

DOI: 10.34020/2073-6495-2020-4-072-090

УДК 338.462:004:005.311.12

ОЦЕНКА DEA – ДИНАМИЧЕСКОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ ИННОВАЦИОННОГО РАЗВИТИЯ РЕГИОНОВ СФО¹

Чистякова Н.О., Михальчук А.А.

Национальный исследовательский Томский
политехнический университет

E-mail: chistyakovano@tpu.ru, aamih@tpu.ru

Актуальность исследования обусловлена проблемой отставания России в инновационном развитии от стран мировых лидеров. Проведена апробация инструментария динамической эффективности DEA-модели для оценки инновационного развития регионов СФО. Получены результаты: рассчитаны показатели DEA-эффективности регионов по совокупности показателей ресурсов и результатов 2-этапной модели «Генерация – Коммерциализация знаний»; построено имитационное пространство регионов в координатах показателей ресурсов и результатов; выявлены неоднородности статических и динамических показателей эффективности регионов.

Ключевые слова: DEA-эффективность, догоняющее и опережающее развитие, имитационное моделирование, дисперсионный анализ.

EVALUATION OF DEA-MODEL DINAMIC EFFICIENCY OF SIBERIAN REGIONS INNOVATION DEVELOPMENT

Chistyakova N.O., Mikhailchuk A.A.

National Research Tomsk Polytechnic University

E-mail: chistyakovano@tpu.ru, aamih@tpu.ru

Urgency of research is determined by the problem of Russia's lagging behind in innovative development from the world's leading countries. The testing of the DEA-model dynamic efficiency toolkit was carried out to assess the innovative development of the SFD regions. The following results were obtained: the DEA-efficiency indicators of the regions based on the aggregate of resource indicators and the results of the 2-stage model «Generation – Knowledge Commercialization»; the simulation space of the regions was built in the coordinates of the indicators of resources and results; the heterogeneity of static and dynamic indicators of the efficiency of regions was revealed.

Keywords: DEA-model dynamic efficiency, catching-up and advanced development, simulation modeling, analysis of variance.

ВВЕДЕНИЕ

В основе теоретических исследований инновационного развития регионов выделяют три основных подхода: экспансия технологий, догоняющее развитие и технологические сдвиги, обуславливающие наличие разных моделей и альтернативных траекторий инновационного развития [5].

¹ Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научно - исследовательского проекта РФФИ «Локальные инновации и глобальное технологическое лидерство: Переосмысление подходов к эффективному внутриотраслевому трансферу технологий», проект № 19-010-00946 (а).

Первый подход к инновационному развитию регионов – экспансия технологий – новые комбинации ресурсов и как результат новые материалы, товары, рынки, способы производства и организации (Й. Шумпетер). При этом отмечается значимая роль государственной политики по поддержке предпринимательства и инновационной деятельности, поскольку предприниматели не смогут выполнять новые ресурсные комбинации из-за масштабных ограничений [3]. Основной постулат данного подхода – повышение эффективности использования ресурсов – означает успех инноваций. Региональные инновации, основанные на данном подходе, известны в теории как инновации «расширения»: внедрение более эффективных комбинаций ресурсов «нового мира», которые явно превосходят доступные альтернативы. Реализация инноваций «расширения» в регионе требует наличия интенсивного взаимодействия и сотрудничества региональных акторов, университетов, исследовательских и инновационных центров, а также эффективной региональной политики по поддержке инновационной деятельности. В результате ключевые игроки в таких регионах становятся доминирующими технологическими лидерами, конкурирующими на глобальных рынках.

Второй подход к инновационному развитию регионов – догоняющее развитие – изменения в технологии и других внешних факторов, которые могут быть обнаружены и задействованы для предпринимателя (И. Кирцнер) [13]. Особенность данного вида инноваций заключается не в создании новых, а в признании и использовании созданных инноваций, при котором инновационное развитие регионов осуществляется за счет имитации и тиражирования ноу-хау, разработанного лидерами. Реализация траектории догоняющего инновационного развития – довольно сложный процесс, поскольку зависит от уровня взаимодействия регионов, способа передачи знаний (передача знаний затруднена без передачи людей), от инновационной среды и уровня развития инновационной инфраструктуры.

Реализация технологической траектории «догоняющего развития», как правило, осуществляется в периферийных регионах, которые находятся в невыгодном положении с точки зрения привлечения высококвалифицированных специалистов, способных осуществлять передачу технологий [11]. В данном случае, особую актуальность приобретают разработка региональной инновационной стратегии, направленная на снятие существующих барьеров при передаче новых технологий, формирование эффективной инновационной среды и соответствующей инфраструктуры, реализация эффективных мер государственной поддержки инновационной деятельности.

Третий подход к инновационному развитию регионов – технологический сдвиг – смена технологической базы и отраслевой структуры экономики региона на более прогрессивную (Ф. Хайек). Особенностью траектории «изменяющегося развития» инноваций является наличие социальной составляющей, в частности культурных особенностей, норм, процедур и ценностей региональных акторов, которая может создавать барьеры для внедрения существенно отличающихся новых технологий [11]. Так, например, наличие эффективно функционирующих исторически сложившихся отраслей (туризм, сельское хозяйство) развивает навыки региона и создает «ловушку собственных компетенций» [14], что ограничивает их способность воспринимать новые идеи от ведущих технологий.

Наличие альтернативных траекторий инновационного развития регионов актуализирует необходимость разработки единых подходов и показателей, отражающих особенности развития каждой из рассматриваемых моделей. Так, например, показатели патентной активности и затраты на НИОКР, дают лишь ограниченную информацию и не отражают особенности инновационного развития в моделях «догоняющего развития» и «технологических сдвигов». Необходимы альтернативные методы и подходы, отражающие относительный прогресс в уровнях региональных технологических инноваций независимо от выбранных траекторий.

Результаты эмпирических исследований показали, что использование DEA-метода и индекс производительности Малмквиста отражают специфику альтернативных траекторий инновационного развития регионов, поскольку определение производственной границы регионов позволяет сделать вывод о том, как региональные акторы используют свои ресурсы при создании валового регионального продукта [5].

В ситуации большого разнообразия российских регионов данное исследование имеет особую актуальность и определяет ее цель и задачи.

Целью исследования является апробация инструментария динамической эффективности DEA-модели для оценки инновационного развития регионов Сибирского федерального округа (далее по тексту – регионы СФО).

Основные задачи, решаемые в рамках исследования:

1. Расчет показателей DEA-эффективности регионов СФО по совокупности показателей ресурсов и результатов 2-этапной модели «Генерация – Коммерциализация знаний».
2. Построение имитационного пространства регионов в координатах показателей ресурсов и результатов.
3. Выявление неоднородности статических и динамических показателей эффективности регионов СФО.

МЕТОДОЛОГИЯ ИССЛЕДОВАНИЯ

I. Методология оценки эффективности методом DEA. Метод DEA (Data Envelopment Analysis) в настоящее время представляет собой развитую методологию сравнительной оценки эффективности функционирования различного рода субъектов (регионов СФО) по широкому набору входных и выходных показателей их деятельности [9, 16]. В отечественной академической литературе он известен также как анализ среды функционирования [1].

Кроме статической технической эффективности (ТЕ) региона, измеряемой ежегодно, методология DEA предлагает краткосрочную динамическую характеристику индекса производительности Малмквиста MPI (Malmquist productivity index), оценивающий 2-летний прогресс (регресс) эффективности того же региона [10, 15]. В литературе [4] используют форму представления индекса Малмквиста $MPI = EFF \cdot TECH$, где первая часть – это эффект роста относительной эффективности (Catch-up Effect), а вторая – эффект сдвига границы эффективности (Frontier Shift Effect). Оставшаяся часть TECH является мерой сдвига фронта в соответствии с технологическим улучшением между периодами. Член TECH больше, ра-

вен или меньше единицы, когда технологическая передовая практика, созданная лидерами, определяющими границы эффективности, улучшается, не изменяется или ухудшается соответственно.

В случае нескольких пар лет на периоде T в работе [12] предложено оценивать долгосрочную динамику МРІ линейным трендом $\alpha \cdot t + b$ ($\alpha > 0$ определяет прогресс, а $\alpha < 0$ – регресс).

II. Методология кластеризации регионов СФО. Неоднородность регионов по показателям позволяет применить кластерный анализ для типологизации регионов СФО. Для кластеризации используются методы К-средних и иерархической кластеризации (с помощью правила объединения – метода Варда и меры близости – Евклидово, Чебышева или Манхеттенское расстояние). В качестве средств визуализации результатов кластеризации регионов СФО применяются дендрограммы и диаграммы рассеяния регионов СФО по соответствующим показателям.

III. Методология сравнительного анализа регионов СФО. Для оценки качества построенных кластерных моделей регионов СФО использованы статистические критерии дисперсионного анализа. В случае малых выборок используются непараметрические характеристики (медиана, квартильный размах, минимальное и максимальное значения), для наглядной интерпретации – диаграммы размаха, а для сравнения выборок применяются непараметрические критерии проверки гипотез (критерии Краскела–Уоллиса и Манни–Уитни для независимых выборок).

Расчеты выполнены с помощью программных продуктов: DEAP [17] и STATISTICA [3, 18].

ОБЪЕКТ ИССЛЕДОВАНИЯ

Объектом исследования являются 12 регионов Сибирского федерального округа (регионы СФО), обозначенные соответствующими аббревиатурами. Регионы СФО имеют высокий уровень дифференциации по основным макроэкономическим показателям, различную структуру промышленности и, как следствие, разный уровень инновационного развития, что предопределяет наличие разных вариантов стратегий технологического развития.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Полномочия регионов РФ в сфере инновационной деятельности относятся к совместному ведению с Российской Федерацией (Федеральный закон от 06.10.1999 N 184-ФЗ (ред. от 28.12.2013) «Об общих принципах организации законодательных (представительных) и исполнительных органов государственной власти субъектов Российской Федерации», Стратегия инновационного развития РФ на период до 2020 года (Распоряжение Правительства РФ от 08.12.2011 г. N 2227-р). Полномочия направлены на создание правовых, экономических и организационных условий, механизмы реализации которых представлены финансово-экономическими, производственно-технологическими и организационно-информационными мерами поддержки. Важно отметить, что учет особенностей социально-экономического развития и инновационного потенциала региона при разработке

региональной инновационной политики является обязательным условием эффективности ее реализации. В этой связи исследовательский интерес представляет рассмотрение особенностей инновационного развития регионов СФО в контексте существующих теоретических подходов: экспансия технологий (Й. Шумпетер), догоняющее развитие (И. Кирцнер) и технологические сдвиги (Ф. Хайек), обуславливающие наличие разных моделей и альтернативных траекторий инновационного развития.

Для исследования моделей инновационного развития регионов СФО проведена 2-стадийная оценка DEA – динамической эффективности, отражающая основные этапы развития регионального инновационного процесса: Модель № 1 «Генерация знаний» и Модель № 2 «Коммерциализация знаний».

В качестве ресурсных показателей и показателей результативности инновационной деятельности используются показатели, распределенные по следующим группам:

1. Показатели, характеризующие уровень развития человеческого капитала в регионе:

ЧК1 – «Доля персонала, занимающегося исследованиями и разработками в общей численности трудоспособного населения, %».

2. Показатели, характеризующие инновационную активность компаний в регионе:

ИА1 – «Внутренние затраты на научные исследования, млн руб.».

ИА2 – «Затраты на технологические инновации, млн руб.».

ИА3 – «Объем инновационных товаров, работ, услуг, млн руб.».

3. Показатели, характеризующие накопление знаний в регионе:

НЗ1 – «Коэффициент изобретательской активности (число отечественных патентных заявок на изобретения, поданных в России, в расчете на 10 тыс. чел. населения)».

Модель № 1. «Генерация знаний». Используются ресурсные показатели (ЧК1) и (ИА1) и показатель результативности (НЗ1) за период 2010–2017 гг.

С помощью кластерного анализа по совокупности исходных стандартизированных показателей, усредненных за период 2010–2017 гг., выделено 5 кластеров регионов (рис. 1): К1 (высокое значение всех показателей), К2 (среднее значение ЧК1 и ИА1, но высокое ИА1), К3 (среднее значение всех показателей), К4 (средненизкое значение показателей), К5 (низкое значение показателей).

Различия по совокупности кластеров оценены как высокозначимые (на уровне значимости $p < 0,0005$) для всех трех показателей (НЗ1, ЧК1, ИА1).

Между ближайшими кластерами (рис. 1, б) различия оценены по критерию Манни–Уитни как высокозначимые, по крайней мере по одному из системы показателей кластеризации:

– кластеры (К1) и (К2) – по НЗ1 (медианы 2,817 и 1,359 соответственно) и ЧК1 (1,634 и 0,473);

– кластеры (К2) и (К3) – по ИА1 (9,669 и 3,227);

– кластеры (К3) и (К4) – по НЗ1 (1,093 и 0,788); ЧК1 (0,429 и 0,195); ИА1 (3,227 и 0,917);

– кластеры (К4) и (К5) – НЗ1 (0,788 и 0,196); ИА1 (0,917 и 0,135).

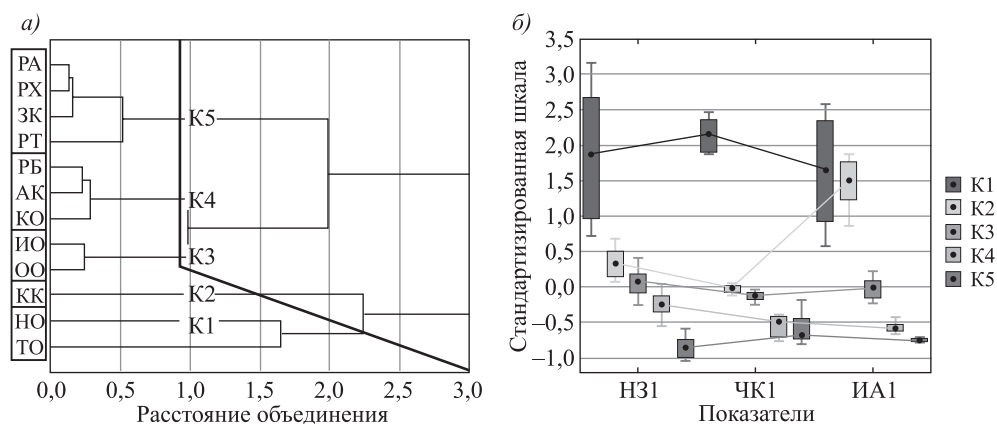


Рис. 1. Дендрограмма (а) и диаграммы размаха (б) кластеров (точка – медиана, прямоугольник – 25–75 % квартильный размах, усы – полный размах без выбросов)

Распределение регионов в трехмерном пространстве координат (ЧК1, ИА1, НЗ1) относительно регионов-лидеров (серые точки) фронта (кусочно-линейная поверхность, образованная лидерами) за 2013 и 2017 гг. представлено на рис. 2.

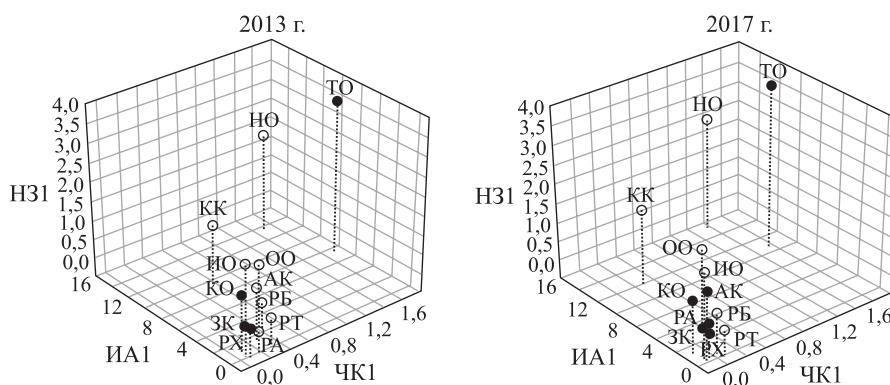


Рис. 2. Диаграмма рассеяния регионов за 2013 и 2017 гг., Модель № 1 «Генерация знаний»

В результате расчета Модели № 1 «Генерация знаний» методом DEA выявлены четыре постоянных региона-лидера на всем периоде 2010–2017 гг.: Томская область (К1), Кемеровская область (К4), Республика Хакасия и Забайкальский край (К5) и три региона-лидера на отдельных временных промежутках рассматриваемого периода: Красноярский край (К2) на промежутке 2011–2012 гг., Республика Алтай (К4) на промежутке 2014–2017 гг., Республика Бурятия (К4) на промежутке 2014–2016 гг.

Регионы-лидеры различаются по затратному признаку НЗ1 (ЧК1, ИА1):

- Томская область (К1) – лидер по минимизации затрат всех ресурсов (ЧК1, ИА1);

- Кемеровская область (К4) и Забайкальский край (К5) – лидеры по минимизации затрат в большей степени (ЧК1);

- Республика Хакасия (К5) – лидер по минимизации затрат в большей степени (ИА1);
- Республика Алтай (К5) и Республика Бурятия (К4) – лидеры по минимизации затрат (ИА1);
- Красноярский край (К2) – лидер по минимизации затрат (ЧК1).

С помощью метода DEA были определены не только регионы-лидеры по каждому году периода 2010–2017 гг., но и рассчитана техническая эффективность остальных регионов в рамках моделей НЗ1 (ЧК1, ИА1), ориентированных на вход (выход). Дополнительно рассчитаны средние значения технической эффективности (ТЕ) на полупериодах 2010–2013 гг. (TE_{cp1}) и 2014–2017 гг. (TE_{cp2}) (рис. 3).

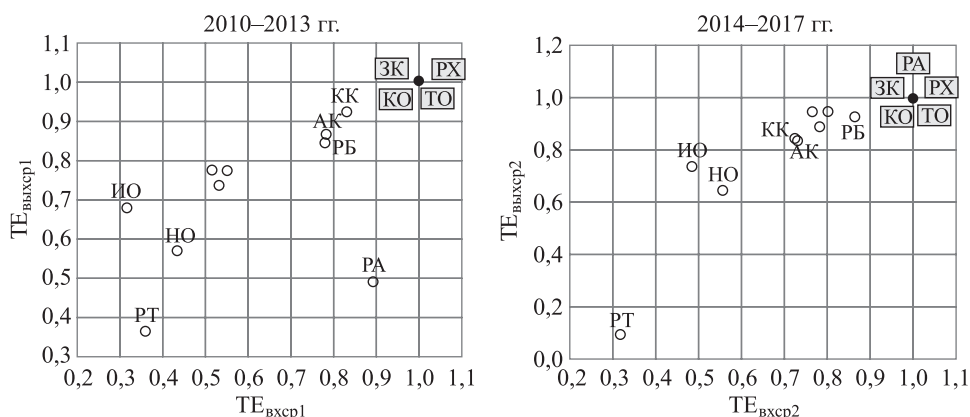


Рис. 3. Диаграмма рассеяния регионов СФО, Модель № 1 «Генерация знаний» в средних показателях ($TE_{вх}$) и ($TE_{вых}$) за периоды 2010–2013 гг. и 2014–2017 гг.

Следует отметить стремительный рост $TE_{вых}$ у РА от периода 2010–2013 гг. к 2014–2017 гг. Стабильно слабый ($TE < 0,4$) – регион РТ.

Методом DEA проведен расчет дополнительных характеристик эффективности для каждого региона за каждый год: тройка ближайших регионов-лидеров (pr); вес их влияния (wg); имитационное значение (TG) (на границе эффективности), которое позволяет оценить эффективность каждого региона относительным отклонением (ΔTG , %).

Рассмотрим имитационное пространство регионов в координатах (НЗ1, ЧК1, ИА1) на примере Иркутской области (К3) за 2017 г.:

1. Средний показатель $TE_{cp} \approx 0,79$ (средняя эффективность).
2. Параметры выхода – максимизация результата по накоплению знаний в регионе (НЗ1):
 - $TE_{вых} \approx 0,857$ (средняя эффективность);
 - потенциальная возможность роста НЗ1 составляет 16,696 % (с фактического значения НЗ1 = 1,12 до имитационного НЗ1_{TG} = 1,307);
 - ближайшими лидерами (pr) по данному показателю являются Кемеровская область (К4) и Томская область (К1) с весовыми коэффициентами влияния $wg = 0,846$ и $0,154$ соответственно.
3. Параметры входа IN – минимизация ресурсов человеческий капитал (ЧК1) и инновационная активность (ИА1):
 - $TE_{вх} \approx 0,722$ (средняя эффективность);

– потенциальная возможность сокращения ресурсов составляет 27,8 % (с фактического $ЧК1 = 0,355$ до имитационного $ЧК1_{TG} = 0,256$ и с фактического $ИА1 = 2,575$ до имитационного $ИА1_{TG} = 1,86$);

– ближайшими лидерами (pr) являются Кемеровская область (К4) и Томская область (К1), Алтайский край (К4) с весовыми коэффициентами влияния $wg = 0,706, 0,215$ и $0,079$ соответственно.

Расчеты показали неоднородность регионов СФО по имитационным показателям, что позволило применить кластерный анализ и провести типологизацию регионов. В результате кластеризации по совокупности имитационных показателей (вход: $НЗ1, ЧК1_{TG}, ИА1_{TG}$ или выход: $НЗ1_{TG}, ЧК1, ИА1$) получено распределение 12 регионов на четыре новых кластера (К*) в случае минимизации ресурсов (вход) и на четыре кластера (К**) в случае максимизации результата (выход) с привязкой к регионам-лидерам по значению показателя эффективности (рис. 4).

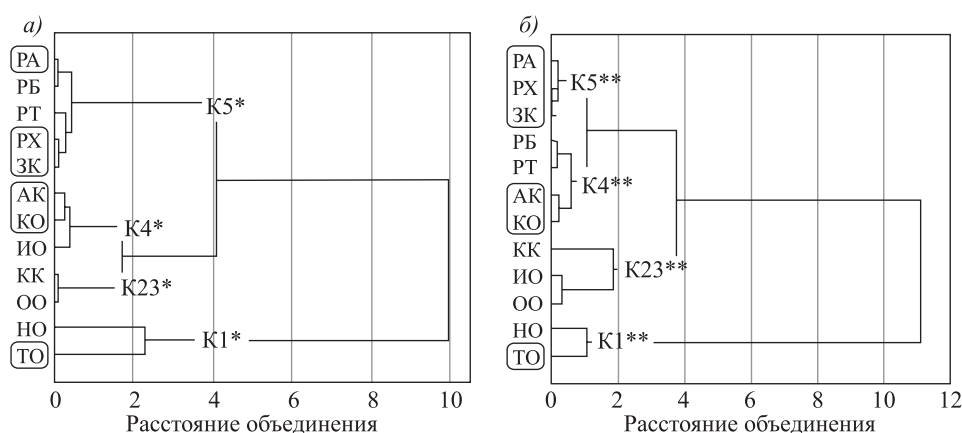


Рис. 4. Дендрограммы имитационных показателей регионов СФО:
а – вход; б – выход, Модель № 1 «Генерация знаний», 2017 г.

Результаты имитационной кластеризации (рис. 4) по основному составу сопоставимы с результатами исходной реальной кластеризации (см. рис. 1) с поправкой на объединение $K2 + K3$ в $K23^*$ и особенно в $K23^{**}$. Заметим, что только первый кластер, в состав которого входят Томская и Новосибирская области (лидер Томская область), имеет постоянный состав в $K1, K1^*$ и $K1^{**}$.

Методом DEA проведен расчет краткосрочной динамической эффективности MPI , а долгосрочная динамика эффективности охарактеризована параметрами MPI_{cp} и α .

Динамика показателя (MPI) за рассматриваемый период времени неустойчива (колеблется около 1) у всех регионов СФО, особенно нестабильное значение данного показателя отмечается у Республики Алтай – значительный рост за 2013–2014 гг.; Республики Тыва – значительный спад за 2013–2014 гг.; Республика Хакасии – значительный спад за 2013–2015 гг.

Долгосрочная динамика эффективности (MPI) охарактеризована параметрами MPI_{cp} и α , рассчитанными как полусумма и полуразность (соответственно) крайних значений (MPI) периодов 2010–2013 гг. («1») и 2014–2017 гг. («2»), и проиллюстрирована на рис. 5.

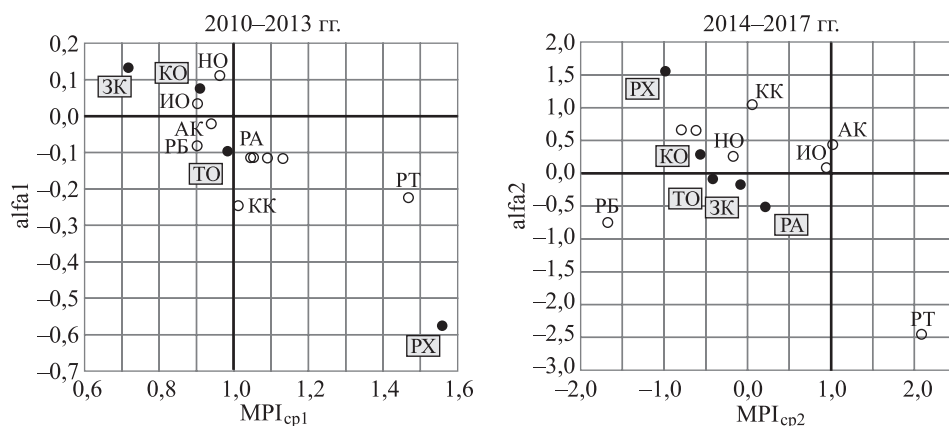


Рис. 5. Диаграмма рассеяния регионов СФО по MPI_{cp1} и α за 2010–2013 гг. и 2014–2017 гг. (серым цветом и рамками выделены лидеры по ТЕ)

Согласно рис. 5, у регионов СФО полностью отсутствует ускоренно растущая эффективность, а замедленно растущая эффективность наблюдается у Республики Тыва за период 2010–2017 гг. и у Республики Хакасия за 2010–2013 гг.

Заметим, что между MPI_{cp1} и α_1 выявлена сильно значимая ($0,0005 < p < 0,005$) отрицательная корреляция (ранговый коэффициент корреляции Спирмена $R1 \approx -0,83$), чего не скажешь про MPI_{cp2} и α_2 (Спирмена $R2 \approx -0,21$).

Модель № 2 «Коммерциализация знаний». Используются ресурсные показатели (НЗ1) и (ИА2) и показатель результативности (ИА3) за период 2010–2017 гг.

С помощью кластерного анализа по совокупности исходных стандартизированных показателей, усредненных за период 2010–2017 гг., получено разбиение 12 регионов СФО на пять кластеров, аналогично модели № 1 (рис. 6).

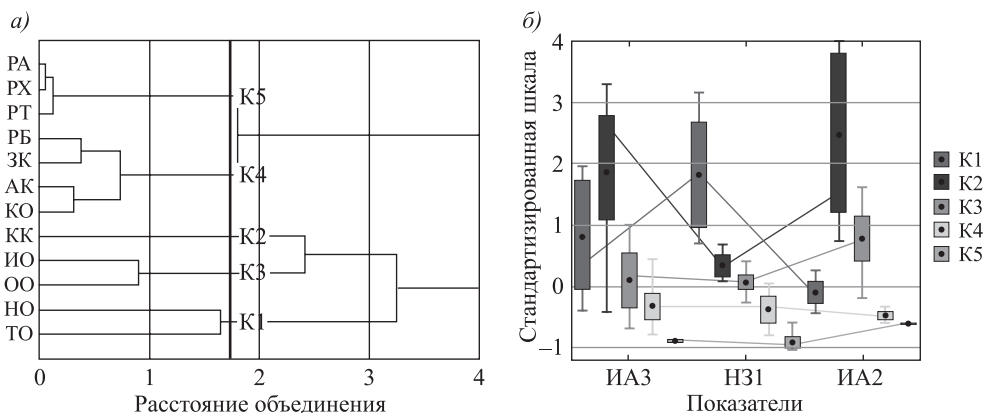


Рис. 6. Дендрограмма (а) и диаграммы размаха кластеров (б) регионов СФО (точка – медиана, прямоугольник – 25–75 % квартильный размах, усы – полный размах без выбросов)

Качество построенной 5-кластерной модели регионов СФО оценено по статистическим критериям дисперсионного анализа (ранговый критерий Краскела–Уоллиса). Различия по совокупности кластеров оценены как высокозначимые для всех трех показателей (ИА2, НЗ1, ИА3).

Между ближайшими кластерами (рис. 6, б) различия оценены по критерию Манни–Уитни как высокозначимые (по крайней мере по одному из системы показателей кластеризации):

– кластеры (К1) и (К2) – по НЗ1 (медианы 2,817 и 1,359 соответственно); ИА2 (5,204 и 32,482) и статистически значимо ($0,005 < p \approx 0,020 < 0,05$) по ИА3;

– кластеры (К2) и (К3) – по НЗ1 (1,359 и 1,093); ИА2 (32,482 и 14,710);

– кластеры (К3) и (К4) – по НЗ1 (1,093 и 0,670); ИА2 (14,710 и 1,801) и статистически значимо ($0,005 < p \approx 0,022 < 0,05$) по ИА3;

– кластеры (К4) и (К5) – по ИА2 (1,801 и 0,114); НЗ1 (0,670 и 0,156); ИА3 (6,903 и 0,138).

Модель DEA (IN/OUT_VRS) для ресурсов (НЗ1, ИА2) и результата (ИА3), ориентированная на вход/выход с переменной отдачей от масштаба, позволила оценить как эффективность $TE_{\text{вых}}$ регионов по максимизации результата ИА3 при фиксированных ресурсах (НЗ1, ИА2), так и эффективность $TE_{\text{вх}}$ регионов по минимизации ресурсов (НЗ1, ИА2) при фиксированном результате ИА3.

Распределение регионов в трехмерном пространстве координат (ИА2, НЗ1, ИА3) относительно регионов-лидеров (серые точки) фронта (кусочно-линейная поверхность, образованная лидерами) за 2013 и 2017 гг. представлено на рис. 7.

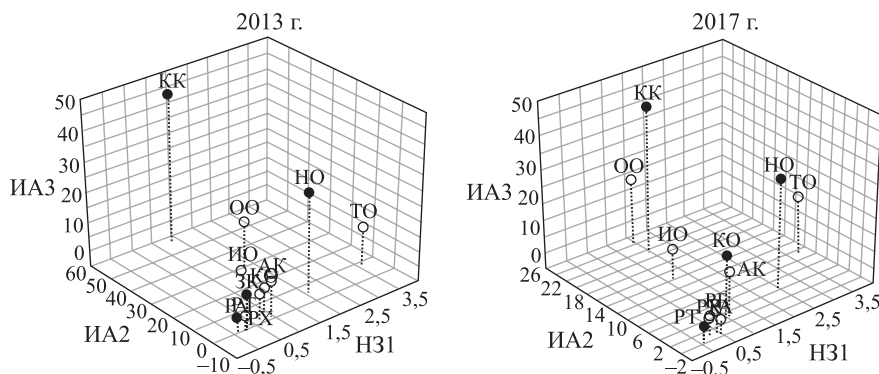


Рис. 7. Диаграмма рассеяния регионов СФО для оценки ($TE_{\text{вых}}$) и ($TE_{\text{вх}}$), Модель № 2 «Коммерциализация знаний» в показателях (ИА2, НЗ1, ИА3) за 2013 и 2017 гг.

С помощью метода DEA были определены регионы-лидеры (на рис. 7 выделены серыми точками) по каждому году периода 2010–2017 гг. и рассчитаны эффективности остальных регионов. Дополнительно рассчитаны средние значения технической эффективности на полупериодах 2010–2013 гг. ($TE_{\text{ср1}}$) и 2014–2017 гг. ($TE_{\text{ср2}}$).

По результатам расчета DEA для Модели № 2 «Коммерциализация знаний» выявлен один постоянный регион-лидер за период 2010–2017 гг. Новосибирская область (К2) и пять временных регионов-лидеров на отдельных

промежутках времени: Красноярский край (К1) за период 2012–2017 гг., Республика Тыва (К5) за исключением 2013 г., Забайкальский край (К4) за исключением 2015 и 2017 гг., Республика Алтай (К5) за период 2010–2013 гг., Кемеровская область (К4) за период 2014–2017 гг.

Регионы-лидеры различаются по затратному признаку:

- Красноярский край (К1) и Республика Тыва (К5) – лидеры по минимизации затрат (НЗ1, ИА2);
- Республика Алтай (К5) – лидер по минимизации затрат в большей степени (НЗ1);
- Новосибирская область (К1), Забайкальский край (К4) – лидеры по минимизации затрат в большей степени (ИА2);
- Кемеровская область (К4) – лидер по минимизации затрат (ИА2).

Статическая эффективность регионов СФО Модели № 2 «Коммерциализация знаний» в средних показателях ($TE_{вх}$) и ($TE_{вых}$) по периодам 2010–2013 гг. и 2014–2017 гг. представлена на рис. 8.

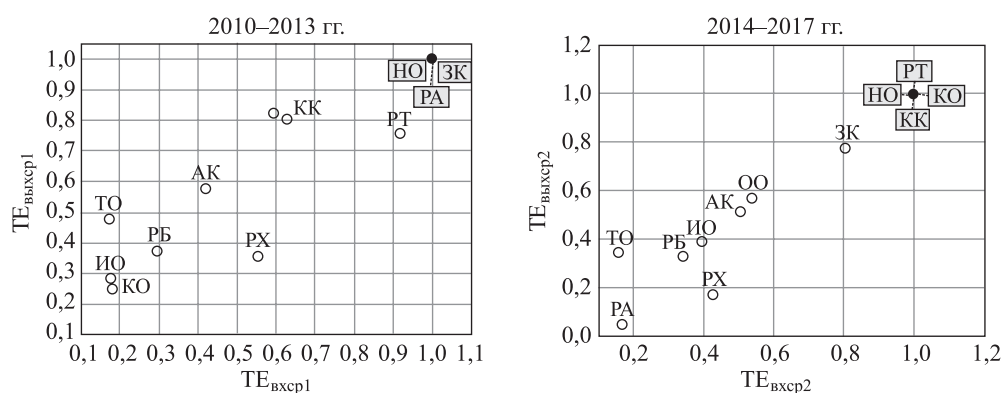


Рис. 8. Диаграмма рассеяния регионов СФО Модели № 2 «Коммерциализация знаний» в средних показателях $TE_{вх}$ и $TE_{вых}$ по периодам 2010–2013 гг. и 2014–2017 гг.

Следует отметить резкое падение TE у РА и стремительный рост TE у КО от периода 2010–2013 гг. к 2014–2017 гг. Стабильно слабые ($TE < 0,5$) – регионы ТО, РБ, ИО, РХ.

Методом ДЕА для каждого региона на каждый год рассчитаны дополнительные характеристики эффективности: ближайшие лидеры (rg); вес их влияния (wg); имитационное значение (TG) (на границе эффективности), которое позволяет оценить эффективность каждого региона относительным отклонением ($\Delta TG, \%$). Например, имитационное пространство Томской области за 2017 г. характеризуется следующими параметрами:

- средний показатель эффективности $TE_{cp} \approx 0,285$ (низкая эффективность);
- параметры выхода OUT – максимизация результата ИА3: $TE_{вых} \approx 0,388$;
- потенциальная возможность роста результата ИА3 составляет 157,79 % (с фактического значения ИА3 = 12,112 до имитационного эффективного ИА3_{TG} = 31,225);
- ближайшие лидеры Красноярский край и Новосибирская область с весовыми коэффициентами влияния $wg = 0,321$ и $0,679$ соответственно;

- параметры входа IN – минимизация ресурсов НЗ1 и ИА2: $TE_{вх} \approx 0,181$;
- потенциальная возможность сокращения ресурсов составляет 81,9 % (с фактического НЗ1 = 3,760 до имитационного $НЗ1_{ТГ} = 0,68$ и с фактического ИА2 = 9,615 до имитационного $ИА2_{ТГ} = 1,738$);
- ближайшими лидерами (pr) являются Кемеровская область, Республика Тыва и Красноярский край с весовыми коэффициентами влияния $wg = 0,763, 0,228$ и $0,009$ соответственно.

Неоднородность регионов по имитационным показателям (вход и выход, 2017 г.) позволяет применить кластерный анализ для типологизации регионов СФО. В результате кластеризации по совокупности имитационных показателей (вход: ИА3, НЗ1_{ТГ}, ИА2_{ТГ}, или выход: ИА3_{ТГ}, НЗ1, ИА2) получено распределение 12 регионов на четыре кластера как по минимизации ресурсов (вход), так и по максимизации результата (выход) с привязкой к лидерам эффективности (рис. 9). Заметим, что ни один кластер не имеет постоянного состава.

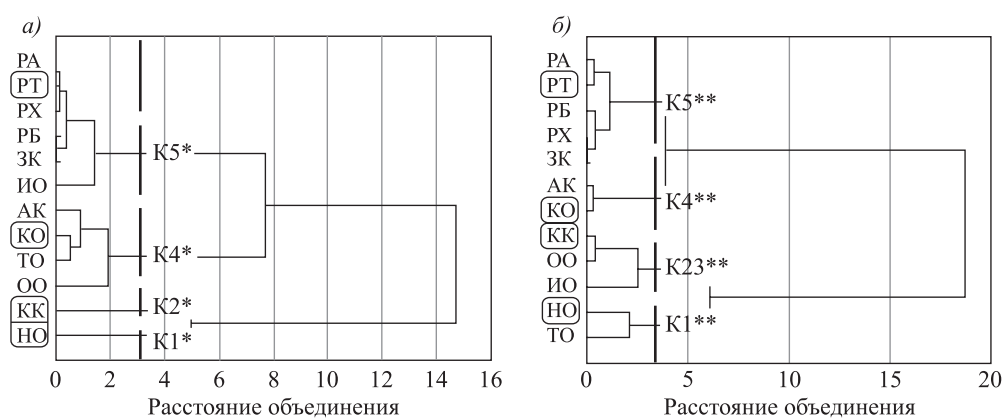


Рис. 9. Дендрограммы имитационных показателей регионов СФО: а – вход, б – выход, Модель № 2 «Коммерциализация знаний», 2017 г.

Результаты имитационной кластеризации (рис. 9) по основному составу сопоставимы с результатами исходной реальной кластеризации (см. рис. 6) с поправкой на нестабильность K2 и объединение K2 + K3 в K23**.

Рассмотрим построенное имитационное пространство регионов (в координатах ИА3, НЗ1, ИА2) на примере Томской области за 2017 г.:

1) средний показатель эффективности $TE_{cp} \approx 0,285$ (низкая эффективность);

2) параметры выхода OUT – максимизация результата ИА3: $TE_{вых} \approx 0,388$;

– потенциальная возможность роста результата (ИА3) составляет 157,79 % (с фактического значения (ИА3) = 12,112 до имитационного эффективного (ИА3_{ТГ}) = 31,225);

– ближайшие лидеры (pr) Красноярский край и Новосибирская область с весовыми коэффициентами влияния $wg = 0,321$ и $0,679$ соответственно;

3) параметры входа IN – минимизация ресурсов НЗ1 и ИА2: $TE_{вх} \approx 0,181$;

– потенциальная возможность сокращения ресурсов для показателя (НЗ1) составляет 81,91 % (с фактического значения НЗ1 = 3,760 до имитационного $НЗ1_{ТГ} = 0,68$);

тационного эффективного $H31_{TG} = 0,68$), для показателя (ИА2) 81,92 % (с фактического значения (ИА2) = 9,615 до имитационного эффективного (ИА2_{TG}) = 1,738);

– ближайшими лидерами (pr) являются Кемеровская область, Республика Тыва и Красноярский край с весовыми коэффициентами влияния $wg = 0,763, 0,228$ и $0,009$ соответственно.

В модели № 2 «Коммерциализация знаний» наряду с ТЕ региона, измеряемой ежегодно, методом DEA проведен расчет MPI, MPI_{cp} и α (аналогично Модели № 1). Выявлена неустойчивая (колеблется около 1) динамика показателя MPI у всех регионов СФО, особенно нестабильно значение данного показателя у Кемеровской области – значительный рост в 2013–2014 гг.; Республики Алтай – значительный спад за период 2011–2012 гг. и 2013–2014 гг.; Республики Хакасии – значительный рост в 2014–2015 гг.

Долгосрочная динамическая эффективность регионов СФО в Модели № 2 «Коммерциализация знаний» в средних показателях (MPI_{cp}) и α , рассчитанными как полусумма и полуразность (соответственно) крайних значений (MPI) периодов 2010–2013 гг. («1») и 2014–2017 гг. («2»), проиллюстрирована на рис. 10.

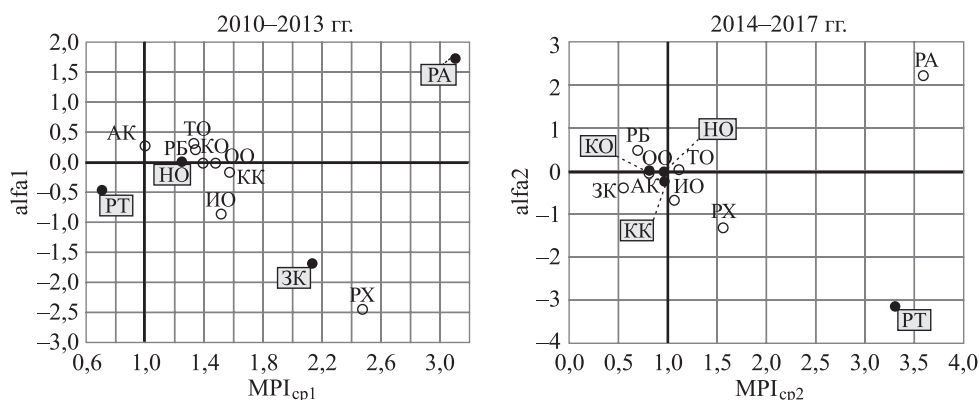


Рис. 10. Диаграмма рассеяния регионов по MPI_{cp} и α за 2010–2013 гг. и 2014–2017 гг., Модель № 2 «Коммерциализация знаний» (серым цветом и рамками выделены лидеры ТЕ)

Отметим ускоренно растущую эффективность у Республики Алтай за период 2010–2017 гг. и замедленно растущую эффективность у Республики Хакасии за период 2010–2017 гг., у Забайкальского края за 2010–2013 гг., Республики Тыва за 2014–2017 гг. Томская область характеризуется медленно растущей эффективностью за 2010–2013 гг., переходящей в стабильную за 2014–2017 гг.

ВЫВОД

Оценка этапа «Генерации знаний» регионального инновационного процесса в регионах СФО с помощью модели DEA – динамической эффективности показала, что регионами-лидерами по генерации знаний являются регионы первого кластера, имеющие постоянный состав в K1, K1* и K1** (Томская и Новосибирская области), в котором Томская область

является лидером, а Новосибирская область ориентирует свой имитационный потенциал в большей части на Томскую область. В частности, в 2017 г. Новосибирская область при средней эффективности $TE_{\text{вых}} \approx 0,711$ имела ближайшими лидерами Томскую (К1**) и Кемеровскую (К4**) области с весовыми коэффициентами влияния $w_g = 0,887$ и $0,113$ соответственно для потенциальной возможности роста результата по накоплению знаний (НЗ1) на 40,66 % (с фактического значения $НЗ1 = 2,44$ до имитационного $НЗ1_{\text{ТГ}} = 3,432$).

Особенностью этих регионов является высокоразвитый научно-образовательный комплекс, который генерирует большую часть результатов интеллектуальной деятельности региона, формирует более прогрессивную структуру занятости с точки зрения перехода на инновационный путь развития и стимулирует высокую изобретательскую активность. Хорошо развита инновационная инфраструктура, включающая: индустриальные технологические парки, научно-производственные центры, бизнес-инкубаторы, офисы коммерциализации, центры трансфера технологий, инжиниринговые центры и т.д. Кроме того, безусловным регионом-лидером по генерации знаний Томская область стала благодаря участию ее университетов – НИ ТПУ и НИ ТГУ в «Проекте 5 – 100».

В Томской и Новосибирской областях реализуется модель – экспансии технологий – новые комбинации ресурсов и как результат новые материалы, товары, рынки, способы производства и организации (Й. Шумпетер). Отмечается значимая роль региональной инновационной политики по поддержке предпринимательства и инновационной деятельности, о чем свидетельствует достаточно большой перечень мер государственной поддержки, представленный в региональных законах об инновационной деятельности этих регионов.

Высокий потенциал научно-образовательного комплекса в Томской и Новосибирской областях дает возможность создания прорывных технологий за счет фундаментальных исследований и высокого уровня развития человеческого капитала. Наличие интенсивного взаимодействия и сотрудничества субъектов инновационной деятельности, университетов, исследовательских и инновационных центров обеспечивает высокоразвитая инновационная инфраструктура, которая способствует появлению технологических лидеров, конкурирующих на глобальных рынках.

Основными ограничениями модели опережающего инновационного развития в данных регионах являются высокие издержки содержания институтов трансфера технологий, более долгий региональный инновационный процесс, а также риски, связанные со сложностью оценки востребованности на рынке результата интеллектуальной деятельности, генерируемого в НОК.

Модель догоняющего развития (И. Кирцнер), состоящая в использовании созданных инноваций за счет имитации и тиражирования ноу-хау, разработанного лидерами, реализуется в регионах, формирующих кластеры (К2) и (К3): Красноярский край, Иркутская и Омская области. Красноярский край характеризуется высокой эффективностью (средняя $TE_{\text{вых}} \approx 0,88$), ускоренно растущей за 2014–2017 гг. Его имитационное пространство «генерации знаний» за 2017 г. определяется следующими параметрами:

эффективность $TE_{\text{вых}} \approx 0,971$; потенциальная возможность роста результата по накоплению знаний (НЗ1) составляет 2,953 % (с фактического значения $НЗ1 = 1,49$ до имитационного $НЗ1_{\text{TГ}} = 1,534$); ближайшие лидеры Кемеровская область (К4**) и Томская область (К1**) с весовыми коэффициентами влияния $wg = 0,767$ и $0,233$ соответственно. Эффективность $TE_{\text{вх}} \approx 0,948$; потенциальная возможность сокращения ресурсов составляет 5,205 % для (ЧК1) (с фактического $ЧК1 = 0,484$ до имитационного $ЧК1_{\text{TГ}} = 0,459$) и 70,39 % для (ИА1) (с фактического $ИА1 = 9,881$ до имитационного $ИА1_{\text{TГ}} = 2,926$); ближайшими лидерами (pr) являются Кемеровская область (К4*) и Томская область (К1*) с весовыми коэффициентами влияния $wg = 0,783$ и $0,217$ соответственно.

Иркутская область характеризуется средней эффективностью (средняя $TE_{\text{вых}} \approx 0,71$), ускоренно растущей за 2014–2017 гг. Его имитационное пространство «генерации знаний» за 2017 г. определяется следующими параметрами: эффективность $TE_{\text{вых}} \approx 0,857$; потенциальная возможность роста результата по накоплению знаний (НЗ1) составляет 16,7 % (с фактического значения $НЗ1 = 1,12$ до имитационного $НЗ1_{\text{TГ}} = 1,307$); ближайшие лидеры Кемеровская область (К4) и Томская область (К1) с весовыми коэффициентами влияния $wg = 0,846$ и $0,154$ соответственно. Эффективность $TE_{\text{вх}} \approx 0,722$; потенциальная возможность сокращения ресурсов составляет 27,8 % (с фактического $ЧК1 = 0,355$ до имитационного $ЧК1_{\text{TГ}} = 0,256$ и с фактического $ИА1 = 2,575$ до имитационного $ИА1_{\text{TГ}} = 1,86$); ближайшими лидерами (pr) являются Кемеровская область (К4) и Томская область (К1), Алтайский край (К4) с весовыми коэффициентами влияния $wg = 0,706$, $0,215$ и $0,079$ соответственно.

Теоретический подход к инновационному развитию – технологический сдвиг – смена технологической базы и отраслевой структуры экономики региона на более прогрессивную (Ф. Хайек) реализуется в регионах, формирующих кластеры (К4) и (К5): Алтайский и Забайкальский края, Республики Бурятия, Алтай, Хакасия и Тыва. Значимость социальной составляющей, как уже отмечалось выше, в частности культурных особенностей, норм, процедур и ценностей региональных акторов, может создавать барьеры для внедрения существенно отличающихся новых технологий.

Реализация модели технологического сдвига характерна для регионов с традиционными отраслями (например, сельскохозяйственные территории с агропромышленным комплексом), которые в силу «ловушек компетенций» не готовы осваивать новые прорывные технологии и развивать сопутствующие производственные системы. Например, в Республике Алтай находится одно учреждение высшего профессионального образования «Горно-Алтайский государственный университет», в котором разрабатываются инновационные направления, направленные на исследование возможностей использования местного экологически чистого растительного, животного и минерального сырья. Лабораторией экологической генетики и селекции растений биолого-химического факультета выполняется испытание мировой коллекции ВИРа и сохранение мирового генофонда картофеля в условиях безвирусной зоны Горного Алтая. Таким образом, сфера деятельности научно-исследовательских и научно-образовательных организаций региона сосредоточена на изучении вопросов функциониро-

вания и развития сельского хозяйства, природопользования, пищевой промышленности, сохранения природного богатства и культурного наследия республики.

Оценка этапа «коммерциализации знаний» регионального инновационного процесса в регионах с помощью модели DEA – динамической эффективности показала, что регионами-лидерами по коммерциализации знаний являются Красноярский край и Новосибирская область.

Красноярский край имеет диверсифицированную структуру промышленного производства, преобладают отрасли обрабатывающей промышленности. Регион имеет развитый научно-образовательный комплекс, в том числе Сибирский федеральный университет. Красноярский край является опорным регионом России, ориентированным на интеграцию в глобальные рынки не только за счет сырья и продуктов первых переделов, но и за счет производства товаров и услуг с высокой добавленной стоимостью. Реализуя модель догоняющего развития, поскольку основная часть инноваций генерируется промышленным комплексом, регион обладает высоко-развитой производственной базой, способностью учитывать потребности рынка, относительно коротким временным лагом от идеи до внедрения (из-за отсутствия необходимости развивать инфраструктуру трансфера технологий).

Томская область, являясь регионом-лидером по «генерации знаний», на этапе «коммерциализации знаний» теряет свои лидирующие позиции и показывает слабую эффективность (как по максимизации результата (ИА3) при фиксированных ресурсах (НЗ1) и (ИА2) ($TE_{\text{вых}} < 0,5$), так и по минимизации ресурсов НЗ1 и ИА2 при фиксированном результате (ИА3) ($TE_{\text{вх}} < 0,2$)), медленно растущей за 2010–2013 гг., переходящей в стабильную за 2014–2017 гг. В частности, в 2017 г. имитационный потенциал Томской области для реализации стратегии догоняющего развития определяется следующими параметрами: низкая эффективность ($TE_{\text{вых}} \approx 0,388$); потенциальная возможность роста результата (ИА3) составляет 157,79 % (с фактического значения ИА3 = 12,112 до имитационного эффективного ИА3_{ТГ} = 31,225); ближайшие лидеры Красноярский край и Новосибирская область с весовыми коэффициентами влияния $wg = 0,321$ и $0,679$ соответственно.

В Иркутской, Омской и Кемеровской областях развитый промышленный комплекс, в котором новые знания генерируют научные подразделения предприятий, обуславливая реализацию модели догоняющего инновационного развития в регионах.

Иркутская область (К3) характеризуется слабой эффективностью (средняя $TE_{\text{вых}} \approx 0,33$), медленно растущей за 2010–2017 гг. Ее имитационное пространство «коммерциализации знаний» за 2017 г. определяется следующими параметрами: средняя эффективность $TE_{\text{вых}} \approx 0,857$; потенциальная возможность роста результата по накоплению знаний (НЗ1) составляет 16,7 % (с фактического значения НЗ1 = 1,12 до имитационного НЗ1_{ТГ} = 1,307); ближайшие лидеры Кемеровская область (К4) и Томская область (К1) с весовыми коэффициентами влияния $wg = 0,846$ и $0,154$ соответственно. Средняя эффективность $TE_{\text{вх}} \approx 0,722$; потенциальная возможность сокращения ресурсов составляет 27,8 % (с фактического

ЧК1 = 0,355 до имитационного ЧК1_{ТГ} = 0,256 и с фактического ИА1 = 2,575 до имитационного ИА1_{ТГ} = 1,86); ближайшими лидерами (р_г) являются Кемеровская область (К4) и Томская область (К1), Алтайский край (К4) с весовыми коэффициентами влияния $w_g = 0,706, 0,215$ и $0,079$ соответственно.

В Кемеровской области отмечается значительный рост эффективности за период 2010–2013 гг. ($TE_{cp} \approx 0,22$) к 2014–2017 гг. ($TE \approx 1$).

Как уже отмечалось выше, реализация траектории догоняющего инновационного развития является довольно сложным процессом, который зависит от уровня взаимодействия регионов, способа передачи знаний, от инновационной среды и уровня развития инновационной инфраструктуры. Для такой модели инновационного развития характерно доминирующее влияние внешних факторов, определяемых государством, транснациональными корпорациями и крупными компаниями, а также наличие существенных ограничений, связанных с широкими заимствованиями технологий и зависимостью от передовых научных центров.

Поскольку реализация технологической траектории «догоняющего развития» как правило, осуществляется в регионах, которые находятся в невыгодном положении с точки зрения привлечения высококвалифицированных специалистов, способных осуществлять передачу технологий, то особую значимость для инновационного развития таких регионов, имеют вопросы кадрового обеспечения инновационной экономики.

Литература

1. Ратнер С.В. Динамические задачи оценки эколого-экономической эффективности регионов на основе базовых моделей анализа среды функционирования // Управление большими системами: сб. тр. 2017. № 67. С. 81–106.
2. Халафян А.А., Боровиков В.П., Калайдина Г.В. Теория вероятностей, математическая статистика и анализ данных: Основы теории и практика на компьютере. STATISTICA. EXCEL. М., 2016. 317 с.
3. Шумпетер Й. Теория экономического развития. Капитализм, социализм и демократия. М.: Эксмо, 2007. 864 с.
4. Alimohammadlou M., Mohammadi S. Evaluating the productivity using Malmquist index based on double frontiers data// Procedia – Social and Behavioral Sciences. 2016. № 230. P. 58–66.
5. Anokhin S., Wincent J., Autio E. Operationalizing opportunities in entrepreneurship research: use of data envelopment analysis / Small Business Economics. 2011. 37. P. 39–57. doi: 10.1007/s11187-009-9227-1
6. Azad A.K., Masum A.K., Haque S. Use of Circular Malmquist Index (CMI) and Variable Returns to Scale (VRS-MI) in Productivity Measurement- a Comparative Study // International Journal of Ethics in Social Sciences. 2014. Vol. 2. № 2. P. 69–76.
7. Banker R.D., Charnes A., Cooper W.W. Some Models for Estimating Technical and Scale Inefficiencies in Data Envelopment Analysis // Management Science. 1984. Vol. 30. № 9. P. 1078–1092.
8. Charnes A., Cooper W.W., Rhodes E. Measuring of Efficiency of Decision Making Units // European Journal of Operations Research. 1978. Vol. 2. № 6. P. 429–444.
9. Charnes A., Cooper W.W., Lewin A.Y., Seiford L.M. Data Envelopment Analysis: Theory, Methodology and Applications, Kluwer, 1995. P. 317.
10. Tohidi G., Razavyan S. A circular global profit Malmquist productivity index in data envelopment analysis // Applied Mathematical Modelling. 2013. № 37. P. 216–227.

11. *Hayek F.A.* The use of knowledge in society // *American Economic Review*. 1945. P. 519–530.
12. *Jafari Y. et al.* Malmquist Productivity Index for Multi Time Periods // *International Journal of Data Envelopment Analysis*. 2014. Vol. 2. №. 1. P. 315–322.
13. *Kirzner Israel M.* *Competition and Entrepreneurship*. Chicago: University of Chicago Press. 1974. P. 256.
14. *Lawson C., Lorenz E.* Collective learning, tacit knowledge and regional innovative capacity. *Regional Studies*. 1999. 33. P. 305–317. doi: 10.1080/713693555
15. *Malmquist S.* Index numbers and indifference surfaces // *Trabajos de Estadística*. 1953. № 4. P. 209–242.
16. *Seiford L.M.* Data Envelopment Analysis: The Evolution of the State of the Art (1978–1995). *Journal of Productivity Analysis*. 1996. Vol. 7. P. 99–138.
17. *Coelli Tim.* A Data Envelopment Analysis (Computer) Program // Centre for Efficiency and Productivity Analysis Department of Econometrics University of New England Armidale, Australia. 1998. <http://www.une.edu.au/econometrics/cepa.htm>
18. TIBCO Software Inc. Data Science Textbook. [Electronic source]. 2020. URL: <https://docs.tibco.com/data-science/textbook> (date of access: 13.04.2020).

Bibliography

1. *Ratner S.V.* Dinamicheskie zadachi ocenki jekologo-jekonomicheskoy jeffektivnosti regionov na osnove bazovyh modelej analiza sredey funkcionirovaniya // *Upravlenie bol'shimi sistemami*: sb. tr. 2017. № 67. P. 81–106.
2. *Halafjan A.A., Borovikov V.P., Kalajdina G.V.* Teorija verojatnostej, matematicheskaja statistika i analiz dannyh: Osnovy teorii i praktika na komp'yutere. STATISTICA. EXCEL. M., 2016. 317 p.
3. *Shumpeter J.* Teorija jekonomicheskogo razvitija. Kapitalizm, socializm i demokratija. M.: Jeksmo, 2007. 864 p.
4. *Alimohammadlou M., Mohammadi S.* Evaluating the productivity using Malmquist index based on double frontiers data // *Procedia – Social and Behavioral Sciences*. 2016. № 230. P. 58–66.
5. *Anokhin S., Wincent J., Autio E.* Operationalizing opportunities in entrepreneurship research: use of data envelopment analysis / *Small Business Economics*. 2011. 37. P. 39–57. doi: 10.1007/s11187-009-9227-1
6. *Azad A.K., Masum A.K., Haque S.* Use of Circular Malmquist Index (CMI) and Variable Returns to Scale (VRS-MI) in Productivity Measurement- a Comparative Study // *International Journal of Ethics in Social Sciences*. 2014. Vol. 2. № 2. P. 69–76.
7. *Banker R.D., Charnes A., Cooper W.W.* Some Models for Estimating Technical and Scale Inefficiencies in Data Envelopment Analysis // *Management Science*. 1984. Vol. 30. № 9. P. 1078–1092.
8. *Charnes A., Cooper W.W., Rhodes E.* Measuring of Efficiency of Decision Making Units // *European Journal of Operations Research*. 1978. Vol. 2. № 6. P. 429–444.
9. *Charnes A., Cooper W.W., Lewin A.Y., Seiford L.M.* *Data Envelopment Analysis: Theory, Methodology and Applications*, Kluwer, 1995. P. 317.
10. *Tohidi G., Razavyan S.* A circular global profit Malmquist productivity index in data envelopment analysis // *Applied Mathematical Modelling*. 2013. № 37. P. 216–227.
11. *Hayek F.A.* The use of knowledge in society // *American Economic Review*. 1945. P. 519–530.
12. *Jafari Y. et al.* Malmquist Productivity Index for Multi Time Periods // *International Journal of Data Envelopment Analysis*. 2014. Vol. 2. №. 1. P. 315–322.
13. *Kirzner Israel M.* *Competition and Entrepreneurship*. Chicago: University of Chicago Press. 1974. P. 256.
14. *Lawson C., Lorenz E.* Collective learning, tacit knowledge and regional innovative capacity. *Regional Studies*. 1999. 33. P. 305–317. doi: 10.1080/713693555

15. *Malmquist S.* Index numbers and indifference surfaces // *Trabajos de Estadística*. 1953. № 4. P. 209–242.
16. *Seiford L.M.* Data Envelopment Analysis: The Evolution of the State of the Art (1978–1995). *Journal of Productivity Analysis*. 1996. Vol. 7. P. 99–138.
17. *Coelli Tim.* A Data Envelopment Analysis (Computer) Program // Centre for Efficiency and Productivity Analysis Department of Econometrics University of New England Armidale, Australia. 1998. <http://www.une.edu.au/econometrics/cepa.htm>
18. TIBCO Software Inc. Data Science Textbook. [Electronic source]. 2020. URL: <https://docs.tibco.com/data-science/textbook> (date of access: 13.04.2020).