

ОЦЕНКА ДЕКАПЛИНГА ВЛИЯНИЯ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ВОДНЫХ РЕСУРСОВ НА РЕГИОНАЛЬНОМ УРОВНЕ НА ПРИМЕРЕ ТЮМЕНСКОЙ ОБЛАСТИ

ESTIMATION OF THE INFLUENCE DECOUPLING OF WATER RESOURCE USE AT THE REGIONAL LEVEL USING THE EXAMPLE OF THE TYUMEN REGION

Представлены результаты оценки состояний декаплинга влияния экономической системы Тюменской области, основанные на значениях коэффициентов его эластичности, рассчитанных с использованием модели IPAT и метода LDMI по данным, характеризующим эколого-экономическое развитие данного региона в период с 2013 г. по 2022 г. Установлено, что состояние декаплинга влияния экономической системы наблюдается в более 55 % двухгодичных временных подинтервалах указанного периода. Из всех факторов модели IPAT наиболее существенное влияние на состояния декаплинга оказывает фактор развития технологий в экономике региона, влияние же остальных факторов, таких как благосостояние населения региона и его численность, менее значимо.

Ключевые слова: водоотведение, декаплинг влияния, модель IPAT, метод LDMI.

The article presents the results of estimation of decoupling states of economic system influence of the Tyumen region based on the values of its elasticity coefficients calculated using the IPAT model and LDMI method on the data characterizing the ecological and economic development of this region in the period from 2013 to 2022. It has been found that the decoupling state of the influence of the economic system is observed in more than 55 % of the two-year time sub-intervals of the specified time period. Of all the factors in the IPAT model, the factor of technology development in the region's economy has the most significant impact on decoupling states, while the influence of other factors, such as the welfare of the region's population and its size, is less significant.

Keywords: water drainage, influence decoupling, IPAT model, LDMI method.

Введение

Ключевым фактором эффективного функционирования социально-экономических систем (СЭС) различной сложности является рациональное использование природных ресурсов. Это относится и к водным ресурсам, что нашло свое отражение на международном уровне: в 2016 г. ООН приняла резолюцию, которая провозгласила период с 2018 г. по 2028 г. Международным десятилетием «Вода для устойчивого развития»¹.

В Российской Федерации была разработана и реализовывалась Федеральная целевая

программа «Развитие водохозяйственного комплекса Российской Федерации в 2012–2020 гг.», включавшая мероприятия в области сохранения, водосбережения и развития водных ресурсов страны. Несмотря на неоднозначные оценки результатов реализации данной целевой программы², отмечена общая положительная динамика развития водных ресурсов РФ, что послужило «основой» для разработки новой актуализированной программы до 2035 г.³

² Бюллетень Счетной палаты Российской Федерации. Водные ресурсы. 2022. № 5 (294). 126 с.

³ Водная стратегия Российской Федерации на период до 2035 года. URL.: https://www.mnr.gov.ru/docs/proekty_pravovykh_aktov/vodnaya_strategiya_rossiyskoy_federatsii_na_period_do_2035_goda/. (дата обращения: 20.05.2024).

¹ Преобразование нашего мира: Повестка дня в области устойчивого развития на период до 2030 г. URL.: <https://sdgs.un.org/ru/2030agenda> (дата обращения: 20.02.2023).

Важными направлениями рационального использования водных ресурсов являются снижение потребления воды экономическими системами регионов, т. е. интенсификация ресурсосбережения, а также повышение результативности и эффективности функционирования технологических систем, обеспечивающих водоотведение. Оба направления нуждаются в совершенствовании аналитических методов оценки влияния развития СЭС регионального уровня (РСЭС) не только на потребление водных ресурсов, но и на величину объемов сброса в водоемы региона неочищенной или недостаточно очищенной воды. В настоящее время для этих целей широко используются разработанные в рамках метода декаплинга расчетные коэффициенты его эластичности (КЭД) и классификация Таріо эколого-экономических состояний (ЭЭС) РСЭС и ее отдельных экономических отраслей, сформированная с учетом значений коэффициентов роста «движущих сил» экономической системы, «факторов давления» на окружающую среду системы и значений КЭД [1–6].

Эффект декаплинга для используемых РСЭС природных ресурсов принято разделять на ресурсный, т. е. когда при расчетах КЭД используются объемы потребляемого ресурса, и декаплинг влияния, когда для определения значений КЭД используются объемы недостаточно очищенного ресурса, направляемого в окружающую среду после его использования. Дальнейшее совершенствование и развитие метода декаплинга для оценки ЭЭС РСЭС происходило в рамках его интеграции с моделью Кауа–IPAT Кауа (impact of human activity on the environment) [7–9] и метода индекса логарифмического суммирования (Logarithmic Mean Divisia Index, LDMI) [10–12].

Модель IPAT представляет собой негативное влияние деятельности человека «I» (impact) в виде мультипликативной зависимости от численности населения «P» (population), его достатка «A» (affluence)

и уровня развития технологий рассматриваемой системы «T» на состояние окружающей среды (technologies).

Декомпозиция методом LDMI позволяет распределить изменение «I» пропорционально доле изолированного влияния каждого из факторов «P», «A» и «T» независимо от их непосредственного расположения в исходном выражении модели IPAT. На основании расчетных значений влияния каждого из факторов на «I» рассчитываются соответствующие значения КЭД и идентифицируется ЭЭС РСЭС согласно классификации Таріо. Достаточно большое количество результатов использования комбинации модели IPAT Кауа, LDMI и классификации Таріо получено при решении задач оценки ЭЭС, связанных с выбросами CO₂ для СЭС на уровне таких государств, как Китай, страны Юго-Восточной Азии и частично Африки [13–15], отдельных регионов [16, 17] и отраслей экономики [18, 19]. Значительно меньше научных работ посвящено применению данного подхода к оценке ЭЭС РСЭС, связанного с использованием водных ресурсов [20–22], причем основной акцент исследований в них смещен на потребление водных ресурсов, т. е. на ресурсный декаплинг. В данной работе исследуется декаплинг влияния водных ресурсов при функционировании РСЭС Тюменской области за период с 2013 по 2022 гг., так как это единственный регион УрФО, который публикует соответствующие данные для достаточно большого перечня реализуемых им видов экономической деятельности.

Целью исследования является определение эколого-экономических состояний РСЭС Тюменской области согласно классификации Таріо и на основании значений коэффициентов эластичности декаплинга влияния, рассчитанных для факторов декомпозиции модели IPAT Кауа методом LDMI по данным, характеризующим функционирование рассматриваемой РСЭС и объемы сброса в водоемы региона неочищенных или недостаточно очищенных вод (загрязненной воды).

Для достижения заявленной цели исследования решались следующие задачи:

- определение критериев формирования укрупненных видов экономической деятельности региональной экономики;
- выявление изменений структуры экономики и структуры водоотведения в части сброса загрязненной воды в водоемы региона;
- осуществление анализа динамики показателя благосостояния населения и его численности;
- определение значений коэффициентов эластичности декарпинга влияния, факторов модели IPAT/Кауа.

Научная новизна работы состоит в использовании комбинации модели IPAT/Кауа, метода LDMI и классификации Тарю для определения эколого-экономических состояний РСЭС на основе значений КЭД влияния в разрезе водоотведения с учетом выделенных укрупненных ключевых видов экономической деятельности, изменений структуры экономики региона, благосостояния и численности его населения.

Материалы и методы

Оценка эффекта декарпинга использования экономической системой природных ресурсов чаще всего осуществляется с помощью коэффициента эластичности декарпинга (КЭД) [1–6]:

$$D(t, t-1) = \frac{\Delta E(t, t-1)}{\Delta Y(t, t-1)} = \left(\frac{E(t)}{E(t-1)} - 1 \right) / \left(\frac{Y(t)}{Y(t-1)} - 1 \right), \quad (1)$$

где $E(t)$, $E(t-1)$ — объемы используемых функционирующей экономической системой природных ресурсов в году t (отчетный год) и $t-1$ (базисный год); $Y(t)$, $Y(t-1)$ — показатели, характеризующие результативность функционирования экономической системы в отчетном и базисном годах.

Промежуток времени $[t, t-1]$ предлагается называть временным подынтервалом или подынтервалом.

На основании сочетаний значений $\Delta E(t, t-1)$, $\Delta Y(t, t-1)$ и $D(t, t-1)$ была сформирована общая классификация Тарю эколого-экономических состояний РСЭС (состояний декарпинга РСЭС, DS РСЭС), приведенная в табл. 1 [1, 6]. ЭЭС РСЭС, или отрасли экономики региона с состоянием декарпинга по рассматриваемому виду потребляемого природного ресурса (SD, WD и RD), соответствуют наиболее предпочтительному варианту развития экономики. Остальные варианты эколого-экономического состояния развития РСЭС с отсутствием эффекта декарпинга (негативный декарпинг, SND, END, WND) по рассматриваемому природному ресурсу сигнализируют о наличии проблем в экономике с его использованием.

Для модели IPAT/Кауа фактор «I» для года t соответствует $E(t)$, т. е. суммарному объему сброса загрязненной воды в водоемы региона. При описании процесса совершенствования технологий «Т» предлагается рассматривать ЭС как совокупность укрупненных групп видов экономической деятельности (УВЭД) предприятий и организаций региона. Объединение в укрупненные группы нескольких ВЭД предлагается осуществлять по следующим критериям:

- значительная доля потребления рассматриваемого ресурса;
- существенная доля валовой добавленной стоимости (ВДС) в валовом региональном продукте (ВРП);
- существенные различия технологических способов производства НДС.

С учетом вышеизложенного для оценки объемов сброса загрязненной воды в РСЭС для года t предлагается использовать следующее выражение [20–22]:

$$E(t) = \sum_{i=1}^N E_i(t) = \sum_{i=1}^N \frac{E_i(t)}{Y_i(t)} \frac{Y_i(t)}{Y(t)} \frac{Y(t)}{P(t)} P(t) = \sum_{i=1}^N e_i(t) d_i(t) g(t) P(t), \quad (2)$$

Таблица 1

Классификация эколого-экономических состояний РСЭС (состояний декаплинга РСЭС)

Вид декаплинга	$\Delta Y(t, t-1)$	$\Delta E(t, t-1)$	$D(t, t-1)$	Состояние декаплинга (DS) экономической системы
Декapлинг (Decoupling)	> 0	< 0	< 0	Сильный декаплинг (Strong decoupling, SD)
	> 0	> 0	$[0;1]$	Слабый декаплинг (Weak decoupling, WD)
	< 0	< 0	> 1	Рецессивный декаплинг (Recessive decoupling, RD)
Отсутствие декаплинга (Negative decoupling)	> 0	> 0	> 1	Интенсивный негативный декаплинг (Expansive negative decoupling, END)
	< 0	< 0	$[0;1]$	Слабый негативный декаплинг (Weak negative decoupling, WND)
	< 0	> 0	< 0	Сильный негативный декаплинг (Strong negative decoupling, SND)

где $Y(t)$, $E(t)$ — величина ВРП и общий объем сброса загрязненной воды в регионе соответственно; $Y_i(t)$, $E_i(t)$ — ВДС и объем сброса загрязненной воды i -ой УВЭД региона; $P(t)$ — численность населения региона; $e_i(t)$ — интенсивность промышленного водопользования i -й УВЭД региона; $d_i(t)$ — доля ВДС i -й УВЭД в ВРП региона, что характеризует структуру его экономики; $g(t)$ — характеризует собой ВРП на душу населения региона, т. е. уровень благосостояния населения; N — общее количество выделенных УВЭД в экономике региона.

Изменение $\Delta E(t, t-1)$ определяется следующим выражением [20–22]:

$$\begin{aligned} \Delta E(t, t-1) &= E(t) - E(t-1) = \\ &= \Delta E_e(t, t-1) + \Delta E_d(t, t-1) + \Delta E_g(t, t-1) + \dots \\ &\dots + \Delta E_p(t, t-1) + \Delta E_r(t, t-1), \end{aligned} \quad (3)$$

где $\Delta E(t, t-1)$ — изменение общего объема загрязненной воды, сброшенной в водоемы региона за подынтервал $[t; t-1]$; $E(t)$, $E(t-1)$ — общий объем загрязненной воды, сброшенной в водоемы региона в год « t » и « $t-1$ » соответственно; $\Delta E_e(t, t-1)$ — изменение суммарного объема загрязненной воды, сброшенной в водоемы выделенными УВЭД региона в год « t » по отношению к году « $t-1$ »; $\Delta E_d(t, t-1)$ — изменения доли УВЭД в структуре экономической системы региона за подынтервал $[t; t-1]$; $\Delta E_g(t, t-1)$, $\Delta E_p(t, t-1)$ — влияние изменений благосостояния на-

селения региона и его численности соответственно в рассматриваемый временной подынтервал; $\Delta E_r(t, t-1)$ — остаток разложения $\Delta E(t, t-1)$.

Выражения $\Delta E_e(t, t-1)$, $\Delta E_d(t, t-1)$, $\Delta E_g(t, t-1)$, $\Delta E_p(t, t-1)$ имеют следующий вид [21,22]:

$$\Delta E_e(t, t-1) = \sum_{i=1}^N W(E_i(t), E_i(t-1)) \ln \left(\frac{e_i(t)}{e_i(t-1)} \right); \quad (4)$$

$$\Delta E_d(t, t-1) = \sum_{i=1}^N W(E_i(t), E_i(t-1)) \ln \left(\frac{d_i(t)}{d_i(t-1)} \right); \quad (5)$$

$$\Delta E_g(t, t-1) = \sum_{i=1}^N W(E_i(t), E_i(t-1)) \ln \left(\frac{g(t)}{g(t-1)} \right); \quad (6)$$

$$\Delta E_p(t, t-1) = \sum_{i=1}^N W(E_i(t), E_i(t-1)) \ln \left(\frac{P(t)}{P(t-1)} \right). \quad (7)$$

В выражениях (5)–(7) $W(E_i(t), E_i(t-1))$ является весовой функцией, значения которой определяются следующей зависимостью:

$$\begin{aligned} W(E_i(t), E_i(t-1)) &= \\ &= \begin{cases} \frac{E_i(t) - E_i(t-1)}{\ln(E_i(t)) - \ln(E_i(t-1))}, & (E_i(t) \cdot E_i(t-1) \neq 0); \\ E_i(t-1), & (E_i(t) = E_i(t-1)); \\ 0, & (E_i(t) \cdot E_i(t-1) = 0). \end{cases} \end{aligned}$$

С учетом (3) выражение (1) примет следующий вид:

$$\begin{aligned}
D(t, t-1) &= \frac{\Delta E(t, t-1)/E(t-1)}{\Delta Y(t, t-1)/Y(t-1)} = \\
&= \frac{\Delta E_e(t, t-1)/E(t-1)}{\Delta Y(t, t-1)/Y(t-1)} + \frac{\Delta E_d(t, t-1)/E(t-1)}{\Delta Y(t, t-1)/Y(t-1)} + \\
&+ \frac{\Delta E_g(t, t-1)/E(t-1)}{\Delta Y(t, t-1)/Y(t-1)} + \frac{\Delta E_p(t, t-1)/E(t-1)}{\Delta Y(t, t-1)/Y(t-1)} = \\
&= D_e(t, t-1) + D_d(t, t-1) + D_g(t, t-1) + D_p(t, t-1), \quad (8)
\end{aligned}$$

где $D_e(t, t-1)$ — КЭД, характеризующий влияние развития экономической системы на общий объем сброса загрязненной воды регионом; $D_d(t, t-1)$ — КЭД, отражающий влияние структурных изменений в экономической системе региона на объем сброса загрязненной воды; $D_g(t, t-1)$, $D_p(t, t-1)$ — КЭД, отражающие влияние роста благосостояния «А» и численности населения региона «Р» на общий объем сброса загрязненной воды. Сумма $D_e(t, t-1) + D_d(t, t-1)$ характеризует влияние фактора «Т» на потребление воды. Значимость влияния факторов «Р», «А», «Т» на общий объем сброса загрязненной воды РСЭС в подынтервале $[t; t-1]$ предлагается определять отношением абсолютной величины соответствующего КЭД к $D(t, t-1)$.

В качестве источников данных о потреблении воды региональной социально-экономической системой Тюменской области (без автономных округов) и развитии ее экономической системы использовались ежегодно публикуемые статистические справочники Госкомстата РФ⁴, отчеты Минприроды РФ и МГУ им. М. В. Ломоносова⁵ о состоянии окружающей среды РФ, а также отчеты Природнадзора Тюменской области⁶.

В ходе исследования рассматривался временной интервал с 2013 г. по 2022 г., все

⁴ Регионы России. Социально-экономические показатели. URL: <https://rosstat.gov.ru/folder/210/document/13204> (дата обращения: 21.04.2024).

⁵ Государственный доклад Министерства природных ресурсов и экологии Российской Федерации «О состоянии и об охране окружающей среды Российской Федерации». URL: https://www.mnr.gov.ru/docs/gosudarstvennyye_doklady/ (дата обращения: 20.05.2024).

⁶ Доклад об экологической ситуации в Тюменской области. URL: https://admtymen.ru/ogv_ru/about/ecology/eco_monitoring/environment.htm. (дата обращения: 11.04.2024).

стоимостные показатели были приведены к ценам 2013 г. Согласно принятым ранее критериям выделено четыре УВЭД экономики области ($N = 4$):

УВЭД 1 — производство и распределение электроэнергии, газа и воды ($i = 1$);

УВЭД 2 — обрабатывающие производства, добыча полезных ископаемых, строительство ($i = 2$);

УВЭД 3 — сельское хозяйство, рыболовство, рыболовство ($i = 3$);

УВЭД 4 — оптовая и розничная торговля, гостиницы и рестораны, транспорт и связь, финансовая деятельность, операции с недвижимым имуществом, государственное управление, образование, здравоохранение, предоставление социальных услуг, предоставление прочих коммунальных, социальных и персональных услуг ($i = 4$).

Результаты

В табл. 2 приведены значения ВРП Тюменской области — $Y(t)$ (млрд руб.); валовой добавленной стоимости выделенных УВЭД — $Y_i(t)$ (млрд руб.); численность населения области $P(t)$ (тыс. человек) и ВРП на душу населения области — $g(t)$ (млн руб. на человека). Значение валового регионального продукта характеризуется достаточно устойчивым ростом за исключением 2020 г., что обусловлено эпидемией COVID. Существенную долю в ВРП занимают величины валовой добавленной стоимости УВЭД 2 и УВЭД 4.

На основании данных табл. 2 можно сделать вывод, что если доля УВЭД 2 в ВРП снижается с 47,5 % в 2013 г. до 37,8 % в 2022 г., то для ВДС УВЭД 4 характерен устойчивый рост за этот же период с 45,2 % до 55,3 % ВРП. Доли же ВДС УВЭД 1 и УВЭД 3 в ВРП региона менее значимы и находятся в интервале от 3 % (УВЭД 1) до 4,5–5 % (УВЭД 3), характеризуясь достаточно низкой волатильностью значений.

Изменение численности населения Тюменской области $P(t)$ (3) за 2013–2022 гг. так же, как и величина ВРП, характеризует-

ся устойчивым ростом (см. табл. 1). Вместе с тем динамика удельного значения ВРП, приходящегося на душу населения $g(t)$ (3), достаточно волатильна и формирует восходящий тренд.

В табл. 3 приведены данные по объемам сброса загрязненных вод в водоемы с 2013 г. по 2022 г. выделенными УВЭД — $E_i(t)$ и РСЭС Тюменской области — $E(t)$ в млн м³.

В табл. 4 приведены расчетные значения КЭД влияния $D_e(t, t-1)$, $D_d(t, t-1)$, $D_g(t, t-1)$, $D_p(t, t-1)$ и $D(t, t-1)$ (8) для РСЭС Тюменской области за период с 2013 г. по 2022 г. и соответствующие им ЭЭС состояния декаплинга (см. табл. 1). Количество подынтервалов,

в которых эколого-экономические состояния РСЭС Тюменской области характеризуются наличием эффекта декаплинга влияния, равно 5: тип «сильный декаплинг» (SD) — 4; тип «рецессивный декаплинг» (RD) — 1.

Остальные 4 подынтервала характеризуются ЭЭС отсутствием эффекта декаплинга влияния: тип «сильный негативный декаплинг» (SND) — 2; тип «интенсивный негативный декаплинг» (END) — 2. Для компонента разложения (8) КЭД $D_e(t, t-1)$, $D_d(t, t-1)$, $D_g(t, t-1)$, $D_p(t, t-1)$ ситуация достаточно схожая: $D_e(t, t-1)$ — 6 временных подынтервалов с наличием эффекта декаплинга влияния (SD, WD); $D_g(t, t-1)$, $D_p(t, t-1)$ — 5 подынтер-

Таблица 2

Основные социально-экономические показатели функционирования РСЭС Тюменской области в период с 2013 г. по 2022 г.

t	$Y(t)$	$Y_1(t)$	$Y_2(t)$	$Y_3(t)$	$Y_4(t)$	$P(t)$	$g(t)$
2013	845,2	23,38	337,55	32,15	337,55	1 409,0	599,862
2014	705,7	28,74	401,47	32,96	382,03	1 429,0	493,875
2015	743,2	24,70	285,12	38,11	357,81	1 455,0	510,757
2016	747,6	23,63	272,74	36,41	410,22	1 478,0	505,826
2017	788,0	23,18	263,16	35,14	426,14	1 499,0	525,672
2018	855,0	20,49	321,50	29,16	416,84	1 518,0	563,215
2019	834,4	23,94	309,50	35,05	486,47	1 528,1	546,064
2020	781,0	22,53	333,78	27,54	450,60	1 540,4	507,035
2021	837,3	23,43	294,45	30,46	432,69	1 552,2	539,410
2022	864,9	22,61	319,00	33,49	462,17	1 608,5	537,707

Таблица 3

Объемы сброса загрязненных вод (млн м³) выделенными УВЭД ($E_i(t)$) и РСЭС Тюменской области ($E(t)$) в период с 2013 г. по 2022 г.

t	$E(t)$	$E_1(t)$	$E_2(t)$	$E_3(t)$	$E_4(t)$
2013	82,04	42,57	32,89	4,75	1,33
2014	88,72	44,62	34,75	5,23	1,12
2015	86,65	45,2	34,31	5,43	1,42
2016	85,79	47,1	31,35	4,8	1,9
2017	84,34	48,8	30,4	1,18	4
2018	82,60	47,3	29,3	2,98	2,7
2019	84,70	46,3	30,3	3,28	2,1
2020	82,69	48,2	28,4	3,67	2,4
2021	83,80	46,2	30,8	3,42	2,7
2022	89,7	48,2	33,8	4,42	3,2

валов с наличием эффекта декаплинга влияния (SD, WD); $D_p(t, t-1)$ — 4 подынтервала с наличием эффекта декаплинга влияния (SD, WD). Наибольшее воздействие на значения $D(t, t-1)$ во всех временных подынтервалах оказывает сумма $D_e(t, t-1) + D_d(t, t-1)$, характеризующая технологическое развитие экономики Тюменской области.

Обсуждение

Эколого-экономическое состояние РСЭС Тюменской области на основе оценок состояний декаплинга влияния (см. табл. 4) в период с 2013 по 2022 гг. можно охарактеризовать как не вполне удовлетворительное. Так, ко-

Таблица 4

Значения КЭД влияния $D_e(t, t-1)$, $D_d(t, t-1)$, $D_g(t, t-1)$, $D_p(t, t-1)$ и $D(t, t-1)$ (8) и соответствующие ЭСС декаплинга РСЭС Тюменской области за период 2013–2022 гг.

$[t, t-1]$	$D_e(t, t-1)$	DS	$D_d(t, t-1)$	DS	$D_g(t, t-1)$	DS	$D_p(t, t-1)$	DS	$D(t, t-1)$	DS
2014–2013	–1,192	SND	–0,126	SND	–0,799	SND	–0,106	SND	–2,222	SND
2015–2014	–0,926	SD	–1,986	SD	–0,338	SD	–0,272	SD	–3,522	SD
2016–2015	–2,294	SD	–1,907	SD	–3,890	SD	–1,758	SD	–9,850	SD
2017–2016	–0,401	SD	–0,935	SD	–0,735	SD	–0,269	SD	–2,341	SD
2018–2017	–1,291	SD	–0,020	SD	–0,874	SD	–0,169	SD	–2,354	SD
2019–2018	–0,625	SND	–0,849	SND	–0,724	SND	–0,258	SND	–2,457	SND
2020–2019	0,335	RD	0,559	RD	1,365	RD	–0,115	WND	2,144	RD
2021–2020	0,118	WD	0,794	WD	0,245	WD	0,234	WD	1,391	END
2022–2021	0,787	WD	0,462	WD	0,092	WD	1,039	END	2,380	END

личество временных подынтервалов с наличием эффекта декаплинга составляет только 44 % от общего количества. Наряду с этим временные подынтервалы рассматриваемого периода на основе значений КЭД $D_e(t, t-1)$, $D_d(t, t-1)$, $D_g(t, t-1)$, $D_p(t, t-1)$ (см. табл. 4) и соответствующих им состояниям декаплинга можно разделить на две группы: подынтервалы с постоянными состояниями декаплинга — 6 интервалов, подынтервалы с переменными состояниями — 3 подынтервала.

В первую группу входят подынтервалы с состояниями «сильный декаплинг, SD» — (2015–2014, 2016–2015, 2017–2016, 2018–2017) и состояниями «сильный негативный декаплинг, SND» — (2014–2013, 2019–2018) для всех компонентов разложения (8). КЭД $D_e(t, t-1)$ и соответствующее состояние декаплинга определяет в этих подынтервалах состояния для остальных компонент разложения (8). Значение $D_e(t, t-1) + D_d(t, t-1)$ в этих подынтервалах имеет наибольшее абсолютное значение по отношению к остальным КЭД, что говорит о доминировании влияния фактора «Т» модели IPAT/Кауа. Только в подынтервале 2016–2015 год абсолютное значение $D_e(t, t-1) + D_d(t, t-1)$ меньше абсолютного значения $D_g(t, t-1) + D_p(t, t-1)$, которое можно рассматривать как характеристику влияния социальной сферы региона на декаплинг влияния на водопотребление.

Переход от одного состояния декаплинга к другому сопровождается превышением значения $D_d(t, t-1)$ над $D_e(t, t-1)$, т. е. обусловлено незначительными структурными изменениями экономики региона.

Вторая группа подынтервалов с переменными состояниями декаплинга (2020–2019, 2021–2020, 2022–2021) характеризуется в основном преобладанием состояний «слабого декаплинга, WD» и только одного состояния «экстенсивный негативный декаплинг, END». В данных подынтервалах сумма $D_e(t, t-1)$ и $D_d(t, t-1)$ также имеет большее значение по отношению к $D_g(t, t-1)$ и $D_p(t, t-1)$. Для всех подынтервалов значение $D_p(t, t-1)$, характеризующее влияние численности населения, незначительно и составляет в среднем 9 % от $D(t, t-1)$ за исключением подынтервала 2021–2022 гг., где $D_p(t, t-1)$ составляет 44 % от $D(t, t-1)$ и превышает все остальные КЭД. Значение КЭД $D_g(t, t-1)$, который характеризует влияние фактора благосостояния населения региона (фактор «А») изменяется в достаточно широком диапазоне — от 64 % в подынтервале 2020–2019 гг. до 4 % в подынтервале 2022–2021 гг. Коэффициент вариации значений $D_g(t, t-1)$ составляет 60 %.

Выводы

На основе данных о функционировании РСЭС Тюменской области за период с 2013 по 2022 гг. были рассчитаны коэффициенты

эластичности декарпинга влияния водопотребления для факторов разложения модели IPAT/Кауа с использованием модели IPAT/Кауа и метода LDMI, характеризующих структуру экономики области, изменения благосостояния населения региона и его численности. Для расчета указанных КЭД влияния структура экономики региона рассматривалась как совокупность укрупненных ВЭД, выделенных по критериям суммарной доли ВДС в ВРП, объемам сброса загрязненных вод и технологическим особенностям производства конечного продукта. Это позволило установить, что доля ВДС сформированных УВЭД и объемов сброса загрязненных вод незначительно изменяется в течение рассматриваемого временного интервала. Изменения же ВРП и его удельной величины на душу населения демонстрируют рост при существенной волатильности, а численность населения региона характеризуется устойчивым увеличением.

Значения КЭД влияния для экономической системы области в целом показывают отсутствие эффекта декарпинга влияния более, чем в 55 % временных подынтервалов рассматриваемого периода. Определяющее влияние оказывает технологический фактор «Т» модели IPAT/Кауа, характеризующий развитие и структуру экономики области. Значения КЭД фактора благосостояния населения региона «А» очень волатильны и в среднем составляют 30 % от суммарного КЭД по региону при коэффициенте вариации в 0,6. КЭД влияния фактора населения «Р» также характеризуется высокой волатильностью при среднем значении в 9 % от суммарного значения КЭД влияния по региону при достаточно большом коэффициенте вариации, равном 0,57.

Таким образом, применение комбинации модели IPAT/Кауа и метода LDMI позволяет получать ретроспективные оценки эколого-экономических состояний развития РСЭС в части декарпинга влияния при использо-

вании водных ресурсов, определять состояние видов ее экономической деятельности и оценивать влияние на ЭЭС РСЭС таких факторов, как изменение благосостояния ее населения и его численности.

Библиографический список

1. *Tapio P.* Towards a theory of decoupling: Degrees of decoupling in the EU and the case of road traffic in Finland between 1970 and 2001. *Transp. Policy*. 2005. № 12. Pp. 137–151.
2. *Яшалова Н. Н.* Анализ проявления эффекта декарпинга в эколого-экономической деятельности региона // *Региональная экономика: теория и практика*. 2014. № 39 (366). С. 54–61.
3. *Аникина И. Д., Аникин А. А.* Эколого-экономическое состояние регионов: совершенствование методологии и методики оценки // *Вестник Волгоградского государственного университета. Экономика*. 2019. Т. 21, № 4. С. 141–151.
4. *Прокопьев М. Г.* Взаимосвязь выбросов в атмосферный воздух и уровня ВВП (эффект декарпинга) // *Проблемы рыночной экономики*. 2020. № 2. С. 76–84.
5. *Боброва В. В., Корабейников И. Н., Курхмеев Л. В.* Эффект декарпинга в эколого-социально-экономическом развитии добывающего региона // *Региональная экономика: теория и практика*. 2020. Т. 18, № 11. С. 2111–2130.
6. *Фомина В. Ф.* Оценка ресурсной эффективности и нагрузки на окружающую среду в регионе методом декарпинга // *Известия Коми научного центра УрО РАН*. 2021. № 2 (48). С. 84–101.
7. *Kaya Y.* Impact of Carbon Dioxide Emission Control on GNP Growth: Interpretation of Proposed Scenarios; IPCC Energy and Industry Subgroup, Response Strategies Working Group: Paris, France, 1989.
8. *McNicol G.* IPAT (Impact, Population, Affluence, and Technology). *International Encyclopedia of the Social & Behavioral Sciences*, 2nd ed.; Elsevier: Amsterdam, The Netherlands. 2015. Pp. 716–718.
9. *Young Seok Hwang, Jung-Sup Um, Stephan Schlüter.* Evaluating the Mutual Relationship between IPAT/Kaya Identity Index and ODIAC-Based GOSAT Fossil-Fuel CO₂ Flux: Potential and Constraints in Utilizing Decomposed Variables. *Int. J. Environ. Res. Public Health*. 2020. № 17. P. 5976.
10. *Ang B. W.* Decomposition of Industrial Energy Consumption: The Energy Intensity Approach. *Energy Economics*. 1994. № 3. Pp. 163–174.
11. *Ang B. W., Choi K.-H.* Decomposition of aggregate energy and gas emission intensities for industry: A refined Divisia index method. *Energy J.* 1997. № 18. Pp. 59–73.

12. Sun J., Ang B. Some properties of an exact energy decomposition model. *Energy J.* 2000. № 25. Pp. 1177–1188.
13. Раскина Ю. В. Факторы промышленных выбросов CO₂ на постсоветском пространстве: эмпирический анализ // *Финансы и бизнес*. 2015. № 1. С. 25–41.
14. Lisaba E. B., Lopez N. S. Using Logarithmic Mean Divisia Index method (LMDI) to estimate drivers to final energy consumption and emissions in ASEAN// *IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering*. 2021. Vol. 1109. P. 012070.
15. Саушева О. С. «Относительная развязка» дилеммы роста: ретроспективная оценка, тенденции и проблемы // *Интернет-журнал «Отходы и ресурсы»*, 2021. № 3. URL: <https://resources.today/PDF/03ECOR321.pdf>
16. Zhang D., Wang Z., Li S., Zhang H. Impact of Land Urbanization on Carbon Emissions in Urban Agglomerations of the Middle Reaches of the Yangtze River. *Int. J. Environ. Res. Public Health*. 2021. №18. P. 1403.
17. Ding Y., Li F. Examining the effects of urbanization and industrialization on carbon dioxide emission: Evidence from China's provincial regions. *Energy*. 2017. № 125. Pp. 533–542.
18. Wu Y., Chau K. W., Lu W. S., Shen L. Y., Shuai C. Y., Chen J. D. Decoupling relationship between economic output and carbon emission in the Chinese construction industry. *Environ. Impact Assess.* 2018. № 71. Pp. 60–69.
19. Ren S. G., Yin H. Y., Chen X. H. Using LMDI to analyze the decoupling of carbon dioxide emissions by China's manufacturing industry // *Environmental Development*. 2014. № 9. Pp. 61–75.
20. Maogang Tang, Qifan Yang, Chunyang Pan, Fengxia Hu. Driving Forces of Industrial Water Pollutant Emission from Spatial-Dynamic Perspective in China: Analysis Based on Kaya Equation and LMDI Decomposition. *Open Journal of Social Sciences*. 2019. № 7. Pp. 132–143.
21. Xiaowei Wang, Rongrong Li. Is Urban Economic Output Decoupling from Water Use in Developing Countries? — Empirical Analysis of Beijing and Shanghai, China. *Water*. 2019. № 11. P. 1335.
22. Brian D. Richter, Kendall Benoit, Jesse Dugan, Gabriella Getacho, Natalie LaRoe, Bailey Moro, Tyler Rynne, Maria Tahamtani, Allen Townsend. Decoupling Urban Water Use and Growth in Response to Water Scarcity// *Water*. 2020. № 12. P. 2868.
- the manifestation of the decoupling effect in the ecological and economic activity of the region]. *Regional'naya ekonomika: teoriya i praktika – Regional Economics: Theory and Practice*, 2014, no. 39 (366), pp. 54–61.
3. Anikina I. D., Anikin A. A. *Ekologo-ekonomicheskoe sostoyanie regionov: sovershenstvovanie metodologii i metodiki otsenki* [Ecological and economic state of regions: improvement of methodology and methods of assessment]. *Vestnik Volgogradskogo gosudarstvennogo universiteta. Ekonomika – Bulletin of Volgograd State University. Economics*, 2019, vol. 21, no. 4, pp. 141–151.
4. Prokop'ev M. G. *Vzaimosvyaz' vybrosov v atmosferniy vozdukh i urovnya VVP (effekt dekaplinga)* [Relationship between atmospheric air emissions and GDP level (decoupling effect)]. *Problemy rynochnoy ekonomiki – Problems of Market Economy*, 2020, no. 2, pp. 76–84.
5. Bobrova V. V., Korabeynikov I. N., Kirkhmeer L. V. *Effekt dekaplinga v ekologo-sotsial'no-ekonomicheskom razvitii dobyvayushchego regiona* [The decoupling effect in the ecological, social and economic development of the extractive region]. *Regional'naya ekonomika: teoriya i praktika – Regional Economics: Theory and Practice*, 2020, vol. 18, no. 11, pp. 2111–2130.
6. Fomina V. F. *Otsenka resursnoy effektivnosti i nagruzki na okruzhayushchuyu sredu v regione metodom dekaplinga* [Estimation of resource efficiency and environmental load in the region by the method of decoupling]. *Izvestiya Komi nauchnogo tsentra UrO RAN – Proceedings of the Komi Scientific Center of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences*, 2021, no. 2 (48), pp. 84–101.
7. Kaya Y. *Impact of carbon dioxide emission control on GNP growth: Interpretation of proposed scenarios; IPCC Energy and Industry Subgroup, Response Strategies Working Group: Paris, France*, 1989.
8. McNicoll G. *IPAT (Impact, Population, Affluence, and Technology)*. *International Encyclopedia of the Social & Behavioral Sciences*, 2-nd ed.; Elsevier Publ., Amsterdam, the Netherlands. 2015, pp. 716–718.
9. Young Seok Hwang, Jung-Sup Um, Stephan Schlüter. Evaluating the Mutual Relationship between IPAT. Kaya Identity Index and ODIAC-Based GOSAT Fossil-Fuel CO₂ Flux: Potential and Constraints in Utilizing Decomposed Variables. *Int. J. Environ. Res. Public Health*, 2020, no. 17, p. 5976.
10. Ang B. W. Decomposition of industrial energy consumption: *The Energy Intensity Approach*. *Energy Economics*, 1994, no. 3, pp. 163–174.
11. Ang B.W., Choi K.-H. Decomposition of aggregate energy and gas emission intensities for industry: A refined divisia index method. *Energy J.*, 1997, no. 18, pp. 59–73.
12. Sun J., Ang B. Some properties of an exact energy decomposition model. *Energy J.*, 2000, no. 25, pp. 1177–1188.

References

1. Tapio P. Towards the theory of decoupling: Degrees of decoupling in the EU and the case of road traffic in Finland between 1970 and 2001. *Transp. Policy*, 2005, no. 12, pp. 137–151.
2. Yashalova N. N. *Analiz proyavleniya effekta dekaplinga v ekologo-ekonomicheskoy deyatel'nosti regiona* [Analysis of

13. Raskina Yu. V. *Faktory promyshlennykh vybrosov SO₂ na postsovetском prostranstve: empiricheskiy analiz* [Factors of industrial CO₂ emissions in the post-Soviet space: empirical analysis]. *Finansy i biznes – Finance and Business*, 2015, no. 1, pp. 25–41.
14. Lisaba E. B., Lopez N. S. Using Logarithmic mean division index method (LMDI) to estimate drivers to final energy consumption and emissions in ASEAN. *IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering*, 2021, vol. 1109, p. 012070.
15. Sausheva O. S. «Otnositel'naya razvyazka» dilemmy rosta: retrospektivnaya otsenka, tendentsii i problemy ["Relative decoupling" of the growth dilemma: retrospective assessment, trends and problems]. *Internet-zhurnal «Otkhody i resursy» – Internet journal "Waste and Resources"*, 2021, no. 3, available at: <https://resources.today/PDF/03ECOR321.pdf>.
16. Zhang D., Wang Z., Li S., Zhang H. Impact of land urbanization on carbon emissions in urban agglomerations of the middle reaches of the Yangtze River. *Int. J. Environ. Res. Public Health*, 2021, no. 1, 18, p. 1403.
17. Ding Y., Li F. Examining the effects of urbanization and industrialization on carbon dioxide emission: Evidence from China's provincial regions. *Energy*, 2017, no. 125, pp. 533–542.
18. Wu Y., Chau K. W., Lu W. S., Shen L. Y., Shuai C. Y., Chen J. D. Decoupling relationship between economic output and carbon emission in the Chinese construction industry. *Environ. Impact Assess*, 2018, no. 71, pp. 60–69.
19. Ren S. G., Yin H. Y., Chen X. H. Using LMDI to analyze the decoupling of carbon dioxide emissions by China's manufacturing industry. *Environmental Development*, 2014, no. 9, pp. 61–75.
20. Maogang Tang, Qifan Yang, Chunyang Pan, Fengxia Hu. Driving forces of industrial water pollutant emission from spatial-dynamic perspective in China: Analysis based on Kaya equation and LMDI decomposition. *Open Journal of Social Sciences*, 2019, no. 7, pp. 132–143.
21. Xiaowei Wang, Rongrong Li. Is urban economic output decoupling from water use in developing countries? Empirical Analysis of Beijing and Shanghai, China. *Water*, 2019, no. 11, p. 1335.
22. Brian D. Richter, et al. Decoupling urban water use and growth in response to water scarcity. *Water*, 2020, no. 12, p. 2868.