



ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ СОЦИАЛЬНО-ЭКОНОМИЧЕСКОГО РАЗВИТИЯ СЕВЕРНЫХ НЕФТЕГАЗОДОБЫВАЮЩИХ РЕГИОНОВ НА ВЫБРОСЫ ЗАГРЯЗНЯЮЩИХ ВЕЩЕСТВ В АТМОСФЕРУ

Кутышкин Андрей Валентинович

доктор технических наук, профессор,
главный научный сотрудник
научно-исследовательской
лаборатории имитационного моделирования
Нижегородского государственного университета,
Нижегород, Россия
E-mail: avk_200761@mail.ru

Шульгин Олег Валерьевич

кандидат экономических наук, доцент,
руководитель научно-исследовательской
лаборатории
имитационного моделирования
Нижегородского государственного университета,
Нижегород, Россия
E-mail: shul.oleg.val@mail.ru

Предмет исследования: влияние социально-экономического развития ряда северных нефтегазодобывающих регионов России на выбросы в атмосферу загрязняющих веществ.

Цель исследования: оценка влияния на эмиссию в атмосферу стационарными источниками загрязняющих веществ (поллютантов) основных показателей социально-экономического развития нефтегазодобывающих регионов севера России в период с 2013 по 2022 г. Рассматривались такие регионы, как Республика Коми, Ненецкий автономный округ, Ханты-Мансийский автономный округ – Югра и Ямало-Ненецкий автономный округ.

Методы исследования: используется комбинация модели IPAT Кауа и метода LDMI для определения влияния развития технологии производственной системы региона «Т», благосостояния «А» и численности «Р» его населения на объемы выбросов загрязняющих веществ.

Объекты исследования: выбросы в атмосферу загрязняющих веществ в Республике Коми, Ненецком автономном округе, Ханты-Мансийском автономном округе – Югре и Ямало-Ненецком автономном округе.

Основные результаты исследования: основное влияние на эмиссию поллютантов во всех регионах оказывает уровень развития технологии и экономических систем, т. е. электроёмкость эмиссии и валового регионального продукта. Вторым по влиянию на эмиссию для половины регионов стал фактор благосостояния их населения. Наименьшее влияние оказывает численность населения регионов, несмотря на существенную разницу данного показателя между регионами. Применение указанного аналитического инструментария позволяет представить влияние на экологию региона в виде мультипликативной функции воздействия ключевых факторов антропогенной деятельности, обеспечивая при этом возможность проведения более детального анализа влияния этих факторов через декомпозицию данной функции с нулевыми остаточными ошибками на показатели, фиксируемые действующей системой государственной статистики.

Ключевые слова: нефтегазодобывающие районы, север России, эмиссия, поллютанты, модель IPAT Кауа, метод LDMI.

STUDY OF THE INFLUENCE OF SOCIO-ECONOMIC DEVELOPMENT OF NORTHERN OIL AND GAS PRODUCING REGIONS ON EMISSIONS OF POLLUTANTS INTO THE ATMOSPHERE

Andrey V. Kutyskhin

Doctor of Engineering Science, Professor,
Chief Researcher of the Research
Laboratory of Simulation,
Nizhnevartovsk State University,
Nizhnevartovsk, Russia
E-mail: avk_200761@mail.ru

Oleg V. Shulgin

Candidate of Economics, Associate Professor,
Head of the Research Laboratory
of Simulation Modeling,
Nizhnevartovsk State University,
Nizhnevartovsk, Russia
E-mail: shul.oleg.val@mail.ru

Subject of research: the impact of socio-economic development of some northern oil and gas producing regions of Russia on air pollutant emissions.

Purpose of research: to assess the impact of the main indicators of socio-economic development of oil and gas producing regions of the north of Russia on air pollutant emissions from stationary sources in the period from 2013 to 2022. The following regions were considered: the Komi Republic, the Nenets Autonomous Okrug, the Khanty-Mansi Autonomous Okrug – Yugra and the Yamalo-Nenets Autonomous Okrug.

Research methods: a combination of the IPAT Kaya model and the LDMI method is used to determine the impact of the development of the production system technology of the region "T", welfare "A" and the size "P" of its population on the volume of pollutant emissions.

Objects of research: emissions of pollutants into the atmosphere in the Komi Republic, the Nenets Autonomous Okrug, the Khanty-Mansi Autonomous Okrug – Yugra and the Yamalo-Nenets Autonomous Okrug.

Research findings: the main influence on pollutant emissions in all regions is provided by the level of development of technology and economic systems, i.e. the energy intensity of emissions and the gross regional product. The second factor in terms of influence on emissions for half of the regions was the welfare of their population. The least influence is exerted by the population size of the regions, despite the significant difference in this indicator between the regions. The use of the specified analytical tools allows us to present the impact on the ecology of the region as a multiplicative function of the impact of key factors of anthropogenic activity, while ensuring the possibility of conducting a more detailed analysis of the impact of these factors through the decomposition of this function with zero residual errors on the indicators recorded by the current system of state statistics.

Keywords: oil and gas producing regions, northern Russia, emission, pollutants, IPAT Kaya model, LDMI method.



ВВЕДЕНИЕ

Нефте- и газодобывающие отрасли являются экологически опасными отраслями экономики, генерирующими достаточно большое количество факторов давления на окружающую среду, в том числе и атмосферную эмиссию веществ, негативно влияющих на здоровье человека [1]. В исследованиях [2; 3; 4] установлено, что климатические условия северных регионов России – низкие температуры в течение длительного зимнего периода усугубляют негативное влияние загрязнений атмосферного воздуха, в частности $PM_{2.5}$, SO_2 и CO (далее – поллютанты), на заболеваемость населения болезнями органов дыхания, нервной системы, системы кровообращения и мочеполовой системы среди взрослого населения. Исследования по данной проблематике в настоящее время ориентированы на построение регрессионных моделей, связывающих заболеваемость населения региона или городских агломераций с объемами выбросов или концентрациями вредных веществ в воздухе [5; 6; 7]. При этом не учитывается влияние на динамику эмиссии загрязняющих веществ социально-экономических факторов развития соответствующего региона, таких как технологическое развитие его экономики, изменение численности населения и его благосостояния. Вследствие этого тематика данного исследования, по мнению автора, представляется актуальной. Для оценки влияния указанных факторов в настоящее время достаточно широко используется комбинация модели IPAT («I» – impact, «P» – population, «A» – affluence, «T» – technologies) Kaya [8; 9] и метода индекса логарифмического деления (Logarithmic Mean Divisia Index, LDMI) [10; 11]. Наиболее активно данный комбинированный инструментарий применяется при решении задач оценки объемов эмиссии углекислого газа при функционировании социально-экономических систем (РСЭС) различной сложности, см., например [12; 13]. Наряду с этим проводились исследования и в области оценки влияния на выбросы поллютантов социально-экономических факторов как на региональном, так и муниципальном уровне [13; 14; 15]. Но при этом не учитывались различия в природно-климатических условиях исследуемых регионов и муниципалитетов, а также различия в структуре их экономических систем, которые влияют на характеристики стационарных источников поллютантов, что, на наш взгляд, не вполне корректно. В данном исследовании в качестве объектов рассматривались региональные социально-экономические системы (РСЭС) Республики Коми (РК), Ненецкого

автономного округа (НАО), Ханты-Мансийского автономного округа – Югры (ХМАО-Югра) и Ямало-Ненецкого автономного округа (ЯНАО). Эти РСЭС характеризуются очень схожими природно-климатическими условиями, и в производственно-экономических системах данных регионов доминируют отрасли, связанные с добычей и транспортировкой углеводородов.

Целью исследования является оценка влияния социально-экономических факторов развития северных нефтегазодобывающих регионов России на выбросы стационарными источниками в атмосферу загрязняющих веществ – поллютантов.

Новизна работы состоит в использовании комбинации модели IPAT/Kaya и метода LDMI для количественной оценки влияния на выбросы в атмосферу поллютантов таких социально-экономических факторов функционирования северных нефтегазодобывающих регионов России, как технологическое развитие их экономики, благосостояние населения и его численность.

Материалы и методы

Модель Kaya – IPAT Kaya (impact of human activity on the environment) представляет негативное влияние деятельности человека «I» (impact) на окружающую среду в виде мультипликативной зависимости от уровня развития технологий рассматриваемой системы «T» (technologies), численности ее населения «P» (population) и его достатка «A» (affluence) [8; 9]:

$$I = PAT. \quad (1)$$

Под «I» предлагается понимать суммарный региональный объем выбросов поллютантов в год. Под факторами (1), влияющими на выбросы поллютантов в атмосферу, предлагается понимать: «T» – годовой объем потребляемой РСЭС электрической энергии; «A» – годовой валовой региональный продукт (ВРП), приходящийся на душу населения региона; «P» – среднегодовая численность населения региона. Для оценки влияния изменений сомножителей мультипликативных выражений на изменение результирующего показателя в настоящее время широко используется метод LMDI, который по результатам исследований ряда авторов [10; 14; 15] является наиболее оптимальным с нулевыми остаточными ошибками разложения даже при неполном наборе значений сомножителей. Разложение выражения (1) для года «t» можно представить в следующем виде:

$$C(t) = \frac{C(t)}{E(t)} \times \frac{E(t)}{Y(t)} \times \frac{Y(t)}{P(t)} \times P(t) = CE(t) \times EnC(t) \times EO(t) \times P(t), \quad (2)$$

где $C(t)$ – общий объем эмиссии поллютантов в регионе; $E(t)$ – общее потребление электрической энергии в РСЭС; $Y(t)$ – валовой региональный продукт; $P(t)$ – среднегодовая численность населения; $CE(t)$ – удельный объем выбросов поллютантов, приходящийся на 1 кВт·час потребленной электроэнергии (удельная электроемкость эмиссии поллютантов); $EnC(t)$ – электроемкость производства ВРП; $EO(t)$ – подушевой валовой региональный продукт.

Элементы $CE(t)$ и $EnC(t)$ в совокупности характеризуют фактор «Т» (1), а $EO(t)$ и $P(t)$ – факторы «А» и «Р» соответственно.

Согласно методу LDMI изменение $DC(t, t-1)$ между годом «t» и «t-1» (подинтервал $(t, t-1)$) определяется выражением [14; 15]:

$$DC(t, t-1) = DCE(t, t-1) + DEnC(t, t-1) + DEO(t, t-1) + DP(t, t-1), \quad (3)$$

где

$$DCE(t, t-1) = U(C(t), C(t-1)) \times \ln\left(\frac{CE(t)}{CE(t-1)}\right) \quad (4)$$

$$DEnC(t, t-1) = U(C(t), C(t-1)) \times \ln\left(\frac{EnC(t)}{EnC(t-1)}\right) \quad (5)$$

$$DEO(t, t-1) = U(C(t), C(t-1)) \times \ln\left(\frac{EO(t)}{EO(t-1)}\right) \quad (6)$$

$$DP(t, t-1) = U(C(t), C(t-1)) \times \ln\left(\frac{P(t)}{P(t-1)}\right) \quad (7)$$

В выражениях (4–7) $U(C(t), C(t-1))$ является весовой функцией, значения которой определяются следующей зависимостью:

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

Для количественной оценки влияния выделенных факторов $CE(t)$, $EnC(t)$, $EO(t)$, $P(t)$ на

эмиссию поллютантов разделим выражение (3) на $DC(t, t-1)$:

$$RC(t, t-1) = \frac{DCE(t, t-1) + DEnC(t, t-1) + DEO(t, t-1) + DP(t, t-1)}{DC(t, t-1)} = \\ = \dots \frac{DCE(t, t-1)}{DC(t, t-1)} + \frac{DEnC(t, t-1)}{DC(t, t-1)} + \frac{DEO(t, t-1)}{DC(t, t-1)} + \frac{DP(t, t-1)}{DC(t, t-1)} = \\ = RCE(t, t-1) + REnC(t, t-1) + REO(t, t-1) + RP(t, t-1), \quad (8)$$

где $RCE(t, t-1)$, $REnC(t, t-1)$, $REO(t, t-1)$ и $RP(t, t-1)$ – вклады изменений выделенных факторов в изменение $RC(t, t-1)$.

В качестве источников данных о вредных выбросах, отходящих от стационарных источников и загрязняющих атмосферу в регионах Арктической и Субарктической зон России и их социально-экономическом развитии, выступали ежегодно публикуемые статистические справочники Росстата РФ [16], отчеты о состоянии окружающей среды РФ Минприроды РФ и МГУ им. М. В. Ломоносова [17], официальная статистика региональных управлений государственной статистики по Республике Коми [18], Архангельской области и Ненецкому автономному округу [19], Тюменской области, Ханты-Мансийскому автономному округу – Югре и Ямало-Ненецкому автономному округу [20], статистическая отчетность Федеральной службы по надзору в сфере природопользования (Росприроднадзор) [21]. Рассматривался временной интервал с 2017 по 2022 г. Все стоимостные показатели были приведены к ценам 2017 г.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Выбросы поллютантов составляют только часть от региональных выбросов стационарными источниками загрязняющих веществ в атмосферу. В таблице 1 представлены значения долей суммарных объемов выбросов CO , SO_2 и $PM_{2.5}$ в общих объемах выбросов загрязняющих веществ в атмосферу, отходящих от стационарных источников в Республике Коми, НАО, ХМАО-Югре и ЯНАО в период с 2017 по 2022 г.

Таблица 1. Доли объемов эмиссии поллютантов в общих объемах выбросов всех видов загрязняющих веществ в атмосферу для РК, НАО, ХМАО-Югры и ЯНАО с 2017 по 2022 г.

Год	РК	НАО	ХМАО-Югра	ЯНАО
2017	0,37	0,71	0,37	0,45
2018	0,31	0,67	0,46	0,49
2019	0,37	0,67	0,43	0,53
2020	0,36	0,60	0,44	0,49
2021	0,33	0,56	0,50	0,54
2022	0,29	0,61	0,54	0,53
Среднее значение	0,33	0,63	0,45	0,51
Коэффициент вариации	0,099	0,086	0,129	0,073

Доли суммарных объемов выбросов загрязняющих веществ в атмосферу от стационарных источников в РК, НАО, ХМАО-Югре и ЯНАО в период с 2017 по 2022 г. достаточно большие. Так, средние значения долей суммарных объемов выбросов загрязняющих веществ изменяются от 0,33 (РК) до 0,63 (НАО). Коэффициенты же вариации, в свою очередь, изменяются от 0,09 (ЯНАО) до 0,136 (ХМАО-Югра), что говорит о достаточно устойчивом характере генерации

объемов выбросов загрязняющих веществ экономическими системами регионов. Таким образом, исследование влияния основных экономических и социальных характеристик функционирования рассматриваемых РСЭС на объемы указанных выбросов в атмосферу достаточно актуально. В таблицах 2–5 приведены расчетные значения вкладов $RCE(t, t-1)$, $REnC(t, t-1)$, $REO(t, t-1)$, $RP(t, t-1)$ выделенных факторов (2, 8), оказывающих влияние на выбросы загрязняющих веществ в атмосферу рассматриваемых регионов.

Таблица 2. Расчетные значения $RCE(t, t-1)$, $REnC(t, t-1)$, $REO(t, t-1)$, $RP(t, t-1)$, характеризующих влияние выделенных факторов на выбросы загрязняющих веществ в Республике Коми с 2017 по 2022 г.

Подинтервал ($t, t-1$)	$RCE(t, t-1)$	$REnC(t, t-1)$	$REO(t, t-1)$	$RP(t, t-1)$
2018–2017	0,5974	0,1221	0,0627	0,2178
2019–2018	0,5637	0,0487	0,0558	0,3318
2020–2019	0,6578	0,1255	0,0684	0,1482
2021–2020	0,6437	0,1041	0,0813	0,1709
2022–2021	0,6560	0,1209	0,1056	0,1175
Среднее значение	0,6237	0,1043	0,0748	0,1973
Коэффициент вариации	0,07	0,31	0,26	0,42

Таблица 3. Расчетные значения $RCE(t, t-1)$, $REnC(t, t-1)$, $REO(t, t-1)$, $RP(t, t-1)$, характеризующих влияние выделенных факторов на выбросы загрязняющих веществ в Ненецком автономном округе с 2017 по 2022 г.

Подинтервал ($t, t-1$)	$RCE(t, t-1)$	$REnC(t, t-1)$	$REO(t, t-1)$	$RP(t, t-1)$
2018–2017	0,5130	0,0985	0,3705	0,0180
2019–2018	0,6180	0,0700	0,3008	0,0112
2020–2019	0,5778	0,0279	0,3842	0,0101
2021–2020	0,6230	0,0659	0,2938	0,0173
2022–2021	0,6579	0,0643	0,2753	0,0024
Среднее значение	0,598	0,0653	0,325	0,0118
Коэффициент вариации	0,09	0,38	0,15	0,53

Таблица 4. Расчетные значения $RCE(t, t-1)$, $REnC(t, t-1)$, $REO(t, t-1)$, $RP(t, t-1)$, характеризующих влияние выделенных факторов на выбросы загрязняющих веществ в Ханты-Мансийском автономном округе – Югре с 2017 по 2022 г.

Подинтервал ($t, t-1$)	$RCE(t, t-1)$	$REnC(t, t-1)$	$REO(t, t-1)$	$RP(t, t-1)$
2018–2017	0,8672	0,0210	0,0211	0,0906
2019–2018	0,8357	0,0298	0,0841	0,0504
2020–2019	0,7299	0,1120	0,0984	0,0597
2021–2020	0,6340	0,0975	0,2100	0,0584
2022–2021	0,7040	0,0642	0,1690	0,0628
Среднее значение	0,7542	0,0649	0,1165	0,0644
Коэффициент вариации	0,13	0,62	0,64	0,24

Таблица 5. Расчетные значения $RCE(t, t - 1)$, $REnC(t, t - 1)$, $REO(t, t - 1)$, $RP(t, t - 1)$, характеризующих влияние выделенных факторов на выбросы загрязнителей в Ямало-Ненецком автономном округе с 2017 по 2022 г.

Подинтервал ($t, t - 1$)	$RCE(t, t - 1)$	$REnC(t, t - 1)$	$REO(t, t - 1)$	$RP(t, t - 1)$
2018–2017	0,3798	0,2569	0,3342	0,0290
2019–2018	0,3838	0,3659	0,2401	0,0103
2020–2019	0,3962	0,3408	0,2373	0,0257
2021–2020	0,3670	0,3295	0,2876	0,0159
2022–2021	0,4977	0,3123	0,1548	0,0351
Среднее значение	0,405	0,321	0,251	0,0232
Коэффициент вариации	0,13	0,13	0,27	0,43

Для РК, НАО и ХМАО-Югры (таблицы 2–5) вклад удельной электроемкости выбросов загрязнителей в атмосферу $RCE(t, t - 1)$ является наибольшим. Так, для Республики Коми диапазон значений $RCE(t, t - 1)$ составляет 0,56–0,66; для НАО – 0,51–0,66; для ХМАО-Югры – 0,64–0,86. Коэффициенты вариации значения $RCE(t, t - 1)$ не превышают 0,13 (ХМАО-Югра, ЯНАО), что указывает на устойчивость влияния затрат электроэнергии на выбросы загрязнителей для всех регионов. Наибольшим влиянием фактора удельной электроемкости производства ВРП характеризуется ЯНАО. Вторым по уровню влияния удельной электроемкости производства ВРП является Республика Коми, где $REnC(t, t - 1)$ за весь временной период в среднем равно 0,11. Наименее значим данный фактор для НАО и ХМАО-Югры. Расчетные значения $REnC(t, t - 1)$ для этих регионов изменяются от 0,02 до 0,06 в течение всего наблюдаемого временного периода, эпизодически увеличиваясь до 0,11. Однако для Республики Коми, НАО и ХМАО-Югры значения коэффициентов вариации значения $REnC(t, t - 1)$ очень большие, что говорит о нестабильности влияния данного фактора на эмиссию. Для ЯНАО (таблица 4) величина $REO(t, t - 1)$ сопоставима со значением вклада $RCE(t, t - 1)$. Значение $REO(t, t - 1)$ также оказывает существенное влияние на выбросы загрязнителей и в НАО, достигая от 40 % до 60 % от значений $RCE(t, t - 1)$ этого региона в течение всего рассматриваемого временного периода. Для остальных регионов значения $REO(t, t - 1)$ не превышают 0,11, только для ХМАО-Югры с 2020 по 2022 г. величина данного показателя больше 0,15. Коэффициенты вариации $REO(t, t - 1)$ достаточно велики и лежат в диапазоне от 0,15 (Республика Коми) до 0,64 (ХМАО-Югра). Для всех регионов значения $RP(t, t - 1)$ не превышают 0,06, что говорит о незначительном влиянии изменения среднегодовой численности населения региона на

выбросы загрязняющих веществ в атмосферу. Исключением является Республика Коми, для которой значения $RP(t, t - 1)$ колеблются от 0,11 (подпериод 2022–2021 гг.) до 0,38 (подпериод 2019–2018 гг.). Однако значения коэффициентов вариации $REO(t, t - 1)$ значительны, так, минимальное значение 0,24 для ХМАО-Югры и максимальное 0,53 для НАО.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ И ВЫВООДЫ

На основании использования модели IPAT Katya и метода LDMI были получены количественные оценки влияния основных социально-экономических показателей развития северных нефтегазодобывающих регионов России на эмиссию загрязнителей в период с 2017 по 2022 г. Во всех рассматриваемых регионах наибольшее влияние на эмиссию загрязнителей оказывают удельные затраты электроэнергии, связанные с их генерацией, и удельная электроемкость ВРП, т. е. фактор развития технологии региональной экономики «Т». Вторым по значимости фактором влияния на эмиссию у 50 % регионов является фактор благосостояния их населения «А». К таким регионам относятся НАО и ЯНАО, характеризующиеся наибольшими значениями ВРП. Для всех регионов, за исключением Республики Коми, среднегодовая численность населения не оказывает существенного влияния на эмиссию загрязнителей, несмотря на то, что население ХМАО-Югры более чем вдвое превосходит население РК, а население РК в полтора раза больше, чем население ЯНАО. Следует также отметить, что развитие ЯНАО характеризуется достаточно сбалансированным влиянием на эмиссию загрязнителей таких факторов, как благосостояние населения региона, удельные затраты электроэнергии как непосредственно на эмиссию, так и производство ВРП. Таким образом, комбинация модели IPAT Katya и метода LDMI позволяет представить влияние на экологию

в виде мультипликативной функции воздействия ключевых факторов антропогенной деятельности, обеспечивая при этом реализацию более детального анализа влияния этих факторов через декомпозицию данной функции с нулевыми остаточными ошибками на показатели, фиксируемые действующей системой государственной статистики.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Ambient air pollution: a global assessment of exposure and burden of disease. – Geneva : WHO, 2016. – 121 p.
2. Влияние загрязнения окружающей среды на здоровье населения (обзор литературы) / Р. А. Голиков, Д. В. Суржилов, В. В. Кислицына, В. А. Штайгер // Научное обозрение. Медицинские науки. – 2017. – № 5. – С. 20–31.
3. Рейс, Ж. Внешнесредовые риски для здоровья и проблемы здравоохранения в арктических и субарктических регионах / Ж. Рейс, Н. В. Зайцева, П. Спенсер // Анализ риска здоровью. – 2022. – № 3. – С. 21–38.
4. Салтыкова, М. М. Влияние загрязнения атмосферного воздуха на здоровье населения арктического региона: обзор литературы / М. М. Салтыкова, И. П. Бобровникий, А. В. Балакаева // Экология человека. – 2020. – № 4. – С. 48–55.
5. Торцев, А. М. Внедрение экологических инноваций в регионах Арктической зоны Российской Федерации как инструмент реализации демографического потенциала / А. М. Торцев, И. И. Студёнов // Региональная экономика: теория и практика. – 2020. – Т. 18, № 5. – С. 992–1008.
6. Оценка влияния промышленного загрязнения атмосферного воздуха микрочастицами на здоровье населения Арктического региона (на примере Мурманской области): монография / В. В. Дядик, Н. В. Дядик, Е. М. Ключникова [и др.]. – Апатиты : Издательство ФИЦ КНЦ РАН, 2022. – 119 с.
7. Гигиеническая оценка влияния выбросов предприятий нефтехимии и нефтепереработки на онкологическую заболеваемость населения крупного промышленного центра / З. Б. Бактыбаева, Р. А. Сулейманов, Т. К. Валиев [и др.] // Ульяновский медико-биологический журнал. – 2020. – № 1. – С. 84–95.
8. Kaya, Y. Impact of Carbon Dioxide Emission Control on GNP Growth: Interpretation of Proposed Scenarios / Y. Kaya // IPCC Energy and Industry Subgroup, Response Strategies Working Group. – Paris, France, 1989. – URL: https://archive.ipcc.ch/publications_and_data/publications_ipcc_first_assessment_1990_wg3.shtml (date of application: 15.08.2025).
9. Hwang, Y. S. Evaluating the Mutual Relationship between IPAT/Kaya Identity Index and ODIAC-Based GOSAT Fossil-Fuel CO₂ Flux: Potential and Constraints in Utilizing Decomposed Variables / Y. S. Hwang, J.-S. Um, S. Schlüter // International Journal of Environmental Research and Public Health. – 2020. – Iss. 17. – P. 5976.
10. Ang, B. W. Decomposition of aggregate energy and gas emission intensities for industry: A refined Divisia index method / B. W. Ang, K. H. Choi // Energy Journal. – 1997. – Iss. 18. – P. 59–73.
11. Sun, J. Some properties of an exact energy decomposition model / J. Sun, B. Ang // Energy Journal. – 2000. – Iss. 25. – P. 1177–1188.
12. Xie, P. An analysis of the decoupling relationship between CO₂ emission in power industry and GDP in China based on LMDI method / P. Xie, S. Gao, F. Sun // Journal of Cleaner Production. – 2019. – Iss. 211. – P. 598–606.
13. Wang S., Zhang S., Cheng L. Drivers and Decoupling Effects of PM_{2.5} Emissions in China: An Application of the Generalized Divisia Index // International Journal of Environmental Research and Public Health. – 2023. – Iss. 20. – P. 921.
14. Ma, Y.-R. Spatial linkage analysis of the impact of regional economic activities on PM_{2.5} pollution in China / Y.-R. Ma, Q. Ji, Y. Fan // Journal of Cleaner Production. – 2016. – Iss. 139. – P. 1157–1167.
15. Zhang, Y. Socioeconomic factors of PM_{2.5} concentrations in 152 Chinese cities: Decomposition analysis using LMDI / Y. Zhang, C. Shuai, J. Bian // Journal of Cleaner Production. – 2019. – Iss. 218. – P. 96–107.
16. Регионы России. Социально-экономические показатели // Федеральная служба государственной статистики. – URL: <https://rosstat.gov.ru/folder/210/document/13204> (дата обращения: 21.10.2024).
17. О состоянии и об охране окружающей среды Российской Федерации : Государственный доклад // Министерство природных ресурсов и экологии Российской Федерации. URL: https://www.mnr.gov.ru/docs/gosudarstvennye_doklady/ (дата обращения: 20.01.2025).
18. Официальная статистика // Территориальный орган Федеральной службы государственной статистики по Республике Коми. – URL: https://11.rosstat.gov.ru/official_statistics (дата обращения: 25.02.2025).
19. Официальная статистика // Управление Федеральной службы государственной статистики по Архангельской области и Ненецкому автономному округу. – URL: <https://29.rosstat.gov.ru/ofstatistics111> (дата обращения: 28.11.2024).
20. Официальная статистика // Управление Федеральной службы государственной статистики по Тюменской области, Ханты-Мансийскому автономному округу – Югре и Ямало-Ненецкому автономному округу. – URL: https://72.rosstat.gov.ru/ofstat_ynao (дата обращения: 22.11.2024).
21. Информация о выбросах загрязняющих веществ в атмосферный воздух от стационарных источников. Форма 2-ТП (воздух) // Росприроднадзор : Федеральная служба по надзору в сфере природопользования. – URL: <https://rpn.gov.ru/open-service/analytic-data/statistic-reports/air-protect/> (дата обращения: 14.12.2024).