

УДК 330.3 (332.02)

DOI: 10.15587/1729-4061.2020.194155

Разработка метода оптимизации структуры инвестиций для достижения стратегических ориентиров социально-экономического развития регионов

Л. С. Мазелис, К. И. Лавренюк, А. А. Красько, Е. В. Красова, Е. Д. Емцева

Запропоновано метод формування оптимальної структури регіональних державних інвестицій, що сприяє через випереджальний розвиток людського капіталу досягненню стратегічних цілей і завдань соціально-економічного розвитку регіону. Розглянуто динамічну модель, що представляє собою задачу математичного програмування і описує у вигляді рекурентних залежностей ланцюжок каналів впливу: «структура та обсяги інвестицій → показники регіонального людського капіталу → показники соціально-економічного розвитку регіону». В якості цільової функції використовується зважене середнє значення ступенів досягнення цільових значень результуючих показників соціально-економічного розвитку на даному горизонті планування. Рекурентні залежності являють собою лагові економетричні моделі панельних даних з використанням головних компонент. Для побудови трьох типів моделей (наскрізні, з детермінованими і випадковими просторовими ефектами) методом Best Subset використовувалося відкрите програмне забезпечення R. Кращі моделі вибиралися за допомогою тестів Вальда, Хаусмана і Бройша-Пагана. Обмеження в моделі являють собою ряд припущень щодо процесів розвитку людського капіталу та соціально-економічного розвитку з урахуванням невизначеностей. Змінними оптимізації є частки розподілу інвестиційних ресурсів за напрямками інвестування та роками. За результатами моделювання і чисельними розрахунками на прикладі кількох регіонів Росії в динаміці по роках запропонована оптимальна структура інвестицій. Дана структура дозволяє максимально просунутися до досягнення цільових значень стратегічних показників розвитку регіону за рахунок розвитку людського капіталу

Ключові слова: соціально-економічний розвиток регіону, людський капітал регіону, оптимізація структури інвестицій, багатоперіодна економіко-математична модель

1. Введение

В условиях возрастающей конкуренции между субъектами различных рынков возникает необходимость формирования новых конкурентных преимуществ. С одной стороны, это связано с созданием новых субъектов, связанных с производством и реализацией информационных и инновационных продуктов. С другой стороны, это вызывает целесообразность сокращения себестоимости продукции за счет автоматизации, цифровизации и роботизации большинства процессов, т. е. за счет повышения производительности труда. В этих условиях на первое место выходят высококвалифицированные кадры, которые и являются основным ресурсом разработки и реализации совершенно новых инструментов. При этом основным

индикатором эффективности использования человеческого капитала является уровень развития территории, который выражается в основных показателях социально-экономического развития. В свою очередь, для того, чтобы совершить качественный скачок в развитии человеческого капитала, необходимо оптимизировать все капитальные вложения, которые напрямую или косвенно влияют на него (в том числе и на региональном уровне).

Таким образом, одна из идей развития страны заключается в том, что инвестиции в качество жизни и человеческий капитал должны приводить к развитию социальной и экономической сред территорий. Как показывает опыт развитых стран конца XX – начала XXI вв., развитие человеческого капитала и связанных с ним высокотехнологичных производств идет быстрее роста валового внутреннего продукта. Это позволяет национальным экономикам не только скомпенсировать рецессивные признаки традиционных сфер хозяйствования, но и достичь в долгосрочной перспективе сбалансированности территориально-отраслевого развития. Соответственно, можно говорить о наличии органической связи инвестиций в человеческий капитал и экономического роста, характеризуемого конкретными статистическими показателями.

Многочисленные исследования в рамках теории человеческого капитала обосновывают ведущую роль инвестиций в образование, здравоохранение и качество жизни, способствующих развитию интеллектуально-инновационного потенциала и экономическому росту. Само понятие человеческого капитала трактуется классиками этой теории как совокупность инвестиций в образование и профессиональные навыки человека, повышающие его способность к труду. В частности, в [1] проведено сравнение человеческого капитала с физическим и показано, что инвестиционные расходы в человеческий капитал равнозначны инвестированию в физический капитал и способны принести в будущем не меньшую, а то и большую прибыль.

Вопросы, связанные с процессами оптимизации структуры государственных инвестиций по направлениям вложений, имеют огромное практическое значение для национального и регионального менеджмента. Органы управления стремятся увеличить инновационный и социально-экономический потенциалы своих территорий в соответствии с текущими приоритетами развития.

В данном процессе государственные органы власти опираются на ряд программных документов по социально-экономическому развитию, в которых обозначены целевые ориентиры удовлетворения запросов базовых стейкхолдеров – населения, бизнеса, государства.

Для регионов конечный эффект от инвестиций в человеческий капитал выражается в увеличении конкурентоспособности региональной экономики, росте валового регионального продукта и неуклонном повышении уровня жизни населения на территориях. В настоящее время государственное управление придерживается политики наращивания инвестиций как ключевого фактора увеличения ВВП. Однако, наличие ограниченности финансовых ресурсов в регионах повышает актуальность проблемы их оптимального распределения по направлениям вложений средств. В связи с этим, актуальным является вопрос оптимизации структуры инвестиций, которая позволит:

- достигать целевых значений социально-экономического развития регионов за счет повышения уровня развития человеческого капитала;
- рационально использовать имеющиеся ресурсы;
- совершенствовать территориально-отраслевую составляющую ВВП.

2. Анализ литературных данных и постановка научной проблемы

Большая заслуга в становлении взглядов на роль и место инвестиций в развитие человеческого капитала (ИЧК) и ускорение на этой основе экономического роста принадлежит классикам теории человеческого капитала. Исследования продолжила плеяда современных ученых, давших на основе своих работ множество выводов и рекомендаций по проблемам рационализации процесса инвестирования в странах и регионах. В научной литературе можно выделить несколько больших групп исследований в данной сфере. Исследования, посвященные оценке роли человеческого капитала и ИЧК в общем социально-экономическом развитии, определяют место человеческого капитала в современном общественно-воспроизводственном процессе. Также они выявляют специфику трансформации инвестиций в человеческий капитал в конкретные параметры экономического роста. Одни работы являются системными исследованиями фундаментальных свойств инвестиций, направляемых в человеческий капитал, и их места в социально-экономическом развитии. Другие работы, напротив, рассматривают роль ИЧК более прицельно, через призму отдельных отраслей, рынков и сфер деятельности. Так, работа [2] обосновывает роль человеческого капитала и экономики знаний как основного источника экономического роста. Статья [3], основываясь на концепции инновационной экономики, предлагает повышение удельного веса в российском государственном бюджете производительных расходов, т. е. инвестиций в человеческий и физический капитал, с целью существенного ускорения экономического роста страны. Однако в работе не обозначено, насколько и как должен быть оптимизирован бюджет, и увеличены расходы на человеческий капитал. Исследование [4] обнаруживает, что в период 1960–2011 гг. инвестиции в человеческий капитал и динамика производственной специализации являлись решающими факторами экономического роста для развитых стран. Но здесь затронут макрорегиональный аспект без анализа национальной специфики развития человеческого капитала. Исследование [5], проведенное для стран ОПЕК, показывает, что развитие человеческого капитала стало решающим фактором долгосрочного экономического роста, значительно повлияв при этом на сокращение бедности в этих странах. Статья [6], изучающая факторы экономического роста в Африке, говорит о четкой обратной связи между интенсивностью эксплуатации природных ресурсов и уровнем развития человеческого капитала. Несмотря на представляющие научный интерес выводы, в данной статье взаимосвязь человеческого капитала и уровня социально-экономического развития проанализирована через призму экономической специфики африканских стран, и не может быть применена целиком к другим странам. Анализ данных по США за период 1949–2014 гг., представленный в [7], отражает положительное влияние инвестиций, сделан-

ных оборонным сектором страны в человеческий капитал, на накопление человеческого капитала и экономический рост страны в целом.

Вместе с тем, в период затяжной рецессии мировой экономики, в которую оказались вовлеченными многие страны, все больше подвергаются критике некоторые ставшие традиционными понятия теории человеческого капитала и постулаты о роли ИЧК в социально-экономическом развитии. Источник [8] считает вредоносным само понятие «человеческого капитала» с точки зрения развития личности и государства. Статья [9] активно критикует многие устоявшиеся в литературе понятия и тезисы теории человеческого капитала как нелогичные и противоречивые, в том числе само понятие «инвестиции в человеческий капитал». Исследование [10] обосновывает, что современная теория не принимает во внимание ряд важных макросоциальных аспектов, влияние которых в некоторых странах приводит к социальным конфликтам и маргинализации определенных слоев населения. Безусловно, роль ИЧК в развитии стран и регионов существенна и положительна, но сейчас наиболее целесообразным является переориентация исследований в сторону совершенствования методологического аппарата теории человеческого капитала. Использование экономико-математических методов позволит решить задачу максимального продвижения регионов к заданным целям социально-экономического развития. Такое продвижение видится как цепочка каналов влияния: инвестиции→развитие человеческого капитала→социально-экономический рост региона в условиях высокой неопределенности внешней и внутренней сред.

Многие исследования подтверждают синергетический эффект взаимодействия различного рода инвестиций, в частности, инвестиций в основной и человеческий капитал. В [2] отмечается, что вложения в основной и человеческий капиталы – два взаимосвязанных и взаимообусловленных источника социально-экономического роста страны. Низкая степень интеграции инвестиций в основной и человеческий капитал является основной причиной череды депрессий и стагнаций в российской экономике 2010-х гг. [2], и это особенно проявляется на региональном уровне [11]. Однако ни в [2], ни в [11] нет конкретных предложений по улучшению ситуации для преодоления обозначенных проблем. Китайские ученые в работе [12] находят, что темпы роста ВВП Китая положительно коррелируют с динамикой инвестиций и в основной, и в человеческий капиталы, при этом, эффект влияния прямых иностранных инвестиций существенно усиливается благодаря человеческому капиталу. Исследование [13] показывает, что влияние человеческого капитала на экономический рост Китая преимущественно косвенное и проявляется через инвестиции в физический капитал. Более того, чем сильнее это влияние, тем выше риск усиления межрегионального социально-экономического неравенства в стране. Несмотря на содержательные выводы, указанные исследования китайских ученых не содержат мер и рекомендаций по оптимизации географической и экономической структуры инвестиций. В статье [14] в качестве причины снижения темпов экономического роста США определяется двукратное сокращение показателя совокупной факторной производительности страны, отражающей синергетический эффект взаимодействия физического и человеческого капиталов в производствен-

ных процессах. В свою очередь, усиление роли инвестиций в физический капитал оборачивается резким ростом неравенства в распределении доходов в американском обществе.

Большая часть изученных источников в качестве индикатора социально-экономического развития определяют фактические темпы роста ВВП (ВРП) на душу населения либо обобщенные характеристики экономического роста, т. е. применяется позитивный анализ. С позиций стратегического планирования недостатком позитивного анализа является невозможность определить целевую эффективность национальных инвестиций, учитывающую целевые ориентиры социально-экономического развития. В этом случае сложно совершенствовать структуру инвестиций так, чтобы максимально продвинуться по пути развития человеческого капитала, обеспечив достижение заданных параметров экономического роста.

Следует отметить, что социальное неравенство и дифференциация территорий по качеству жизни – важный компонент, посредством которого анализируется влияние ИЧК на социально-экономическое развитие регионов и определяется эффективность структуры инвестиций в человеческий капитал. Так, в статье [15] повышение эффективности накопления регионального человеческого капитала является основной рекомендацией для смягчения территориального экономического неравенства в Республике Корея. Изучив результаты исследований [16, 17], можно сделать вывод о том, что чем слабее развита территория, тем сильнее влияние инвестиций в человеческий капитал на социально-экономическое развитие региона. Тем не менее, разнообразие используемых данных, методов и условий исследования, разная скорость протекания инновационных процессов дают неоднородные и иногда противоречивые выводы о влиянии инвестиций на развитие территорий.

В частности, анализ схожих по составу эмпирических данных по Китаю и странам ОЭСР дает противоположные результаты. Не представляется возможным однозначно определить причины таких расхождений, что требует дальнейшего совершенствования методологии оценок влияния инвестиций в человеческий капитал на региональное развитие.

Зависимости между различными составляющими инвестирования в человеческий капитал и показателями экономического роста также являются значимым предметом по исследуемой теме. В частности, работы [18, 19] увязывают социально-экономическое развитие субъектов РФ (и их дифференциацию) с обобщающими индикаторами образования. Статья [20] анализирует региональный опыт инвестирования в человеческий капитал за счет динамики вложений в сферы образования и здравоохранения. Работы [15, 21] рассматривают влияние человеческого капитала на региональный экономический рост посредством инвестиций в образование и НИОКР, статья [22] – посредством здоровья и профессиональных компетенций. Таким образом, большинство исследований отводит образованию и здравоохранению главную роль в процессе инвестирования в человеческий капитал и обосновывают рост доли данных сфер в общих инвестиционных расходах. Однако, ряд авторов небезосновательно считают, что инвестиций только в образование и здоровье явно недостаточно. Так, рабо-

ты [23, 24] предлагают расширить направления вложений в такие сферы, как культура, благосостояние (инфраструктурная обеспеченность), НИОКР, деятельность организаций отдыха, развлечений и спорта, а также в окружающую среду.

В работе [25] разработана новая комплексная мера инвестиций в человеческий капитал как альтернатива традиционной системе оценке, основанной на образовании. Вместе с тем, следует признать, что в научной литературе до сих пор ощущается нехватка опыта исследований влияния всего комплекса различных по направлениям инвестиций в человеческий капитал, с учетом их синергетического эффекта.

Таким образом, инвестиции в человеческий капитал – сложная и комплексная категория, под которой понимаются вложения не только в образование и здравоохранение – традиционные отрасли формирования человека как носителя фактора производства. Человеческий потенциал объективно сохраняется и развивается посредством таких важных сфер, как жилищно-коммунальное хозяйство, охрана окружающей среды, культура и спорт, городская и сельская инфраструктура, социальная поддержка. Вместе с тем, в российских регионах хроническое отставание социально-экономических показателей от их целевых ориентиров свидетельствует о низкой результативности осуществляемых инвестиций, как с точки зрения экономического роста, так и с позиций качества жизни населения.

Проведенный анализ данных позволяет говорить о существовании дефицита инструментов, позволяющих обосновано формировать оптимальную структуру инвестиций, напрямую или косвенно влияющих на развитие регионального человеческого капитала, для максимально возможного достижения показателей социально-экономического развития региона. При этом при расчете оптимальной структуры инвестиций должны учитываться текущие параметры и специфика региона, горизонт планирования и имеющиеся ресурсные ограничения. Это приводит к необходимости разработки новых методов и моделей.

3. Цель и задачи исследования

Целью исследования является разработка экономико-математического метода формирования оптимальной структуры государственных инвестиций, способствующих достижению целевых значений стратегических показателей социально-экономического развития региона.

Для достижения цели были поставлены следующие задачи:

- разработать оптимизационную модель, позволяющую в максимальной степени продвигаться по достижению интегрального показателя развития региона на основе опережающего развития человеческого капитала и с учётом важности стратегических приоритетов;
- построить функциональные зависимости влияния объёма и структуры инвестиций по сферам деятельности на изменение показателей социально-экономического развития региона через развитие человеческого капитала;
- исследовать вычислительные аспекты применения модели в условиях реального развития регионов.

4. Модель формирования оптимальной структуры государственных инвестиций региона с учётом развития человеческого капитала

В [26] представлены концептуальная модель развития человеческого капитала и системы показателей, описывающих категории «человеческий капитал», «социально-экономическое развитие региона», «инвестиции в повышение качества жизни и развитие человеческого капитала». В продолжение [26] в данной работе предлагается формализация концептуальной модели в виде задачи математического программирования на основе представления каналов влияния в виде построенных функциональных зависимостей.

В основе концептуальной модели лежит следующая цепочка каналов влияния:

– «структура и объемы инвестиций по разным направлениям инвестирования в качество жизни и человеческий капитал региона → показатели регионального человеческого капитала»;

– «показатели регионального человеческого капитала → продвижение по достижению стратегических целей и задач социально-экономического развития региона».

В качестве инвестиций в человеческий капитал региона рассматриваются все инвестиции, напрямую или косвенно влияющие на развитие человеческого капитала. Каждое направление инвестирования в человеческий капитал региона в той или иной мере приводит к его росту за счет изменения описывающих данный капитал компонент. Стоит также отметить, что определенные направления инвестирования влияют на региональный человеческий капитал напрямую, а некоторые способствуют повышению качества жизни населения региона. При этом повышение качества жизни в той или иной степени также приводит к развитию человеческого капитала региона.

В свою очередь, развитие человеческого капитала региона качественно влияет на изменение текущей ситуации в регионе. Так, например, рост человеческого капитала приводит к развитию профессиональной компоненты, а, следовательно, к росту производительности труда по различным направлениям деятельности. Таким образом, развитие регионального человеческого капитала влияет на социально-экономическое развитие региона.

В рамках поставленной цели исследования рассмотрим задачу выбора оптимальной структуры инвестиций в человеческий капитал и качество жизни по направлениям инвестирования и годам с горизонтом планирования T . Оптимизация структуры инвестиций даст максимально возможное продвижение по достижению целевых значений показателей социально-экономического развития. В работе рассматривается многопериодный динамический процесс, в котором время $t=0, 1, \dots, T-1$. В каждый момент времени t осуществляется инвестирование финансовых ресурсов, влияющих на развитие регионального человеческого капитала напрямую или опосредованно.

Под инвестициями в человеческий капитал на региональном уровне понимаются государственные и частные инвестиции, направляемые как на развитие человеческого капитала, так и на повышение качества жизни населения региона. В качестве инвестиций в человеческий капитал региона рассматриваются

государственные (переменные x_1, \dots, x_{12}) и частные (переменные x_{13}, x_{14}, x_{15}) инвестиции, напрямую или косвенно влияющие на развитие человеческого капитала. В качестве единицы измерения показателей будем использовать тыс.руб./тыс.чел. Перечень направлений инвестирования сформирован на основе действующей классификации расходов бюджета России [27] и дополнен переменными частных инвестиций:

- общегосударственные вопросы (x_1);
- национальная оборона (x_2);
- национальная безопасность и правоохранительная деятельность (x_3);
- национальная экономика (x_4);
- жилищно-коммунальное хозяйство (x_5);
- охрана окружающей среды (x_6);
- образование, государственные (x_7);
- культура, кинематография (x_8);
- здравоохранение, государственные (x_9);
- социальная политика (x_{10});
- физическая культура и спорт, государственные (x_{11});
- средства массовой информации (x_{12});
- образование, частные (x_{13});
- здравоохранение, частные (x_{14});
- физическая культура и спорт, частные (x_{15}).

Региональный человеческий капитал как целостная система складывается из определенных компонент. В [26] выделено шесть базовых групп компонент, а именно: уровни профессионализма, образования, научного и инновационного развития, здравоохранения и культуры, и предложены 24 показателя для оценки регионального человеческого капитала. Каждому региону поставим в соответствие вектор-функцию:

$$Z_n^t = (z_{1n}^t, z_{2n}^t, \dots, z_{Mn}^t), \quad n = 1, \dots, N, \quad (1)$$

где z_{mn}^t – уровень m -го показателя человеческого капитала n -го региона в момент времени t ; M – количество показателей, описывающих региональный человеческий капитал; N – количество регионов.

В модели рассматривается влияние уровня человеческого капитала на изменение следующих основных показателей развития региона (список является модификацией приведенного в [28]):

- доля занятого населения в рабочей силе (w_1);
- среднедушевые денежные доходы, соотношенные с величиной прожиточного минимума (w_2);
- объем потребительских расходов на душу населения в месяц (w_3);
- доля потребительских расходов в общем объеме доходов населения (w_4);
- индекс потребительских цен (w_5);
- валовой региональный продукт на душу населения (валовая добавленная стоимость в текущих ценах) (w_6);

- стоимость основных фондов на конец года по полной учетной стоимости на душу населения (w_7);
- инвестиции в основной капитал на душу населения в фактически действовавших ценах (w_8);
- индекс промышленного производства (w_9);
- объем отгруженных товаров собственного производства, выполненных работ и услуг собственными силами по виду экономической деятельности «Добыча полезных ископаемых» на душу населения (w_{10});
- объем отгруженных товаров собственного производства, выполненных работ и услуг собственными силами по виду экономической деятельности «Обрабатывающие производства» на душу населения (w_{11});
- объем отгруженных товаров собственного производства, выполненных работ и услуг собственными силами по виду экономической деятельности «Производство и распределение электроэнергии, газа и воды» на душу населения (w_{12});
- продукция сельского хозяйства на душу населения (w_{13});
- ввод в действие зданий жилого и нежилого назначения (общая площадь зданий) на душу населения (w_{14});
- оборот розничной торговли на душу населения (w_{15});
- удельный вес безубыточных (включая прибыльные) организаций (w_{16});
- доходы консолидированных бюджетов субъектов Российской Федерации на душу населения (w_{17}).

Таким образом, для функционального описания влияния инвестиций на показатели социально-экономического развития построим двухуровневую систему эконометрических зависимостей:

- влияние инвестиций на показатели человеческого капитала;
- влияние показателей человеческого капитала на показатели социально-экономического развития.

При построении зависимостей первого уровня для устранения мультиколлинеарности и снижения размерности задачи будем следовать следующей схеме:

- 1) построим главные компоненты для системы показателей человеческого капитала;
- 2) построим эконометрические зависимости главных компонент человеческого капитала от инвестиций.

Аналогично [29] методом Кайзера выделено L главных компонент, которые объясняют 76 % дисперсии переменных человеческого капитала и проведено их вращение по методу «варимакс» с целью получения интерпретируемой матрицы нагрузок. С помощью матрицы факторных нагрузок для каждой главной компоненты выбраны объясняющие признаки.

Далее построены модели панельных данных зависимости главных компонент показателей регионального человеческого капитала от инвестиций:

$$RCZ_{ln}^t = g_l \left(\begin{matrix} RCZ_{ln}^{t-1}, x_{ln}^{t-1}, \dots, x_{ln}^{t-1}, \\ x_{ln}^{t-2}, \dots, x_{ln}^{t-2}, x_{ln}^{t-3}, \dots, x_{ln}^{t-3} \end{matrix} \right), \quad (2)$$

где RCZ_{ln}^t – l -я главная компонента человеческого капитала для n -го региона в момент времени t ; x_{in}^{t-1} – величина инвестиций в момент времени $(t-1)$ по i -му направлению инвестирования; l – номер главной компоненты, $l=1, \dots, L$.

При построении данных зависимостей учитывалось наличие разрыва во времени (лаг) между осуществлением инвестирования и получением полезного эффекта.

Каждому региону поставим в соответствие вектор-функцию:

$$W_n^t = (w_{1n}^t, w_{2n}^t, \dots, w_{Kn}^t), \quad (3)$$

где w_{kn}^t – значение k -го показателя социально-экономического развития n -го региона в момент времени t ; K – количество показателей, описывающих социально-экономическое развитие.

Влияние уровня человеческого капитала на показатели социально-экономического развития задаются эконометрическими моделями, построенными по панельным данным, следующего вида:

$$w_{kn}^{t+1} = f_k(w_{kn}^t, RCZ_{1n}^t, \dots, RCZ_{Ln}^t). \quad (4)$$

В стратегиях и программах социально-экономического развития региона в рамках стратегических целей и задач задаются целевые значения результирующих показателей социально-экономического развития на рассматриваемом горизонте планирования. Обозначим данные значения \widehat{w}_{kn} .

Степень достижения k -й цели для n -го региона в момент времени t :

$$D_{kn}^t = \frac{w_{kn}^t}{\widehat{w}_{kn}}, \quad t = 0, 1, \dots, T. \quad (5)$$

Интегральный показатель достижения целей социально-экономического развития региона:

$$ISE_n^t = \sum_{k=1}^K v_k(t) \cdot D_{kn}^t, \quad \sum_{k=1}^K v_k(t) = 1, \quad (6)$$

где $v_k(t)$ – весовой коэффициент, характеризующий важность k -й цели социально-экономического развития региона в момент времени t .

Коэффициенты $v_k(t)$ определяются экспертно с использованием вербальных оценок и учетом уровней компетентности экспертов. Вербальные оценки дефазифицируются методом среднего максимума.

Под структурой инвестиций будем понимать следующую вектор-функцию:

$$d_n^t = (d_{1n}^t, \dots, d_{ln}^t), \quad d_{in}^t = \frac{x_{in}^t}{R_n^t}, \quad (7)$$

где R_n^t – общий объем инвестиций, влияющих на качество жизни и человеческий капитал n -го региона в момент времени t .

Для построения модели сделаем ряд предположений относительно процесса развития человеческого капитала:

1) ежегодные объемы инвестиций по каждому направлению имеют ограничения снизу и сверху;

2) если один период в модели равен году, то каждый показатель человеческого капитала и социально-экономического развития за период не может очень существенно измениться, т. е. относительный прирост показателя ограничен сверху и снизу;

3) степени достижения целевых значений на конце горизонта планирования, т. е. в момент времени T , не должны значительно отличаться от целевых значений.

Таким образом, формирование оптимальной структуры инвестиций, позволяющей в максимальной степени продвигаться по достижению интегрального показателя развития региона на основе опережающего развития человеческого капитала предлагается осуществлять, используя следующую модель:

$$\left\{ \begin{array}{l} ISE_n^T = \sum_{k=1}^K v_k(T) \cdot D_{kn}^T \rightarrow \max, \\ D_{kn}^t = \frac{w_{kn}^t}{\widehat{w}_{kn}}, \quad w_{kn}^{t+1} = f_k \left(w_{kn}^t, RCZ_{1n}^t, \dots, RCZ_{Ln}^t \right), \quad t = 0, \dots, T-1, \\ RCZ_{ln}^t = g_l \left(RCZ_{ln}^{t-1}, x_{1n}^{t-1}, \dots, x_{ln}^{t-1}, x_{1n}^{t-2}, \dots, x_{ln}^{t-2}, x_{1n}^{t-3}, \dots, x_{ln}^{t-3} \right), \quad t = 1, \dots, T, \\ x_{in}^t = d_{in}^t \cdot R_n^t, \quad \sum_{i=1}^I d_i^t \leq 1, \quad t = 0, \dots, T-1, \\ \alpha_i \leq d_{in}^t \leq \beta_i, \quad n = 1, \dots, N, \quad t = 0, \dots, T-1, \\ -\varphi_k \leq \frac{w_{kn}^{t+1} - w_{kn}^t}{w_{kn}^t} \leq \psi_k, \quad t = 0, \dots, T-1, \\ -\delta_l \leq \frac{RCZ_{ln}^{t+1} - RCZ_{ln}^t}{RCZ_{ln}^t} \leq \gamma_l, \quad n = 1, \dots, N, \quad t = 0, \dots, T-1, \\ p_k \leq D_{kn}^T \leq q_k, \quad n = 1, \dots, N. \end{array} \right. \quad (8)$$

где $\bar{\alpha} = (\alpha_1, \dots, \alpha_I)$, $\bar{\beta} = (\beta_1, \dots, \beta_I)$ – ограничения снизу и сверху на объем инвестиций по каждому направлению; $\bar{\delta} = (\delta_1, \dots, \delta_L)$, $\bar{\gamma} = (\gamma_1, \dots, \gamma_L)$ – ограничения

снизу и сверху на относительное изменение каждой главной компоненты человеческого капитала за один период времени; $\bar{\varphi} = (\varphi_1, \dots, \varphi_K)$, $\bar{\psi} = (\psi_1, \dots, \psi_K)$ – ограничения снизу и сверху на относительное изменение каждого показателя социально-экономического развития за один период времени; $\bar{p} = (p_1, \dots, p_K)$, $\bar{q} = (q_1, \dots, q_K)$ – ограничения снизу и сверху на степень достижения целевого значения каждого показателя человеческого капитала.

Отметим, что при вычислении главных компонент в моменты времени $t=1, 2, 3$ значения с лагом 2 и 3 берутся из ретроспективных данных.

Переменными модели, по которым проводится оптимизация, являются ежегодные доли инвестиций по отдельным направлениям инвестирования d_1^t, \dots, d_{12}^t , $t=0, 1, \dots, T$.

5. Вычислительные аспекты применения модели в условиях реального развития регионов

Описанная выше модель формирования оптимальной структуры региональных инвестиций может быть применена в реальных условиях. Рассмотрим пример формирования оптимальной структуры региональных инвестиций, позволяющей в максимальной степени продвигаться по достижению целевых значений показателей социально-экономического развития региона на основе опережающего развития человеческого капитала на примере Приморского, Забайкальского и Алтайского краев и Белгородской области.

В качестве исходных данных из открытых источников взяты статистические данные по показателям развития человеческого капитала, объемам инвестиций по направлениям и социально-экономическому развитию для регионов Российской Федерации за 2011–2017 гг. В [26] приведена кластеризация регионов по показателям человеческого капитала. Регионы разделены на пять кластеров: «научный», «экологический», «промышленный», «ресурсный» и «малый» (в соответствии с типами лидирующих и отстающих отраслей). Приморский и Забайкальский края вошли в кластер «малый», который включает регионы, не имеющие явной отраслевой принадлежности, с доминированием малого и среднего бизнеса и показателями развития регионального человеческого капитала на среднем уровне. Белгородская область и Алтайский край входят в «промышленный», включающий индустриально-аграрные регионы, которые являются основными «поставщиками» постоянных рабочих мест в стране. В регионах этого кластера существует определенная монополия, созданная крупными аграрными и промышленными предприятиями.

Для данных кластеров для дополненной 2017 годом базы данных по методу Кайзера построены главные компоненты системы показателей человеческого капитала и интерпретируемые матрицы нагрузок на основе метода «вари-макс». Количество главных компонент возьмём равным семи, что позволяет объяснить около 76 % дисперсии.

Для зависимостей главных компонент показателей регионального человеческого капитала от лаговых показателей инвестиций методом Best Subsets по-

строены модели панельных данных трех типов: сквозные модели, модели с детерминированными и случайными пространственными эффектами. С помощью тестов Вальда, Хаусмана и Бройша-Пагана выбраны лучшие из построенных моделей, которыми оказались модели с детерминированными пространственными эффектами. Для проверки гипотез о значимости уравнений использовался подход, базирующийся на понятии минимального уровня значимости или p -значения (p -value), которое может рассматриваться в качестве минимально возможной ошибки I рода.

Модели вида (1) семи главных компонент для кластера «малый» представлены в табл. 1. Из таблицы видно, что наборы значимых экзогенных переменных для главных компонент, полученные методом Best Subsets, различаются как по переменным, так и по временным слоям, с которых они берутся.

Таблица 1

Результаты моделирования главных компонент человеческого капитала

| Главная компонента | Модель | p-value | R^2 |
|--------------------|--|------------------------|-------|
| RCZ_{1n}^t | $RCZ_{1n}^t = 0,17 + 1,08 \cdot RCZ_{1n}^{t-1} - 1,85 \cdot 10^{-5} \cdot x_{7n}^t -$ $- 1,77 \cdot 10^{-4} \cdot x_{12n}^t + 3,40 \cdot 10^{-5} \cdot x_{13n}^{t-1} +$ $+ 2,70 \cdot 10^{-5} \cdot x_{7n}^{t-2}$ | $< 2,2 \cdot 10^{-16}$ | 0,95 |
| RCZ_{2n}^t | $RCZ_{2n}^t = 9,30 \cdot 10^{-2} + 9,08 \cdot 10^{-1} \cdot RCZ_{2n}^{t-1} +$ $+ 3,45 \cdot 10^{-5} \cdot x_{7n}^t - 3,80 \cdot 10^{-5} \cdot x_{7n}^{t-2}$ | $< 2,2 \cdot 10^{-16}$ | 0,95 |
| RCZ_{3n}^t | $RCZ_{3n}^t = 1,35 \cdot 10^{-1} + 9,70 \cdot 10^{-1} \cdot RCZ_{3n}^{t-1} +$ $+ 2,60 \cdot 10^{-5} \cdot x_{7n}^t + 4,40 \cdot 10^{-4} \cdot x_{15n}^t -$ $- 5,07 \cdot 10^{-5} \cdot x_{7n}^{t-1} + 5,06 \cdot 10^{-5} \cdot x_{14n}^{t-1} -$ $- 6,80 \cdot 10^{-4} \cdot x_{15n}^{t-1} - 9,40 \cdot 10^{-5} \cdot x_{3n}^{t-2} +$ $+ 3,48 \cdot 10^{-5} \cdot x_{7n}^{t-2}$ | $< 2,2 \cdot 10^{-16}$ | 0,91 |
| RCZ_{4n}^t | $RCZ_{4n}^t = -1,50 \cdot 10^{-1} + 9,80 \cdot 10^{-1} \cdot RCZ_{4n}^{t-1} -$ $+ 5,07 \cdot 10^{-5} \cdot x_{9n}^t - 3,30 \cdot 10^{-5} \cdot x_{10n}^t +$ $+ 1,60 \cdot 10^{-4} \cdot x_{14n}^t + 1,08 \cdot 10^{-4} \cdot x_{3n}^{t-2} +$ $+ 5,90 \cdot 10^{-5} \cdot x_{9n}^{t-2} - 2,20 \cdot 10^{-4} \cdot x_{14n}^{t-2}$ | $< 2,2 \cdot 10^{-16}$ | 0,86 |
| RCZ_{5n}^t | $RCZ_{5n}^t = 1,76 \cdot 10^{-1} + 9,84 \cdot 10^{-1} \cdot RCZ_{5n}^{t-1} -$ $- 7,80 \cdot 10^{-5} \cdot x_{7n}^t - 8,80 \cdot 10^{-5} \cdot x_{8n}^t -$ $- 3,20 \cdot 10^{-4} \cdot x_{14n}^{t-1} + 7,60 \cdot 10^{-5} \cdot x_{7n}^{t-2} +$ $+ 3,30 \cdot 10^{-4} \cdot x_{13n}^{t-2}$ | $< 2,2 \cdot 10^{-16}$ | 0,90 |

| | | | |
|--------------|---|------------------------|------|
| RCZ_{6n}^t | $RCZ_{6n}^t = 2,10 \cdot 10^{-1} + 9,99 \cdot 10^{-1} \cdot RCZ_{6n}^{t-1} -$ $-1,50 \cdot 10^{-5} \cdot x_{4n}^t + 1,40 \cdot 10^{-4} \cdot x_{13n}^t -$ $-5,09 \cdot 10^{-4} \cdot x_{15n}^{t-1} + 4,40 \cdot 10^{-5} \cdot x_{7n}^{t-1} -$ $-6,80 \cdot 10^{-5} \cdot x_{9n}^{t-1} - 1,10 \cdot 10^{-4} \cdot x_{3n}^{t-2}$ | $< 2,2 \cdot 10^{-16}$ | 0,81 |
| RCZ_{7n}^t | $RCZ_{7n}^t = -0,30 \cdot 10^{-1} + 9,80 \cdot 10^{-1} \cdot RCZ_{7n}^{t-1} -$ $-3,30 \cdot 10^{-4} \cdot x_{1n}^t - 2,80 \cdot 10^{-4} \cdot x_{8n}^t +$ $+7,02 \cdot 10^{-4} \cdot x_{12n}^t + 4,20 \cdot 10^{-4} \cdot x_{14n}^t -$ $-1,70 \cdot 10^{-3} \cdot x_{15n}^t + 2,90 \cdot 10^{-4} \cdot x_{1n}^{t-1} -$ $-4,60 \cdot 10^{-4} \cdot x_{14n}^{t-1} + 1,80 \cdot 10^{-3} \cdot x_{15n}^{t-1} +$ $+1,96 \cdot 10^{-4} \cdot x_{8n}^{t-2}$ | $< 2,2 \cdot 10^{-16}$ | 0,86 |

Для описания влияния уровня человеческого капитала на социально-экономическое развитие региона построены эконометрические зависимости вида (4). Для построения использовалось открытое программное обеспечение R.

Наиболее качественные из рассмотренных типов моделей для нескольких показателей для кластера «малый» приведены в табл. 2.

Таблица 2

Фрагмент результатов моделирования показателей социально-экономического развития региона (СЭР)

| Показатель СЭР | Модель | p-value | R^2 |
|----------------|---|------------------------|-------|
| w_{1n}^t | $w_{1n}^t = 0,78 + 0,09 \cdot RCZ_{2n}^t + 0,04 \cdot RCZ_{4n}^t -$ $-0,01 \cdot RCZ_{5n}^t + 0,01 \cdot RCZ_{1n}^{t-1} -$ $-0,03 \cdot RCZ_{6n}^{t-1} - 0,02 \cdot RCZ_{7n}^{t-1}$ | $< 2,2 \cdot 10^{-16}$ | 0,75 |
| w_{2n}^t | $w_{2n}^t = 0,58 - 0,14 \cdot RCZ_{1n}^t + 0,13 \cdot RCZ_{2n}^t -$ $-0,12 \cdot RCZ_{3n}^t + 0,08 \cdot RCZ_{4n}^t +$ $+0,22 \cdot RCZ_{1n}^{t-1} - 0,08 \cdot RCZ_{2n}^{t-1} +$ $+0,19 \cdot RCZ_{3n}^{t-1} + 0,03 \cdot RCZ_{5n}^{t-1}$ | $< 2,2 \cdot 10^{-16}$ | 0,72 |
| w_{3n}^t | $w_{3n}^t = \alpha_i + 2,20 \cdot 10^{-16} \cdot RCZ_{3n}^t - 0,04 \cdot RCZ_{5n}^t -$ $-0,02 \cdot RCZ_{6n}^t + 0,04 \cdot RCZ_{1n}^{t-1} +$ $+0,04 \cdot RCZ_{2n}^{t-1}$ | $< 2,2 \cdot 10^{-16}$ | 0,84 |
| w_{4n}^t | $w_{4n}^t = 0,52 + 0,03 \cdot RCZ_{2n}^t + 0,01 \cdot RCZ_{5n}^t -$ $-0,05 \cdot RCZ_{3n}^{t-1} - 0,02 \cdot RCZ_{7n}^{t-1}$ | $5,5 \cdot 10^{-8}$ | 0,65 |

| | | | |
|------------|--|------------------------|------|
| w_{5n}^t | $w_{5n}^t = \alpha_i - 0,43 \cdot RCZ_{1n}^t + 0,56 \cdot RCZ_{2n}^t -$ $-0,15 \cdot RCZ_{5n}^t + 0,12 \cdot RCZ_{6n}^t +$ $+0,27 \cdot RCZ_{7n}^t + 0,29 \cdot RCZ_{3n}^{t-1} -$ $-0,41 \cdot RCZ_{6n}^{t-1} - 0,23 \cdot RCZ_{7n}^{t-1}$ | $< 2,2 \cdot 10^{-16}$ | 0,48 |
| w_{6n}^t | $w_{6n}^t = \alpha_i + 0,02 \cdot RCZ_{3n}^t + 0,01 \cdot RCZ_{4n}^t -$ $-0,01 \cdot RCZ_{5n}^t + 0,02 \cdot RCZ_{2n}^{t-1} +$ $+0,02 \cdot RCZ_{3n}^{t-1} - 0,01 \cdot RCZ_{7n}^{t-1}$ | $< 2,2 \cdot 10^{-16}$ | 0,81 |
| w_{7n}^t | $w_{7n}^t = \alpha_i + 0,01 \cdot RCZ_{1n}^t - 0,01 \cdot RCZ_{2n}^t +$ $+0,24 \cdot RCZ_{3n}^t + 0,01 \cdot RCZ_{4n}^t +$ $+0,01 \cdot RCZ_{3n}^{t-1} - 0,01 \cdot RCZ_{5n}^{t-1}$ | $< 2,2 \cdot 10^{-16}$ | 0,74 |

Для кластера «малый» предпочтительными оказались модели с детерминированными индивидуальными эффектами, а для кластера «промышленный» – в основном сквозные модели панельных данных. С точки зрения p -value, коэффициента детерминации и средней по всем регионам кластера ошибки аппроксимации лучшими являются линейные модели.

В качестве примера проведем анализ моделей, представленных в табл. 1, 2. При рассмотрении моделей главных компонент отметим, что:

1) государственные инвестиции в национальную оборону, жилищно-коммунальное хозяйство, физическую культуру и спорт не оказывают существенного влияния на главные компоненты в «малом» кластере;

2) государственные инвестиции в образование и частные инвестиции в образование, здравоохранение, физическую культуру и спорт оказывают максимальное влияние на главные компоненты в «малом» кластере.

Обе закономерности можно объяснить особенностью регионов. Как отмечалось ранее, в них преобладает малый и средний бизнес, отсутствует отраслевая специфика и показатели человеческого капитала находятся на среднем уровне. Это приводит к необходимости рационализировать использование частных ресурсов компаний при ограниченных объемах государственного инвестирования.

В свою очередь, все главные компоненты влияют на изменение показателей социально-экономического развития регионов в «малом» кластере.

Стоит отметить, что для трёх показателей социально-экономического развития (w_5 , w_{10} , w_{14}) не удалось построить достаточно значимых регрессий. Наиболее вероятно, что на эти переменные используемые главные компоненты человеческого капитала не оказывают существенного влияния. Поэтому, чтобы не искажать результаты моделирования, было принято решение о неиспользовании этих переменных в интегральном показателе социально-экономического развития.

Также отметим наличие дифференциации перечня предикторов модели (и их коэффициентов) в зависимости от специфики кластера.

Для выбранных регионов рассмотрим оптимизацию структуры инвестиций с горизонтом планирования три года ($T=3$). Целевые значения показателей развития человеческого капитала зададим следующим образом:

$$\widehat{w}_{kn} = 1,15 \cdot w_{kn}^0, \quad (9)$$

где w_{kn}^0 – значение k -го показателя в 2017 г.

Векторы ограничений, используемые в оптимизационной модели, имеют следующий вид:

1) векторы $\bar{\alpha} = (\alpha_1, \dots, \alpha_l)$ и $\bar{\beta} = (\beta_1, \dots, \beta_l)$, представляющие ограничения снизу и сверху на объёмы инвестиций по направлениям для Приморского края, представлены в табл. 3.

Таблица 3

Нижние и верхние границы объёма годовых государственных инвестиций по направлениям (тыс. руб./тыс. чел.) для Приморского края

| Переменные объёма инвестиций | Нижняя граница | Верхняя граница |
|------------------------------|----------------|-----------------|
| x_1 | 950 | 2 774 |
| x_2 | 10 | 18 |
| x_3 | 549 | 4 063 |
| x_4 | 3 807 | 16 428 |
| x_5 | 2 619 | 10 379 |
| x_6 | 21 | 94 |
| x_7 | 1 456 | 18 061 |
| x_8 | 31 | 2 223 |
| x_9 | 3 246 | 15 020 |
| x_{10} | 4 470 | 16 651 |
| x_{11} | 407 | 2 589 |
| x_{12} | 72 | 295 |

Указанные в табл. 3 границы рассчитаны на основе выборочных средних x_{icp} и выборочных среднеквадратических отклонениях σ_i , найденных по статистическим данным для Приморского края за 2011–17 гг.:

$$\alpha_i = x_{icp} - 3 \cdot \sigma_i, \quad \beta_i = x_{icp} + 3 \cdot \sigma_i; \quad (10)$$

2) нижние и верхние границы относительных изменений главных компонент регионального человеческого капитала за один момент времени для данного примера имеют вид $\bar{\delta} = (0, \dots, 0)$, $\bar{\gamma} = (1, \dots, 1)$;

3) исходя из того, чему равны степени достижения показателей человеческого капитала в момент времени $t=0$, ограничения снизу на степень достижения целевого значения каждого показателя для всех групп установим 0,75; ограничения сверху – 1,5.

Ниже представлен фрагмент результатов по оптимизации структуры финансовых инвестиционных ресурсов по предлагаемой модели достижения стратегических ориентиров социально-экономического развития региона с описанными выше ограничениями на горизонте планирования $T=3$ (табл. 4).

Таблица 4

Фрагмент результатов распределения государственных инвестиций по направлениям инвестирования и годам

| Наименование региона | Период | x_1 | x_2 | x_3 | x_4 | ... |
|----------------------|--------|-------|-------|-------|--------|-----|
| Приморский край | $t=1$ | 3,6 % | 0,0 % | 3,9 % | 20,6 % | ... |
| | $t=2$ | 3,3 % | 0,0 % | 0,5 % | 38,2 % | ... |
| | $t=3$ | 3,0 % | 0,0 % | 0,5 % | 14,6 % | ... |
| Забайкальский край | $t=1$ | 2,9 % | 0,1 % | 2,0 % | 21,9 % | ... |
| | $t=2$ | 5,0 % | 0,1 % | 1,0 % | 13,8 % | ... |
| | $t=3$ | 3,5 % | 0,1 % | 1,0 % | 13,5 % | ... |
| Белгородская область | $t=1$ | 1,7 % | 0,0 % | 4,3 % | 42,0 % | ... |
| | $t=2$ | 1,7 % | 0,0 % | 0,3 % | 40,5 % | ... |
| | $t=3$ | 1,7 % | 0,0 % | 0,3 % | 28,7 % | ... |
| Алтайский край | $t=1$ | 1,1 % | 0,0 % | 5,6 % | 26,4 % | ... |
| | $t=2$ | 1,6 % | 0,1 % | 0,5 % | 37,7 % | ... |
| | $t=3$ | 1,4 % | 0,0 % | 0,5 % | 14,7 % | ... |

Далее рассмотрены два сценария:

а) инерционный, данные для которого берутся из региональных законопроектов о бюджете;

б) оптимизационный, при котором используется оптимальная структура инвестиций, рассчитанная по модели (сумма затратной части бюджета аналогична сумме при инерционном сценарии).

На рис. 1 представлен график максимальных отклонений на временном интервале объемов инвестиций по направлениям при оптимизационном сценарии от объемов инвестиций при инерционном сценарии.

Анализируя результаты (рис. 1), стоит отметить следующее:

– для Приморского края максимальное отклонение объемов инвестирования в положительную сторону наблюдается для 3-х направлений – образование (x_7), здравоохранение (x_9) и национальная экономика (x_4) (изменение на 24,1 % ($T=2$), 18,1 % ($T=3$) и 16,9 % ($T=1$) соответственно). Максимальное сокращение объемов инвестирования наблюдается для 2-х направлений – социальная политика (x_{10}) и жилищно-коммунальное хозяйство (x_5) (изменение на $-17,2$ % ($T=3$) и $-7,6$ % ($T=1$) соответственно);

– для Забайкальского края максимальное увеличение объемов инвестирования в положительную сторону наблюдается для 3-х направлений – здравоохранение (x_9), образование (x_7) и национальная экономика (x_4) (изменение на 17,7 % ($T=3$), 14,3 % ($T=3$) и 8,1 % ($T=3$) соответственно). Максимальное со-

кращение объемов инвестирования наблюдается для направления – социальная политика (x_{10}) (изменение на $-20,8\%$ ($T=3$));

– для Белгородской области максимальное увеличение объемов инвестирования в положительную сторону наблюдается для 2-х направлений – образование (x_7) и национальная экономика (x_4) (изменение на $20,1\%$ ($T=3$) и $8,0\%$ ($T=1$) соответственно). Максимальное сокращение объемов инвестирования наблюдается для направления – социальная политика (x_{10}) (изменение на $-15,2\%$ ($T=3$));

– для Алтайского края максимальное увеличение объемов инвестирования в положительную сторону наблюдается для 3-х направлений – образование (x_7), здравоохранение (x_9) и национальная экономика (x_4) (изменение на $27,9\%$ ($T=3$), $19,6\%$ ($T=2$) и $18,3\%$ ($T=1$) соответственно). Максимальное сокращение объемов инвестирования наблюдается для направления – социальная политика (x_{10}) (изменение на $-25,6\%$ ($T=3$)).

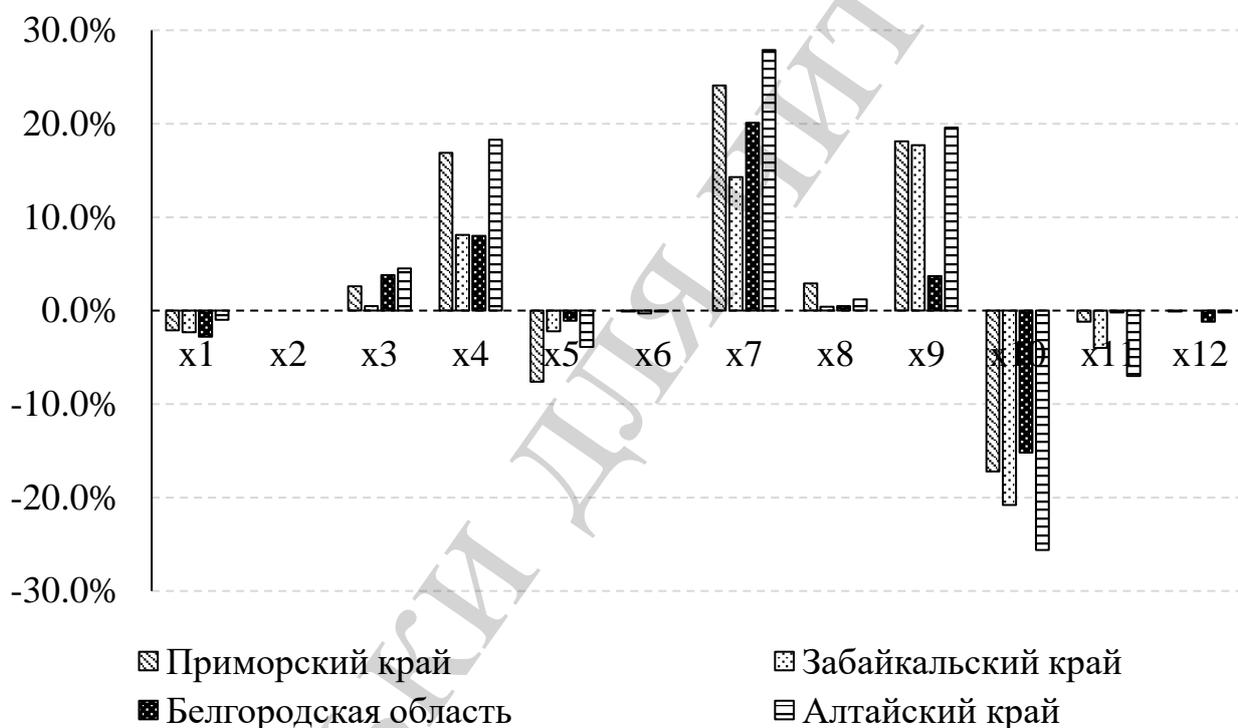


Рис. 1. График отклонений объема инвестиций при оптимизационном сценарии от инерционного сценария

Таким образом, можно сделать вывод о высокой эффективности таких направлений, как образование, здравоохранение и национальная экономика. Данные направления оказывают всестороннее влияние на развитие человеческого капитала и через его повышение на большинство показателей социально-экономического развития регионов. Максимальное сокращение объемов инвестирования для всех регионов отмечается по одному направлению инвестирования – социальная политика. Это говорит об инвестировании значительного объема финансовых ресурсов, которые являются неэффективными с точки зре-

ния продвижения по достижению целевых значений показателей социально-экономического развития регионов.

На рис. 2 представлен график отклонений степеней достижения целевых значений показателей социально-экономического развития регионов при оптимизационном сценарии от инерционного в момент времени $T=3$.

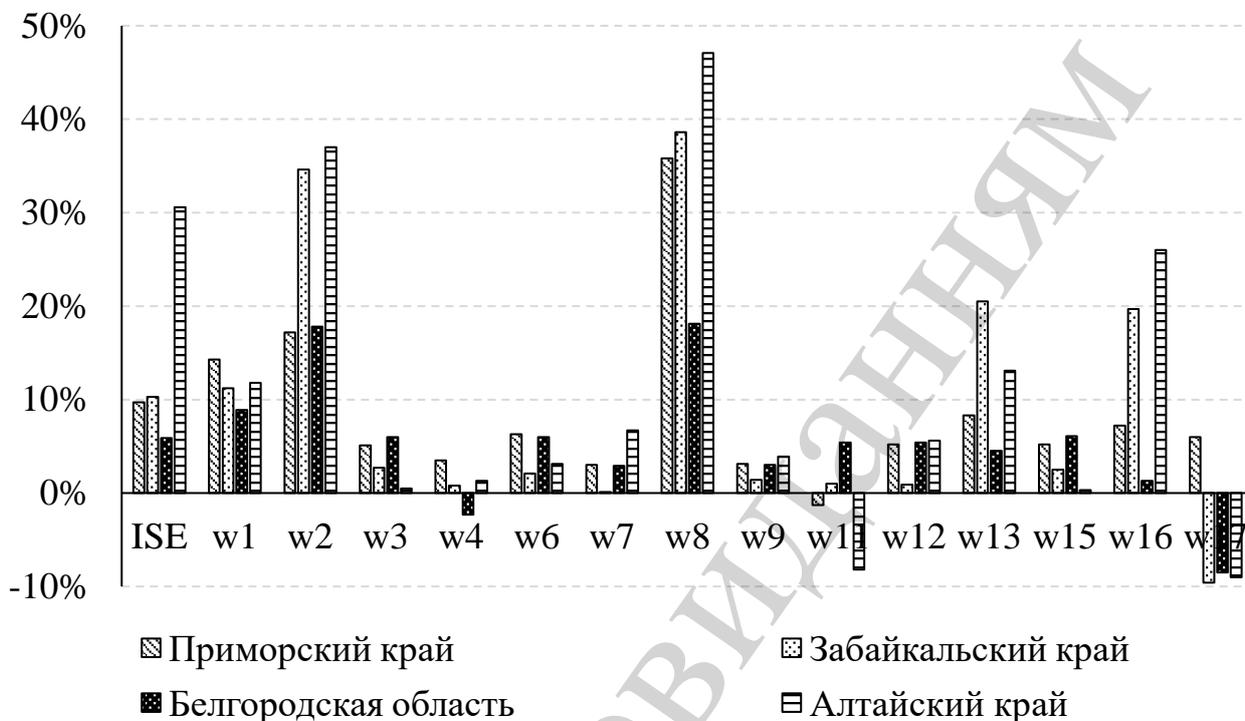


Рис. 2. Отклонения степеней достижения целевых значений показателей социально-экономического развития

Анализируя данные, графически представленные на рис. 2, отметим следующее:

– для Приморского края значение интегрального показателя (ISE_n^3) при оптимизационном сценарии на 9,7 % выше, чем при инерционном и станет равным 1,08. Улучшение более чем на 10 % при оптимизационном сценарии (в сравнении с инерционным) наблюдается для таких показателей, как:

- 1) «доля занятого населения в рабочей силе» (w_1) на 14,2 % (равен 0,80);
- 2) «среднедушевые денежные доходы, соотнесенные с величиной прожиточного минимума» (w_2) на 17,2 % (равен 1,16);
- 3) «инвестиции в основной капитал на душу населения» (w_8) на 35,8 % (равен 1,04).

Стоит также отметить, что происходит незначительное ухудшение для показателя «объем отгруженных товаров собственного производства, выполненных работ и услуг собственными силами по виду экономической деятельности «Обрабатывающие производства» на душу населения» (w_{11}) на 1,3 % (равен 1,47);

– для Забайкальского края значение интегрального показателя (ISE_n^3) при оптимизационном сценарии на 10,3 % выше, чем при инерционном и станет равным 1,06. Улучшение более чем на 10 % при оптимизационном сценарии (в сравнении с инерционным) наблюдается для таких показателей, как:

- 1) «доля занятого населения в рабочей силе» (w_1) на 11,2 % (равен 1,05);
- 2) «среднедушевые денежные доходы, соотнесенные с величиной прожиточного минимума» (w_2) на 34,6 % (равен 1,51);
- 3) «инвестиции в основной капитал на душу населения» (w_8) на 38,6 % (равен 0,47);
- 4) «продукция сельского хозяйства на душу населения» (w_{13}) на 20,5 % (равен 1,25);
- 5) «удельный вес безубыточных (включая прибыльные) организаций» (w_{16}) на 19,7 % (равен 1,62).

Стоит также отметить, что происходит ухудшение для показателя «доходы консолидированных бюджетов субъектов РФ на душу населения» (w_{17}) (изменение на 9,6 % (равен 0,81));

– для Белгородской области значение интегрального показателя (ISE_n^3) при оптимизационном сценарии на 5,9 % выше, чем при инерционном и станет равным 0,95. Улучшение более чем на 10 % при оптимизационном сценарии (в сравнении с инерционным) наблюдается для таких показателей, как:

- 1) «среднедушевые денежные доходы, соотнесенные с величиной прожиточного минимума» (w_2) на 17,8 % (равен 0,88);
- 2) «инвестиции в основной капитал на душу населения» (w_8) на 18,1 % (равен 0,67).

Стоит также отметить, что происходит ухудшение для показателей:

- 1) «доля потребительских расходов в общем объеме доходов населения» (w_4) на 2,3 % (равен 0,84);
- 2) «доходы консолидированных бюджетов субъектов РФ на душу населения» (w_{17}) на 8,5 % (равен 1,16);

– для Алтайского края значение интегрального показателя (ISE_n^3) при оптимизационном сценарии на 30,6 % выше, чем при инерционном и станет равным 0,93. Улучшение более чем на 10 % при оптимизационном сценарии (в сравнении с инерционным) наблюдается для таких показателей, как:

- 1) «доля занятого населения в рабочей силе» (w_1) на 11,8 % (равен 0,94);
- 2) «среднедушевые денежные доходы, соотнесенные с величиной прожиточного минимума» (w_2) на 37,0 % (равен 0,99);
- 3) «инвестиции в основной капитал на душу населения» (w_8) на 47,1 % (равен 0,19);
- 4) «продукция сельского хозяйства на душу населения» (w_{13}) на 13,1 % (равен 0,78);
- 5) «удельный вес безубыточных (включая прибыльные) организаций» (w_{16}) на 26,0 % (равен 0,68).

Стоит также отметить, что происходит ухудшение для показателей:

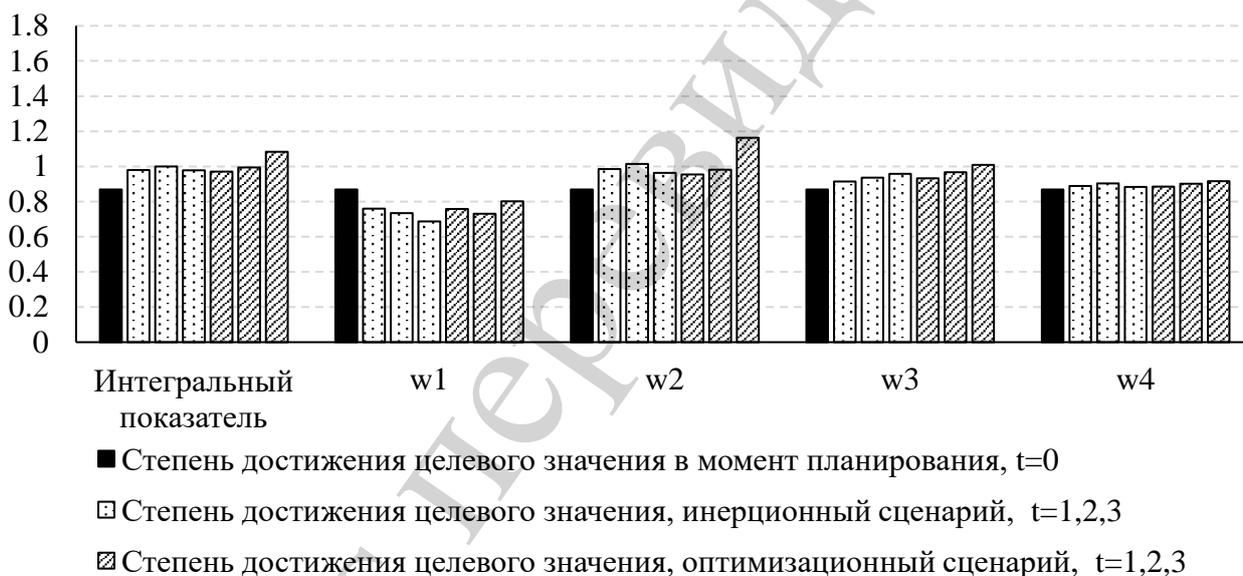
1) «объем отгруженных товаров собственного производства, выполненных работ и услуг собственными силами по виду экономической деятельности «Обрабатывающие производства» на душу населения» (w_{11}) на 8,2 % (равен 1,12);

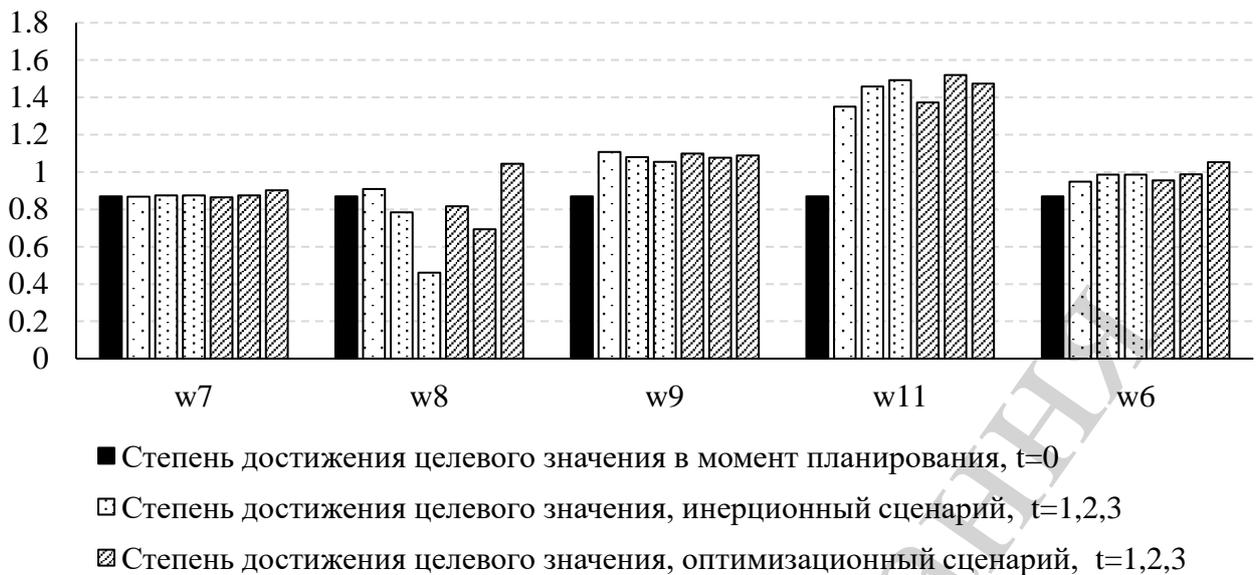
2) «доходы консолидированных бюджетов субъектов РФ на душу населения» (w_{17}) на 9,0 % (равен 1,06).

Стоит также отметить, что по некоторым показателям имеется отрицательная тенденция по сравнению с инерционным сценарием. Однако, с одной стороны, данные отклонения не существенны, с другой стороны, они не приводят к негативным последствиям (т. е. целевые значения по большинству показателей достигаются).

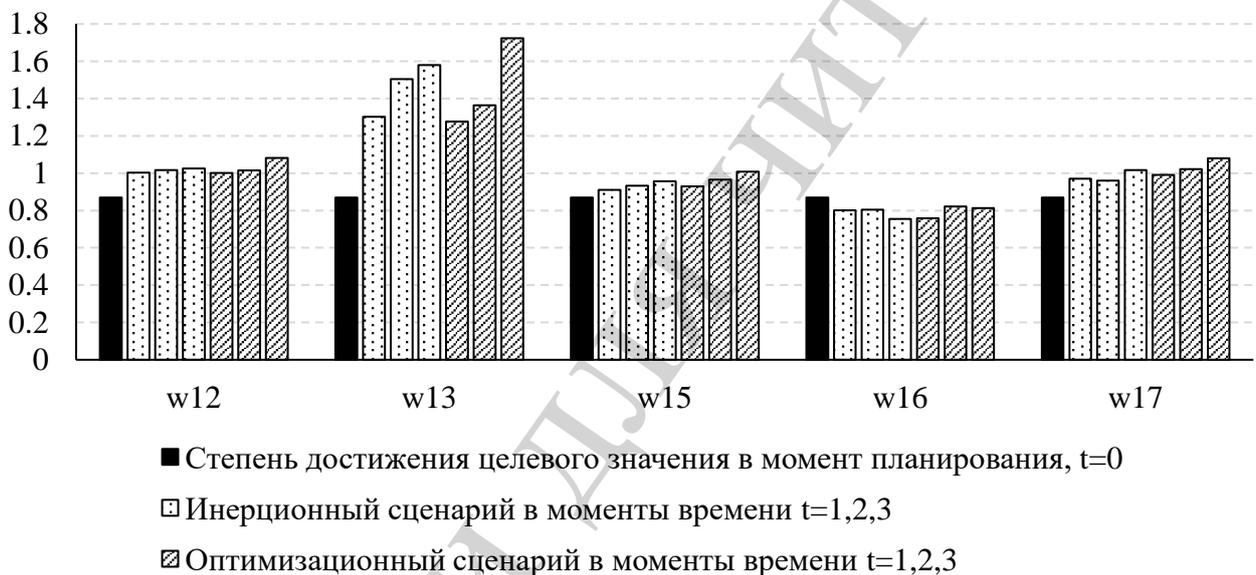
Также по ряду показателей при заданном объеме инвестирования достичь целевых значений показателей социально-экономического развития не является возможным. Это может говорить о необходимости либо корректировки целевых ориентиров развития региона, либо увеличения объема государственных финансовых ресурсов.

Далее в качестве примера на рис. 3 приведена динамика изменения показателей для двух сценариев для Приморского края.





б



в

Рис. 3. Динамика изменения показателей социально-экономического развития регионов при различных сценариях: *а* – для интегрального показателя и показателей 1–4; *б* – для показателей 6–9, 11; *в* – для показателей 12,13, 15–17

Анализируя данные рис. 3, для Приморского края можно сделать выводы о наличии положительной динамики с более высокими темпами роста при оптимизационном сценарии по сравнению с инерционным. Таким образом, можно говорить о повышении эффективности при планировании структуры государственных инвестиций с использованием авторской оптимизационной модели.

6. Обсуждение результатов исследования оптимизации структуры инвестиций для достижения целевых значений показателей развития региона

Рассмотрен вопрос развития региона за счет опережающего развития его человеческого капитала, которое означает рост профессиональной и инноваци-

онной компонент трудовых ресурсов и, соответственно, производительности труда. Разработан метод формирования оптимальной структуры государственных инвестиций, способствующих достижению целевых значений стратегических показателей социально-экономического развития региона. В основе метода лежит модель (8) определения оптимальной структуры государственных инвестиций, напрямую или косвенно влияющих на развитие регионального человеческого капитала, целевая функция (6) которой выбирается сообразно целевым ориентирам социально-экономического развития региона.

Отличительной чертой модели является двухэтапное моделирование каналов влияния:

1) структуры и объема инвестиций, напрямую или косвенно влияющих на развитие человеческого капитала, на показатели человеческого капитала;

2) достигнутого уровня регионального человеческого капитала на продвижение по достижению стратегических целей и задач социально-экономического развития региона. Это позволяет посмотреть на процесс регионального развития под иным углом – через призму развития регионального человеческого капитала.

Также одним из преимуществ модели является количественное описание моделируемых каналов влияния. Для этого построены релевантные эконометрические зависимости (2) и (4) на основе сформированной по открытым источникам панельной базы данных (полученные функциональные зависимости для кластера «малый» представлены в табл. 1, 2). На первом этапе при моделировании использовался метод главных компонент, позволяющий устранить возникающее из-за наличия мультиколлинеарности смещение выборочных оценок коэффициентов регрессии. На втором этапе использовать главные компоненты системы показателей социально-экономического развития невозможно, так как они не обладают монотонностью в следующем смысле «чем больше значение, тем лучше». То есть их нельзя использовать в качестве критериев в задаче математического программирования. С другой стороны, в их использовании нет необходимости, так как мультиколлинеарность главных компонент человеческого капитала незначительна.

Следует отметить, что все ограничения в модели (8) задаются жёстким образом с использованием в качестве границ четких чисел, хотя более естественным является их задание в виде нечётких чисел, позволяющих моделировать имеющуюся неопределённость. Также, имеет смысл весовые коэффициенты в целевой функции, которые моделируют важность показателей социально-экономического развития, задавать на основе вербальных высказываний экспертов и представлять их в виде нечетких чисел. В связи с этим, представляется целесообразным в дальнейшем разработать нечеткую многопериодную модель и соответствующий метод нахождения решения.

Проведенный сравнительный анализ инерционного сценария (в рамках которого использовалась структура инвестиций, соответствующая законопроект о региональном бюджете) и оптимизационного сценария (в рамках которого структура инвестиций была получена с использованием предложенной оптимизационной модели) показал, что:

1) основным вектором перераспределения государственных ресурсов является сокращение инвестиций в «социальную политику» и их увеличение по трём основным направлениям «образование», «здравоохранение» и «национальная экономика», что видно из рис. 1. Стоит заметить, что именно влияние данных направлений на показатели социально-экономического развития является наиболее весомым;

2) при оптимизационном сценарии отмечается более эффективное продвижение по достижению целевых значений показателей социально-экономического развития. Об этом свидетельствует более высокое значение как интегрального показателя, так и степеней достижения подавляющего большинства поставленных целей, что представлено на рис. 2, 3.

Также можно говорить о практической значимости данного исследования, выраженной в формировании прикладного инструмента, использование которого позволяет повысить эффективность распределения финансовых ресурсов при формировании регионального бюджета с учетом их ограниченности и поставленных задач.

7. Выводы

1. Разработана многопериодная модель, позволяющая находить оптимальную структуру государственных инвестиционных ресурсов на уровне региона. Модель представляет собой задачу математического программирования, в которой целевой функцией является интегральный показатель, характеризующий уровни достижения на заданном горизонте планирования целевых значений 17-ти показателей социально-экономического развития региона. Решением модели является структура инвестиций по направлениям инвестирования, влияющим напрямую или косвенно на развитие регионального человеческого капитала, и годам. С практической точки зрения модель представляет собой инструмент, позволяющий органам государственного управления добиваться максимально возможного продвижения по развитию региона. В условиях ограниченности региональных финансовых ресурсов такое продвижение становится возможным за счёт роста уровня человеческого капитала с учётом важности стратегических приоритетов.

2. Построены функциональные зависимости предложенной в концептуальной модели цепочки каналов влияния:

– «структура и объемы инвестиций по разным направлениям инвестирования в качество жизни и человеческий капитал региона»→«показатели регионального человеческого капитала»;

– «показатели регионального человеческого капитала»→«продвижение по достижению стратегических целей и задач социально-экономического развития региона».

Зависимости представляют собой эконометрические модели для панельных данных. База данных представляет собой взятые из открытых источников значения 56 показателей развития человеческого капитала, социально-экономического развития и объемов инвестиций по направлениям для регионов Российской Федерации за 2011–2017 гг. Для избавления от мультиколлинеарности и уменьшения размерности модели на первом уровне цепочки использован метод главных ком-

понент. Для каждого кластера, на которые в [29] по показателям человеческого капитала разбиты регионы России, построены лаговые модели с детерминированными или случайными пространственными эффектами. Лучшие модели выбирались с помощью тестов Вальда, Хаусмана и Бройша-Пагана.

3. Вычислительные аспекты предложенного метода рассмотрены при формировании оптимальной структуры государственных инвестиционных ресурсов для нескольких регионов России. На основе проведенных расчетов сформированы структуры вложений по направлениям инвестирования и годам, оптимальные по критерию максимума степени достижения целевых значений показателей социально-экономического развития региона. Рассмотренные примеры показывают, что оптимизация структуры инвестиций позволяет добиться лучшего продвижения по развитию региона по сравнению с инерционным сценарием. При инерционном сценарии структура инвестиций на горизонте планирования соответствует структуре, которая предложена в региональных законопроектах о бюджете.

Благодарности

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований в рамках научного проекта № 18-010-01010.

Литература

1. Becker, G. S. (1962). Investment in Human Capital: A Theoretical Analysis. *Journal of Political Economy*, 70 (5, Part 2), 9–49. doi: <https://doi.org/10.1086/258724>
2. Аганбегян, А. Г. (2017). Человеческий капитал и его главная составляющая – сфера «экономики знаний» как основной источник социально-экономического роста. *Экономические стратегии*, 3, 66–79.
3. Кудрин, А. Л., Соколов, И. А. (2017). Бюджетный маневр и структурная перестройка российской экономики. *Вопросы экономики*, 9, 5–27.
4. Teixeira, A. A. C., Queirós, A. S. S. (2016). Economic growth, human capital and structural change: A dynamic panel data analysis. *Research Policy*, 45 (8), 1636–1648. doi: <https://doi.org/10.1016/j.respol.2016.04.006>
5. Olopade, B. C., Okodua, H., Oladosun, M., Asaley, A. J. (2019). Human capital and poverty reduction in OPEC member-countries. *Heliyon*, 5 (8), e02279. doi: <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2019.e02279>
6. Zallé, O. (2019). Natural resources and economic growth in Africa: The role of institutional quality and human capital. *Resources Policy*, 62, 616–624. doi: <https://doi.org/10.1016/j.resourpol.2018.11.009>
7. McDonald, B. D. (2019). A human capital model of the defense-growth relationship. *The Social Science Journal*. URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0362331919300618>
8. Либеральный удар по российскому образованию: Как лоббисты пытаются управлять будущим страны. URL: <http://electek.ru/articles/31059-liberalnyy-udar-po-rossiyskomu-obrazovaniyu-kak-lobbisty-pytayutsya-upravlyat-buduschim-strany.html>

9. Белкин, В. Н., Артемова, О. В., Гарина, В. Ю. (2012). Понятийный аппарат теории человеческого капитала. *Журнал экономической теории*, 2, 7–13.
10. Campbell, C. (2019). Social capital, social movements and global public health: Fighting for health-enabling contexts in marginalised settings. *Social Science & Medicine*, 112153. doi: <https://doi.org/10.1016/j.socscimed.2019.02.004>
11. Osipov, V. A., Krasova, E. V. (2015). Features of forming of a manpower in strategically important cities of the Far East of Russia (on the example of Vladivostok). *Mediterranean Journal of Social Sciences*, 6 (5), 108–117. doi: <https://doi.org/10.5901/mjss.2015.v6n5s3p108>
12. Su, Y., Liu, Z. (2016). The impact of foreign direct investment and human capital on economic growth: Evidence from Chinese cities. *China Economic Review*, 37, 97–109. doi: <https://doi.org/10.1016/j.chieco.2015.12.007>
13. Chi, W. (2008). The role of human capital in China's economic development: review and new evidence. *China Economic Review*, 19 (3), 421–436. doi: <https://doi.org/10.1016/j.chieco.2007.12.001>
14. Васильев, В. С. (2018). Ухудшение воспроизводственных условий в экономике США: инфраструктурный фактор. *Контуры глобальных трансформаций: политика, экономика, право*, 11 (2), 133–150. doi: <https://doi.org/10.23932/2542-0240-2018-11-2-133-150>
15. Woo, Y., Kim, E., Lim, J. (2017). The Impact of Education and R&D Investment on Regional Economic Growth. *Sustainability*, 9 (5), 676. doi: <https://doi.org/10.3390/su9050676>
16. Fleisher, B., Li, H., Zhao, M. Q. (2010). Human capital, economic growth, and regional inequality in China. *Journal of Development Economics*, 92 (2), 215–231. doi: <https://doi.org/10.1016/j.jdeveco.2009.01.010>
17. Zhou, G., Gong, K., Luo, S., Xu, G. (2018). Inclusive Finance, Human Capital and Regional Economic Growth in China. *Sustainability*, 10 (4), 1194. doi: <https://doi.org/10.3390/su10041194>
18. Корицкий, А. В. (2018). Велика ли отдача человеческого капитала в России? *ЭКО*, 2 (524), 35–47.
19. Коршунов, И. А., Гапонова, О. С., Гапонова, Н. С. (2019). Обучение и образование взрослых в контексте экономического развития регионов. *Экономика региона*, 15 (1), 107–120. doi: <https://doi.org/10.17059/2019-1-9>
20. Пьянова, М. В. (2018). Региональный опыт инвестирования в развитие человеческого капитала. *Налоги и финансы*, 2 (38), 26–36.
21. Kottaridi, C., Louloudi, K., Karkalakos, S. (2019). Human capital, skills and competencies: Varying effects on inward FDI in the EU context. *International Business Review*, 28 (2), 375–390. doi: <https://doi.org/10.1016/j.ibusrev.2018.10.008>
22. Salike, N. (2016). Role of human capital on regional distribution of FDI in China: New evidences. *China Economic Review*, 37, 66–84. doi: <https://doi.org/10.1016/j.chieco.2015.11.013>
23. Руденко, Д. Ю., Тилимбаева, А. Б. (2013). Оценка взаимосвязи инвестиций в человеческий капитал и уровня социально-экономического развития стран мира. *Вестник Тюменского государственного университета*, 11, 20–30.

24. Ермошина, Т. В. (2018). Инвестиции в человеческий капитал, как приоритет неоиндустриальной экономики. Научный журнал НИУ ИТМО. Серия: Экономика и экологический менеджмент, 4, 3–10. doi: <https://doi.org/10.17586/2310-1172-2018-11-4-3-10>
25. Fraumeni, B. M., He, J., Li, H., Liu, Q. (2019). Regional distribution and dynamics of human capital in China 1985–2014. *Journal of Comparative Economics*, 47 (4), 853–866. doi: <https://doi.org/10.1016/j.jce.2019.06.003>
26. Mazelis, L. S., Lavrenyuk, K. I., Krasko, A. A., Zagudaeva, O. N. (2018). A conceptual model of the regional human capital development. *International Transaction Journal of Engineering, Management, & Applied Sciences & Technologies*, 9 (4), 477–494. doi: <http://doi.org/10.14456/ITJEMAST.2018.44>
27. Бюджетный Кодекс РФ. Статья 21, п. 3. Официальный сайт компании «КонсультантПлюс». URL: http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_19702/8d384913e40ef9a5709117de01aa1f44f7cab76f/
28. Методические рекомендации по разработке и корректировке стратегии социально-экономического развития субъекта РФ и плана мероприятий по ее реализации. Утверждены приказом Минэкономразвития от 23.09.2017 г. № 131. Сайт Министерства экономического развития РФ. URL: <http://economy.gov.ru/minec/activity/sections/StrategTerPlanning/komplstplanning>
29. Мазелис, Л. С., Емцева, Е. Д., Лавренюк, К. И., Красько, А. А. (2018). Анализ развития регионального человеческого капитала за счет процесса инвестирования. *Азимут научных исследований: экономика и управление*, 7 (3 (24)), 180–184.