровне исследования, которая заключается в необходимости одномоментного учета показателей как стран, так и их регионов, вследствие чего до этапа расчета нормировок встает задача создания технического картографического спаянного слоя, содержащего все 454 территориальные единицы. Данный слой был специально разработан для нашего исследования. Разработанная и описанная система кодировок территорий максимально соответствует решаемой задаче. Упомянутый слой участвует лишь в расчетах, используется как технический и в дальнейшем как самостоятельный тематический слой при картографировании результатов моделирования не участвует. Но он играет большую роль в рамках расчета страновых и региональных показателей как единого массива; m — число показателей, использованных для расчетов, индивидуальное для каждого индекса.

Таким образом, на первом этапе исследователю необходимо создать технический картографический слой на основе геоинформационной модели, база данных которого содержит все территориальные единицы и приуроченные к ним пространственно-распределенные социально-экономические индикаторы, задействованные в исследовании, а также провести двухэтапную свертку показателей по методу главных компонент.

На следующем этапе работы на базе нормированных показателей в рамках спаянного слоя производится ранжирование каждой территориальной единицы путем сравнения показателей всех территориальных единиц с условной наихудшей. Оно осуществляется с использованием евклидовых расстояний (d^0) как меры близости всех территориальных единиц к условной, имеющей наихудшие значения (x) по всему комплексу показателей. Использование координатного пространства также способствует учету непосредственной связи каждого индикатора с территориальной единицей в процессе моделирования индексов [Прохоров, Тикунов, 2005].

С целью более корректной агрегации всех индикаторов в сводный индекс использование данного алгоритма требует дополнительной обработки информационного массива индикаторов и приуроченных к ним территорий с использованием машинного обучения по методу главных компонент для ортогонализации и свертки системы показателей.

Полученные значения вектора-столбца d^0 интегральных оценочных характеристик для удобства дальнейшего анализа были дополнительно нормированы по формуле (2):

$$\hat{d}_i^0 = \frac{d_i^0 - \min d^0}{\max d^0 - \min d^0}, \quad i = 1, 2, 3, \dots, n. \quad (2)$$

Величина d^0 варьируется в пределах от нуля до единицы (ноль соответствует наихудшей комплексной оценке, единица — наилучшей). На ее основании производится дальнейший содержательный географический анализ результатов моделирования в рамках образованных тематических слоев картографической модели, отличающейся информационным контентом от базовой. Пользователь в итоге получает новый тематический слой, содержащий значения смоделированного интегрального индекса.

Далее данный алгоритм может использоваться в рамках двух основных направлений. Одно из этих направлений используется для получения индивидуализированной характеристики каждой территориальной единицы путем получения значения положения территориальной единицы при сравнении ее с элементами всей системы.

Алгоритм в подобной интерпретации позволяет создавать ценный материал для комплексной оценки территориального развития, поскольку включает все многообразие территориальных единиц и их индивидуальность.

Для более детального и глубоко анализа социально-экономического развития территории через применение территориальных индексов с возможностью рассмотрения внутренней структуры индекса и понимания процессов, происходящих в территориальной социально-экономической системе, необходимо обращение к типологическому алгоритму [Тикунов, 1997].

На первом этапе, как и в оценочном алгоритме, необходимо выбирать базовый набор индикаторов, на основе которого и будет вестись реализация алгоритма. Набор данных также должен быть из спаянного слоя, содержащего все 454 территориальные единицы.

В рамках данного исследования была установлена еще одна специфическая особенность геоинформационного моделирования социально-экономических индексов. Для многоуровневых интегральных индексов, таких как ИЧР, должны быть рассчитаны самостоятельные индексы для каждого индикатора на основе оценочного алгоритма (индекса ВРП на душу населения, индекса общественного здоровья, а также блока образования), на значения которых будет опираться типологический алгоритм. Далее также

производится нормировка исходных данных, но, в отличие от оценочного алгоритма, она производится по дисперсиям согласно формуле (3):

$$\hat{x}_{ij} = \frac{x_{ij} - \bar{x}_j}{\sigma_j} \quad \bar{x}_j = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_{ij}; \quad \sigma_j = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (x_{ij} - \bar{x}_j)^2} \quad (3)$$

$$i = 1, 2, 3, \dots, n; j = 1, 2, 3, \dots, m;$$

На следующем этапе рассчитывается матрица для расчета евклидовых расстояний (d_{ik}), соединяющих каждую пару включенных в расчет участков границ и отражающих их различия по формуле (4):

$$d_{ik} = \sqrt{\sum_{j=1}^m (\hat{x}_{ij} - \hat{x}_{kj})^2}, \quad i = 1, 2, 3, \dots, n; j = 1, 2, 3, \dots, m; \quad (4)$$

В самом простом случае реализация типологической классификации заключается в следующем: из полученных значений d_{ik} выбирается наибольшее расстояние, а две территориальные единицы, которые оно связывает, становятся ядрами однородных типов (таксонов). Таксоны формируются распределением остальных регионов между двумя ядрами по минимальности евклидовых расстояний.

В случае выделения большего числа таксонов на первом этапе для выделения третьего ядра и в последующих каждую из всех оставшихся территориальных единиц подставляют в виде ядра, а остальные распределяются между требуемым числом ядер по минимальности d_{ik} и находится вариант с наименьшими внутригрупповыми различиями [Игонин, Тикунов, 2019].

Для каждого варианта группировки подсчитывается сумма внутригрупповых различий и тот вариант, который дает наименьшую сумму, принимается в качестве окончательного, а территориальная единица, служившая ядром, фиксируется как окончательное третье ядро. Процедура продолжается аналогично для формирования четырех, пяти, шести и т. д. однородных групп [Игонин, Тикунов, 2019].

На каждом шаге определяется новое ядро и формируется новая группировка. Получаемый ряд группировок можно анализировать на основе абсолютного и относительного коэффициентов неоднородности и с их помощью выбирать оптимальное количество таксонов [Игонин, 2019].

В рамках реализации данного алгоритма мы получаем, помимо распределения территориальных единиц по типам, таблицы, содержащие групповые характеристики внутренних структур каждого типа, которые крайне полезны при комплексном анализе территориальных единиц при расчете социально-экономических индексов.

На завершающем этапе пользователем формируется новый тематический слой, содержащий атрибутивную информацию согласно установленному в процессе моделирования типу территории.

Особо отметим, что типологический алгоритм не моделирует само значение индекса, он позволяет проводить содержательный анализ выделенных типов для комплексной характеристики территории. Она требует обязательного комплексирования оценочной и типологической картографической модели. Данное действие является типичным с позиций составления общих социально-экономических карт [Салищев, 1990] и позволяет

рассматривать индивидуальные оценочные значения индексов в сочетании с внутренней структурой индексов, характеризующих типы территорий. Это позволяет обоснованно установить социально-экономические процессы, происходящие на территории с разным уровнем индексов социально-экономического развития.

Таким образом, нами были получены две картографические модели: оценочная и комплексная оценочно-типологическая.

Рассмотрим правомерность результатов моделирования на примере оценочной модели 1 (рис. 8). На ней отчетливо прослеживается скопление высоких значений в регионах стран Западной и Северной Европы, что видно и при изучении странового уровня; наиболее высокими значениями индекса обладают Финляндия, Швеция, Германия, Австрия и Исландия. Отметим, что данные страны не имеют четко выраженной территориальной дифференциации на региональном уровне.

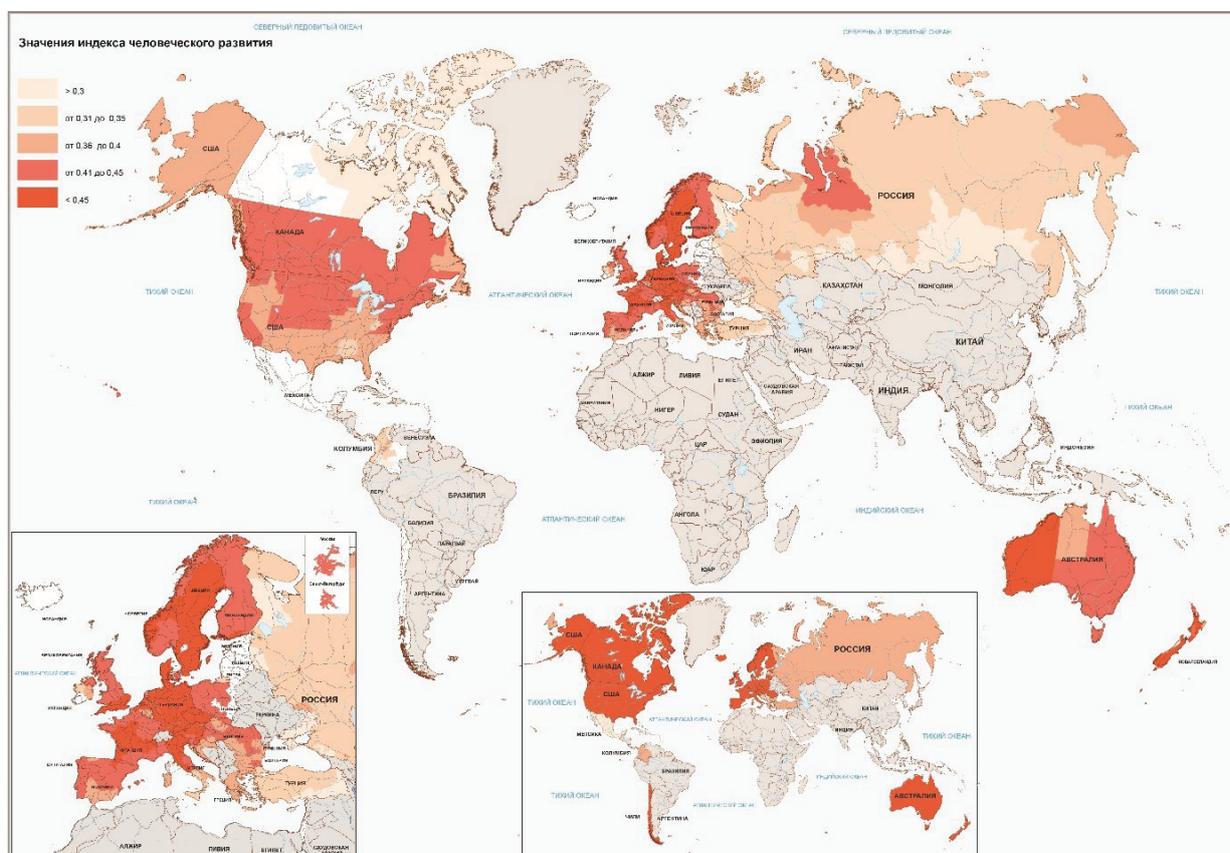


Рис. 8. Оценочная картографическая модель индекса человеческого развития (модель 1)
Fig. 8. Estimated cartographic model of the human development index (model 1)

Следующую группу образуют регионы таких стран, как США, Австралия, Новая Зеландия, Канада, страны Южной и Восточной Европы. Отметим, что территориальная дифференциация данных стран более выражена, например — четко выражена дифференциация северных и южных штатов США. Происходит заметное снижение показателя ИЧР по направлению на юг и восток в регионах стран Европы.

К странам с низкими значениями ИЧР относятся Россия, Турция и Колумбия. Отметим, что регионы азиатской южной границы в России образуют целый агломерат территорий с минимальными значениями ИЧР, которые не достигают 0,3.

Схожая ситуация характерна и для Турции, где имеется скопление таких регионов у границы со странами ближнего Востока.

В целом подобная картина вполне согласуется с общими представлениями о географии ИЧР и может быть использована для дальнейшего комплексного анализа. Оформление результатов проводится через сочетание двух способов: штриховок и фоновой заливки или двух фоновых заливок с осветлением одной из них.

Традиционные взгляды в картографии говорят о плохой сочетаемости фоновых методов как способа комплексирования типологических и оценочных моделей. Наилучшим вариантом комплексирования моделей является создание окантовок контуров полигонов, а также проведение простейшей с позиций геоинформационного моделирования операции — слияния полигонов по единому атрибуту в рамках типологической модели. Путем применения данной методики была получена комплексная картографическая модель 2 (рис. 9).

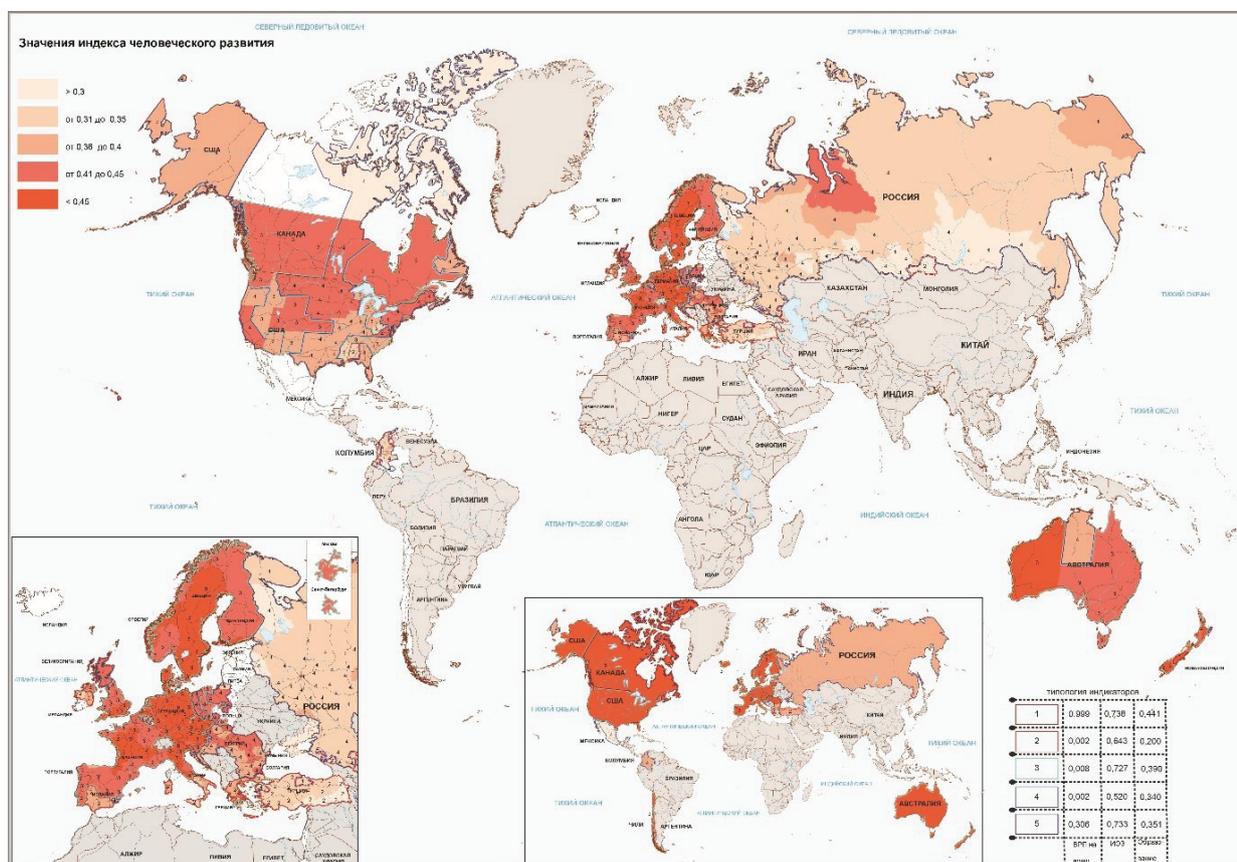


Рис. 9. Комплексная модель картографическая модель индекса человеческого развития (модель 2)

Fig. 9. Complex model cartographic model of the human development index (model 2)

Был проведен содержательный анализ полученных результатов на основании комплексной картографической модели в рамках влияния каждого индикатора на значения интегрального индекса. Данный анализ позволил составить содержательные расшифровки для каждого типа территории, представленные на модели 2:

- первый тип — максимальные значения индексов ВРП, ИОЗ и образования;
- второй тип — территории с минимальными значениями индекса ВРП на душу населения, высокими значениями ИОЗ, минимальными значениями индекса образования;
- третий тип — территории с очень высокими значениями ИОЗ и индекса образования, с невысокими значениями индекса ВРП на душу населения;
- четвертый тип — территории со сниженными значениями ИОЗ, пониженными значениями индекса образования и минимальными значениями индекса ВРП;
- пятый тип — высокие значения индекса ВРП, ИОЗ и образования.

На этом этапе работ дается оценка типов.

Первый тип распространен в единственном регионе, который имел лидирующие значения во всех рассчитываемых индексах за исключением индекса размера. Данный регион — Кентербери отличается очень высокими значениями интегрального индекса с максимальными возможностями для реализации человеческого развития.

Второй тип характерен преимущественно для территорий с минимальными значениями ИЧР; к таким территориям относятся: Республика Адыгея, юго-восточная часть Турции и др. На таких территориях высокая доля ИОЗ может свидетельствовать о благоприятном климате, хороших условиях окружающей среды, а также хорошей работе системы здравоохранения. Но они отличаются колоссальными проблемами в системе образования и в экономической сфере.

Третий тип территорий имеет основное распространение на территориях со значениями ИЧР выше среднего, от 0,351 до 0,4: в основном это регионы Европейских стран, а также крупнейшие города России — Москва и Санкт-Петербург. Для таких территорий характерны проблемы в экономической сфере и образовательной компоненте, при этом социальные условия согласно ИОЗ развиты хорошо. Данный аспект может указывать на недостаточность размера экономики в рамках системы образования для полноценной реализации человеческого развития, при этом показатели социальной сферы достаточны для поддержания высоких значений ИЧР. Страновой анализ данной группы показал, что в нее попали страны Европы и США, что может говорить о проблемах в национальном управлении. Однако высокие значения ИОЗ свидетельствуют о высоком уровне развития социальной сферы в целом.

Отличительная особенность 4 типа сразу же выделяется при анализе модели и заключается в его распространении исключительно на территориях со значениями ИЧР ниже среднего (от 0,31 до 0,35) и на некоторых территориях с более высокими значениями, исключительно локализованными в странах Восточной Европы — Болгарии, Румынии, а также скоплении северных штатов США и во всех регионах России, за редким исключением. На страновом уровне данный тип представлен Болгарией, Румынией, Россией, Мексикой и Колумбией. Для таких территорий, учитывая средние и нижние значения ИЧР и типологию значений индикаторов, можно выделить следующие отличительные признаки с позиции социально-экономических процессов: явно наблюдаемые проблемы в экономической сфере, ощутимые проблемы в системах высшего и среднего образования в аспектах их эффективности, а также общественного здоровья, что говорит о комплексе проблем, связанных с человеческим развитием. Для лиц, принимающих управленческие решения, такие территории могут говорить о том, что на них необходимы системные решения, способные улучшить всю социально-экономическую сферу.

Пятый тип представлен исключительно на страновом уровне. Принимая во внимание схожесть данного типа с территориальной единицей первого уровня, мы приходим к выводу, что в данной группе находятся наиболее успешные страны с наиболее

благоприятными условиями для реализации человеческого развития; к таким странам относится Канада.

Таким образом, путем комплексирования оценочных и типологических характеристик, можно оценить значения индикаторов с позиции их внутренней структуры, установить социально-экономические процессы, происходящие с привязкой к уровням значений глобального уровня человеческого развития.

ВЫВОДЫ

В рамках исследования был произведен анализ международных и национальных инициатив расчета индекса человеческого развития, была установлена существенная разница в тематическом содержании и невозможность использования данных систем для правомерных межтерриториальных сравнений на страновом и региональном уровнях одновременно.

Была разработана многоуровневая система индексов для получения значений интегрального уровня индекса человеческого развития. На ее основании определен состав тематических индикаторов, полностью отвечающих требованиям проведения межтерриториальных сравнений на страновом и региональном уровнях, разработана иерархическая система территориальных индикаторов в геоинформационной модели.

Рассмотрены особенности проведения геоинформационного моделирования, выявлены основные особенности данного моделирования в рамках единовременного учета странового и регионального уровня, что позволило обогатить представления о классических с позиций картографии алгоритмах математико-картографического моделирования.

Созданные оценочные, типологические и комплексные картографические модели показали свою высокую эффективность для географического анализа смоделированных индексов. В рамках картографирования и анализа предложены авторские решения комплексирования оценочной и типологической модели, позволившее детально рассмотреть типологическую принадлежность территории и выявить все разнообразие территориальной дифференциации оценочных значений для каждого типа.

Созданные картографические модели позволили вывить уровни развития территорий и описать возможные происходящие процессы, установить наиболее проблемные аспекты с позиций человеческого развития.

В результате проведенного анализа смоделированный индекс доказал свои достоверность и соответствие общим представлениям социально-экономической географии. Это является подтверждением не только правомерности самого подхода к определению тематического содержания, но и возможности его расчета при геоинформационном моделировании.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Бирюков И.Г. Дифференциация российских регионов по уровню человеческого развития. Мир науки и образования, 2016. № 1(5). С. 79–96.

Горбунова О.Н. ИЧР: методологии расчета, показатели и индикаторы. Социально-экономические явления и процессы, 2013. № 3(49). С. 49–53.

Игонин А.И., Тикунов В.С. Математико-картографическое моделирование и картографирование демографической ситуации в регионах Европы и России. Наука. Инновации. Технологии, 2019. № 3. С. 115–130.

Иконникова О.В. Развитие теории человеческого капитала: общественно исторические и экономические аспекты. Проблемы современной экономики, 2012. № 4. С. 443–446.

Колосницына М.Г. Факторы роста ожидаемой продолжительности жизни: кластерный анализ по странам мира. Демографическое обозрение, 2019. Т. 6. № 1. С. 124–150.

Космин А.Д., Кузнецова О.П., Космина Е.А. Краткий обзор подходов к измерению человеческого развития. Российское предпринимательство, 2017. № 10. С. 1615–1636. DOI: 10.18334/rp.18.10.37968.

Ломакина Т.Ю. Концептуальные подходы формирования образовательной траектории личности в системе непрерывного образования. Отечественная и зарубежная педагогика, 2013. № 6(15). С. 260.

Салищев К.А. Картоведение: учебник, 3-е изд. М.: МГУ, 1990. 400 с.

Суринов А.Е., Луппов А.Б. Неравенство по доходам в России. Измерение на основе эквивалентного дохода. Экономический журнал ВШЭ, 2020. № 4. С. 539–571. DOI: 10.17323/1813-8691-2020-24-4-539-571.

Тикунов В.С. Моделирование в социально-экономической картографии. М.: Издательство Московского университета, 1985. 280 с.

Тикунов В.С. Моделирование в картографии: учебник для студентов, обучающихся по направлению «География», специальность «Картография». М.: Издательство Московского университета, 1997. 403 с.

Тимонин С.А. Математико-картографическое и геоинформационное моделирование демографических процессов в регионах Российской Федерации. Вестник Московского университета. Серия 5: География, 2010. № 5. С. 11–18.

Тулохонов А.К., Бешенцев А.Н., Лубсанов А.А. Создание геоинформационных ресурсов на основе ретроспективных топографических карт. Вычислительные технологии, 2007. Т. 12. № S3. С. 100–107.

Янгирова Е.И., Искаков М.Р. Оценка человеческого развития в Российской Федерации. Уровень жизни населения регионов России, 2022. № 2. С. 147–150.

REFERENCES

Biryukov I.G. Differentiation of Russian regions by the level of human development. The World of the Science and Education, 2016. No. 1(5). P. 79–96 (in Russian).

Gorbunova O.N. HDI: Calculation methodologies, indicators and indicators. Socio-economic Phenomena and Processes, 2013. No. 3(49). P. 49–53 (in Russian).

Igonin A.I., Tikunov V.S. Mathematical cartographic modeling and mapping of the demographic situation in the regions of Europe and Russia. Science. Innovations. Technologies, 2019. No. 3. P. 115–130 (in Russian).

Ikonnikova O.V. Development of the theory of human capital: Socio-historical and economic aspects. Problems of Modern Economics, 2012. No. 4. P. 443–446 (in Russian).

Kolosnitsyna M.G. Factors of life expectancy growth: Cluster analysis by countries of the World. Demographic Review, 2019. V. 6. No. 1. P. 124–150 (in Russian).

Kosmin A.D., Kuznetsova O.P., Kosmina E.A. A brief overview of approaches to measuring human development. Russian Entrepreneurship, 2017. No. 10. P. 1615–1636 (in Russian). DOI: 10.18334/rp.18.10.37968.

Lomakina T.Y. Conceptual approaches to the formation of the educational trajectory of the individual in the system of continuing education. Domestic and Foreign Pedagogy, 2013. No. 6(15). P. 260 (in Russian).

Salishchev K.A. Cartography: Textbook. 3rd ed. Moscow: MSU, 1990. 400 p. (in Russian).

Surinov A.E., Luppov A.B. Income inequality in Russia. Measurement based on equivalent income. HSE Economic Journal, 2020. No. 4. P. 539–571 (in Russian). DOI: 10.17323/1813-8691-2020-24-4-539-571.

Tikunov V.S. Modeling in socio-economic cartography. Moscow: Moscow University Press, 1985. 280 p. (in Russian).

Tikunov V.S. Modeling in cartography: A textbook for students studying in the direction of “Geography”, spec. “Cartography”. Moscow: Moscow University Press, 1997. 403 p. (in Russian).

Timonin S.A. Mathematical-cartographic and geoinformation modeling of demographic processes in the regions of the Russian Federation. Moscow University Bulletin. Series 5: Geography, 2010. No. 5. P. 11–18 (in Russian).

Tulokhonov A.K., Beshentsev A.N., Lubsanov A.A. Creation of geoinformation resources based on retrospective topographic maps. Computational Technologies, 2007. V. 12. No. S3. P. 100–107 (in Russian).

Yangirova E.I., Iskakov M.R. Assessment of human development in the Russian Federation. Living Standards of the Population in the Regions of Russia, 2022. No. 2. P. 147–150 (in Russian).
