

ИЗМЕНЕНИЕ ЭКОЛОГИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК СТРАН – ЭКОНОМИЧЕСКИХ ГИГАНТОВ АЗИИ В КОНТЕКСТЕ ГЕОЭКОЛОГИЧЕСКОГО ПЕРЕХОДА

Н.Н. Алексеева¹, Д.Л. Лопатников², А.И. Банчева³

^{1,3} *Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, географический факультет,
кафедра физической географии мира и геоэкологии*

² *Институт географии РАН, лаборатория географии мирового развития*

¹ *И.о. зав. кафедрой, доц., канд. геогр. наук; e-mail: nalex01@mail.ru*

² *Ст. науч. сотр., д-р геогр. наук; e-mail: imartos@mail.ru*

³ *Науч. сотр., канд. геогр. наук; e-mail: ban-sai@mail.ru*

С конца прошлого столетия эпицентр экологического неблагополучия и генерации глобальных экологических угроз переместился в Азию. Главную роль в этом сыграли три экономических гиганта: сначала Япония, затем – Китай и Индия. В последние десятилетия в этих азиатских странах, находящихся на разных стадиях социально-экономического развития, происходят все более сложные и разнонаправленные экологически значимые процессы. Цель исследования состояла в выявлении основных тенденций базовых экологических характеристик Японии, Китая и Индии и динамики их положения в контексте геоэкологического перехода. Работа базировалась на концепциях экологической кривой С. Кузнецца (ЭКК) и геоэкологического перехода Д.Л. Лопатникова. Сопоставление эколого-экономических параметров проводилось на основе статистических данных Всемирного банка, ОЭСР и национальных баз данных. Анализировались временные ряды по эмиссии диоксида серы, оксидов азота, твердых частиц, углекислого газа преимущественно за период с 1990 по 2020 г. Динамика положения стран на кривой за 30-летний период позволяет выявить траектории их экологического развития, а также определить перспективы на ближайшее время. По динамике ключевых индикаторов за исследуемый период Япония устойчиво находится на нисходящем отрезке, а Китай и Индия – по некоторым показателям на нисходящем, пройдя в исследуемый период точку перегиба, по другим – на восходящем отрезке. В процессе интерпретации динамики показателей по окружающей среде выявлены основные факторы (экономические, институциональные, технологические и др.), обусловившие прогресс их экологического развития. При этом замедление экономики в периоды мирового экономического кризиса 2008–2009 гг. и пандемии COVID-19 по-разному отразилось на ключевых показателях трех стран. Место стран в международных экологических рейтингах коррелирует с уровнем социально-экономического развития, что укладывается в логику ЭКК. Если в Китае уже видны первые признаки разворота в сторону экологизации хозяйства, то об Индии этого пока сказать нельзя. Выявленные экологически позитивные тренды у экономических гигантов Азии, за исключением Японии, пока нельзя считать долгосрочной тенденцией ввиду относительно короткого ряда данных и сохранения поливариантности их экологических перспектив.

Ключевые слова: геоэкологический переход, экологическая кривая С. Кузнецца, декаплинг, Индия, Китай, Япония, экологические рейтинги, углекислый газ, загрязнение

DOI: 10.55959/MSU0579-9414.5.79.2.3

ВВЕДЕНИЕ

За первые два десятилетия XXI в. в мировом геоэкологическом пространстве произошли, без преувеличения, тектонические сдвиги. Один из них – смещение эпицентра экологического неблагополучия по базовым экологическим параметрам в Азию. Большую часть прошлого века главным очагом генерации глобальных экологических проблем были страны Запада, прежде всего США и зарубежная Европа. Первой страной зарубежной Азии, столкнувшейся с острым экологическим кризисом, стала Япония в период «экономического чуда».

Сегодня картина иная. Наиболее проблемными странами по базовым экологическим параметрам стали Китай и Индия. Смещение главного очага экологического неблагополучия в эти страны – следствие глобального сдвига промышленности в Восточную и Юго-Восточную Азию в процессе их догоняющего развития. В определенной степени государства Востока повторяют путь Запада с временным лагом запаздывания в 70–100 лет. Это стало результатом второй волны индустриализации, которая по своим масштабам была еще более грандиозной, что повлекло за собой экологические последствия, соразмерные масштабу происходящего [Лопатников, 2020].

Тридцать лет назад в пятерку мировых экономических лидеров по ВВП из азиатских стран входила только Япония (5,5 трлн долл. в 1995 г., 17,5% мирового ВВП) [Mapped: The World's Largest..., 2020]. Сегодня «большая азиатская тройка» входит в пятерку мировых лидеров по ВВП, причем как по номиналу, так и по паритету покупательной способности (ППС) [Рейтинг стран..., 2022]. Согласно данным мониторинга ВШЭ, ключевыми драйверами мирового роста в ближайшие годы и, возможно, десятилетия будет азиатский регион во главе с КНР и Индией, Ближний Восток и Африка [GlobVargo..., 2023].

Опыт высокоразвитых стран Запада и Японии показывает, что по мере экономического роста возрастают технические и финансовые возможности не только для купирования наиболее острых из его экологических издержек, но и появляются предпосылки для смены тренда трансформации общей экологической обстановки на позитивный (декаплинг). Немалую роль в этом играет рост запроса населения на экологическую санацию среды обитания по мере роста его благосостояния: в последние десятилетия в Китае и Индии, например, существенно выросла доля среднего класса, для которого качество окружающей среды становится важным потребительским благом.

С ростом благосостояния общества (ВВП или ВРП на человека) до определенного уровня объем загрязнений на душу населения и других видов антропогенного воздействия сначала растет, а затем снижается. Данную гипотезу выдвинули Дж. Гроссман и А. Крюгер на основе интерпретации кривой Нобелевского лауреата по экономике Саймона Кузнецца. Кривая, получившая в научной литературе название «экологическая кривая Кузнецца» (ЭКК), представляет собой перевернутую U-образную зависимость, описывающую взаимосвязи между экономическим ростом и экологическими издержками (уровнем загрязнения окружающей среды, производством отходов и проч.) [Grossman, Krueger, 1995]. После достижения определенного порогового уровня ВВП на душу населения уровень загрязнения и деградации окружающей среды начинает уменьшаться. В отличие от ряда других моделей (например, «нулевого роста» и «органического роста») экологическая кривая Кузнецца объясняет возможность совмещения экономического роста и снижения антропогенного воздействия за счет ряда факторов – эффективной экологической политики, в том числе инвестиций в охрану окружающей среды, изменение модели потребления, технологического развития, структурных сдвигов в экономике [Дружинин, Шкиперова, 2014]. Последнее, например, характерно для России, для которой на примере нескольких этапов экономического развития с

1990-х гг. доказана высокая степень взаимообусловленности экономических и экологических процессов с разнонаправленной динамикой загрязнения окружающей среды [Битюкова, Попов, 2015].

С середины 1990-х гг. проведено множество исследований, в которых использовались разные переменные, методы и вариации концепции ЭКК [Environmental Kuznets..., 2019; Naveed et al., 2022]. Экономисты в основном используют эконометрические методы и экономико-математическое моделирование. Преимущественно анализируются взаимосвязи между ростом экономики и загрязнением окружающей среды, а также экономическим ростом и потреблением энергии. Большинство эмпирических исследований по экономике окружающей среды сосредоточено на проверке гипотезы ЭКК для разных стран и регионов, однако их выводы не единодушны [Le, Ozturk, 2020].

Очевидно, что в странах-экономических гигантах Азии, находящихся на разных стадиях социально-экономического развития, последние десятилетия происходят все более сложные и разнонаправленные экологически значимые процессы. Гипотеза исследования состоит в том, что в Китае и Индии, вслед за Японией, начали проявляться экологически позитивные процессы, что свидетельствует о возможном начале геоэкологического перехода. Под ним понимается сдвиг от превалирования экологически негативных антропогенных процессов в мировом хозяйстве через стадию их разнонаправленности к изменению в будущем баланса экологически негативных и позитивных процессов в пользу последних [Лопатников, 2013; 2020]. Это можно установить на основе продолжительного положения стран на нисходящих отрезках ЭКК.

Цель исследования – выявить основные тенденции базовых экологических характеристик трех государств – экономических гигантов Азии (Китай, Индии и Японии) и дать оценку динамики их геоэкологического положения с опорой на экологическую кривую Кузнецца. Задачи исследования включали определение пороговых значений ВВП по ППС, при котором отмечается перелом кривой по ключевым параметрам (загрязнителям и углекислому газу) для каждой из трех стран, выявление внутренних факторов и внешних воздействий (мировые экономические кризисы, пандемия COVID-19 и др.), определяющих изменение их положения на кривой. В задачи работы также входило подтверждение гипотезы на основе анализа положения стран в международных экологических рейтингах.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Анализировались временные ряды данных по эмиссии диоксида серы, оксидов азота, твердых

частиц, углекислого газа, в качестве критерия экономического роста в соответствии с принятой методикой построения кривой Кузнеця использовался показатель удельных доходов – ВВП по ППС на душу населения (в долл. США, в ценах 2017 г.). Применялись ряды панельных данных за период с 1990 по 2020 гг., по твердым частицам непрерывные ряды наблюдений имеются за более короткий период (с 2010 г.). Сопоставление эколого-экономических параметров Японии, КНР и Индии проводилось на основе статистических данных Всемирного банка [World Development..., 2023], ОЭСР [OECD environmental..., 2023], национальных баз данных [Portal Site..., 2023]. Предпочтение отдавалось сопоставимым данным международных организаций, так как базы статистических данных стран основаны на разных методиках и единицах оценки выбросов и концентраций загрязняющих веществ (расхождения могут достигать 50–60% [Ding et al., 2022]).

Для сравнительной оценки экологической обстановки использовались данные мировых рейтингов, составленных на основе индексов экологической эффективности, загрязнения, «зеленой» экономики, инновационных экологически чистых технологий. Каждый из них в отдельности не дает целостную экологическую характеристику, но при корректной интерпретации они позволяют с различных сторон оценить проблемы и противоречия экологического развития рассматриваемых стран.

Исследование основано на подходах на стыке геоэкологии и социально-экономической географии, методах ретроспективного анализа, визуализации статистических данных, а также на сравнительно-географическом методе. На основе построенных графиков экологической кривой Кузнеця интерпретировались показатели по состоянию окружающей среды и основные факторы (экономические, институциональные, технологические), их обусловившие.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Положение экономических гигантов Азии на кривой С. Кузнеця. Рассмотрим, как отличаются экономические гиганты Азии по положению на экологической кривой Кузнеця (рис. 1) и как можно объяснить их место на основе динамики эколого-экономических показателей. Для этого нами проанализирована зависимость от роста доходов объемов выбросов от стационарных источников в атмосферу диоксида серы, оксидов азота и углекислого газа за 1990–2020 гг., твердых частиц – за 2010–2020 гг. для Японии и за 2010–2019 гг. для Китая и Индии.

Если оценки ВВП на душу населения в положении максимума (точка перегиба кривой) колеблются в мире в широких пределах – от 3 до 100 тыс. долл.

[Дружинин, Шкиперова, 2014], то в исследуемых странах Азии они в целом ниже. По разным экологическим показателям точки перегиба кривой приходятся на разные диапазоны душевого дохода (максимальные в Японии, минимальные в Индии). Выявление точек перегиба и динамика положения стран за 30-летний период на понижательных и/или повышательных отрезках ЭКК позволяют охарактеризовать специфику экологического развития стран, их перспективы на ближайшее время, а также выявить некоторые факторы этих изменений. Если в высокоразвитых странах выраженные экологически позитивные тренды стали наблюдаться примерно в 1980–1990 гг. и ранее (Япония) и продолжают поныне, то в Индии и Китае ситуация более разнонаправленная и менее определенная.

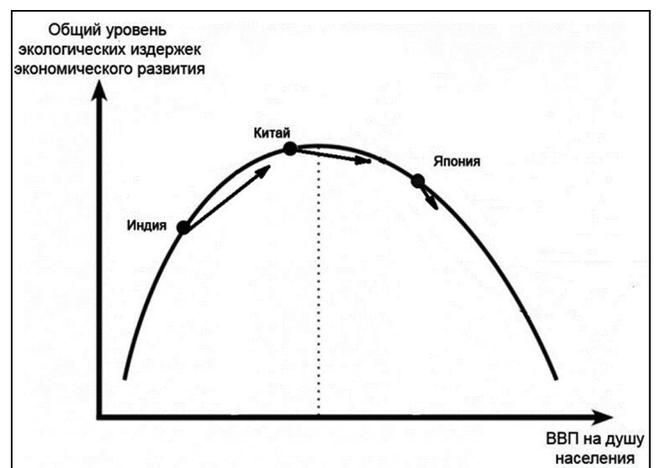


Рис. 1. Экономические гиганты Азии на экологической кривой Кузнеця и возможные траектории изменения их положения

Fig. 1. The position of Asian economic giants on the environmental Kuznets Curve and possible trajectories of their change

Диоксид серы (SO₂). Япония – первая из стран-гигантов, которой удалось снизить загрязнение диоксидом серы в воздухе еще в конце 1960-х гг. (среднесуточное содержание уменьшилось до ПДК (0,04 ppm, что равно 0,1076 мг/м³), а к 1980 г. – до концентрации 0,0296 мг/м³) [Банчева, 2018]. Это было достигнуто за счет ряда последовательных мер – принятия закона об охране атмосферного воздуха (1968), установления ПДК содержания загрязняющих веществ в воздухе для диоксида серы и оксидов азота (1973), а также внедрению технологической инновации на нефтеперерабатывающих заводах – прямого обессеривания нефти (с 1967 г.). ВВП на душу населения в тот период составлял порядка 5–7 тыс. долл. США (1970–1975 гг., в ценах 1990 г.). В настоящее время Япония на ЭКК по загрязнению диоксидом серы

находится на устойчивой понижательной траектории, кривая определяется по большей части колебаниями ВВП на душу населения, что отчетливо видно по 2009 и 2020 гг., когда произошло замедление экономики в периоды мирового экономического кризиса 2008–2009 гг. и пандемии COVID-19 [Демина, 2021] (рис. 2А).

В Китае точка перегиба ЭКК по загрязнению диоксидом серы наступила в 2006 г. при ВВП по ППС 6 тыс. долл. США/чел. [Лукиянов, 2018; Lu et al., 2010]. Несмотря на то что использование угля в топливно-энергетическом комплексе увеличилось примерно на 50%, эта в целом позитивная ситуация

была обусловлена технологической модернизацией, которая имела место в период 11-й пятилетки. На теплостанциях тогда внедрялись системы десульфуризации дымовых газов (к 2010 г. около 85% ТЭС были оборудованы этими системами). С начала 2000-х гг. действуют жесткие меры контроля в сфере энергетики и промышленности – штрафы для загрязнителей, цели по сокращению выбросов и снижению лимитов на выбросы диоксида серы. Кроме того, возросло производство электроэнергии на возобновляемых источниках. В итоге выбросы диоксида серы в 2007–2016 гг. сократились на 75% [Sulfur..., 2023].

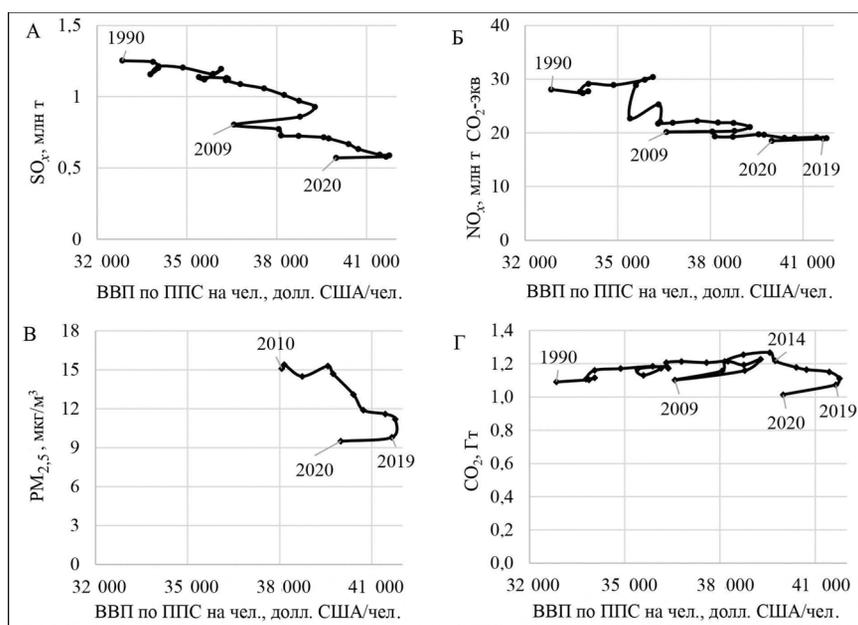


Рис. 2. Экологические кривые Японии по выбросам в атмосферу диоксида серы (А), оксидов азота (Б), концентрации твердых частиц ($PM_{2,5}$) в атмосфере (В) и эмиссиям углекислого газа (Г) в Японии в зависимости от ВВП по ППС на человека (в ценах 2017 г.) за период 1990–2020 гг. (2010–2020 гг. для $PM_{2,5}$) (составлено по данным [World Development..., 2023; OECD Environmental..., 2023])

Fig. 2. Environmental curves for Japan based on the emissions of sulfur dioxide (A), nitrogen oxides (Б), concentration of particulate matter ($PM_{2,5}$) in the atmosphere (В), and carbon dioxide emissions (Г) for 1990–2020 ($PM_{2,5}$ for 2010–2020); GDP at PPP (in 2017 prices) per capita, US dollars (compiled according to [World Development..., 2023; OECD Environmental..., 2023])

В Индии выбросы в атмосферу этого загрязнителя существенно прирастали в 1980–2010 гг. из-за интенсивного сжигания угля и отсутствия новых технологий для их контроля. Однако за 2010–2020 гг. выбросы SO_2 постепенно начали снижаться, и в большинстве индийских городов зафиксировано снижение их концентрации с 2013 г. при ВВП 4,8 тыс. долл. США/чел. Так же как в Китае, здесь началось внедрение технологий экологического контроля на ТЭС и промышленных предприятиях (скрубберов, десульфуризации дымовых газов). Последние установлены на 440 ТЭС общей мощностью 166,5 ГВт [India Power Plant..., 2020].

С 2015 г. также значительно увеличилось производство энергии на ВИЭ, что способствовало снижению загрязнения. Тем не менее Индия остается крупнейшим в мире источником выбросов SO_x , на ее долю в 2020 г. приходилось 15% глобальных выбросов из антропогенных источников [Dahiya et al., 2019].

Оксиды азота (NO_x). В Японии снижение концентраций оксидов азота в воздухе, как и диоксида серы, началось с 1970-х гг., чему способствовало внедрение технологий дожигания первичных продуктов сгорания, денитрификации отходящих газов при производстве стали (например, компанией Kawasaki

Steel в префектуре Тиба), оборудования по очистке выбросов от оксидов азота (системой избирательной каталитической нейтрализации и электронно-лучевым методом). Для исследуемого периода для NO_x характерны те же колебания, что и по диоксиду серы (2009, 2020), и более пологая, но отчетливая понижающаяся траектория (см. рис. 2Б). Объемы выбросов в Японии в настоящее время в 30 раз меньше, чем в Китае, и в 18 раз меньше, чем в Индии.

В КНР по подсчетам [Itahashi et al., 2019] объемы выбросов оксидов азота увеличивались вплоть

до 2011 г., по данным Всемирного банка – до 2016 г. Точка перегиба на ЭКК, датируемая 2016–2017 гг., соответствует среднему доходу 14,2 тыс. долл. США (рис. 3А). К этому периоду на электростанциях Китая была внедрена технология денитрификации дымовых газов, установлены нормы выбросов для новых транспортных средств по европейским стандартам и др. Несмотря на понижающийся тренд по выбросам оксидов азота, Китай пока занимает 1-е место в мире по их общим объемам, опережая США и Индию.

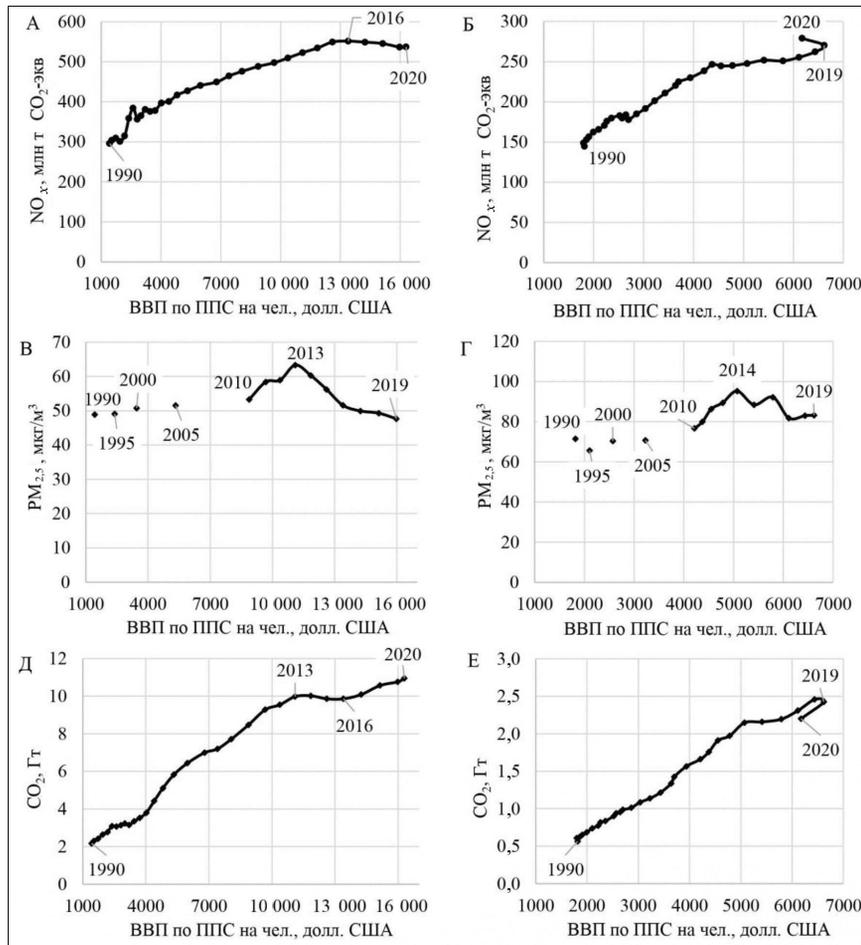


Рис. 3. Экологические кривые Китая (А, В, Д) и Индии (Б, Г, Е) по выбросам оксидов азота, концентрации твердых частиц ($\text{PM}_{2,5}$) в атмосфере и выбросам углекислого газа за период 1990–2020 гг. (1990–2019 гг. для $\text{PM}_{2,5}$) (составлено по данным [World Development..., 2023])

Fig. 3. Environmental curves for China (A, B, D) and India (B, G, E) based on the emissions of nitrogen oxides into the atmosphere, concentration of particulate matter ($\text{PM}_{2,5}$) in the atmosphere, and carbon dioxide emissions for 1990–2020 ($\text{PM}_{2,5}$ – for 1990–2019); GDP at PPP (in 2017 prices) per capita, US dollars (compiled according to [World Development..., 2023])

В Индии в настоящее время продолжается увеличение выбросов оксидов азота, несмотря на усилия, предпринимаемые в энергетическом секторе. Выбросы увеличились более чем на 50% за 2007–2016 гг., а начиная с 2017 г., темпы роста объемов выбросов NO_x затормозились, что связано

с вступлением в действие более жестких нормативов качества воздуха (рис. 3Б). Тем не менее даже экономический спад в период пандемии в 2020 г. не привел к существенному снижению эмиссий оксидов азота. Например, в районе Дели фиксировалось аномальное сокращение выбросов (на 60%) во вре-

мая первой фазы карантина (весна 2020 г.) до малых величин сразу после него. В то же время в сельских районах Северной Индии наблюдалось гораздо меньшее снижение концентраций NO_x , что связано с незначительным воздействием мер по ограничению транспорта [Misra et al., 2022]. Кроме того, одним из основных источников оксида азота в Индии, помимо теплоэнергетики и автотранспорта, являются биогенные/почвенные эмиссии с сезонным циклом выбросов с пиком летом [Ding et al., 2022].

При одинаковых значениях ВВП объем выбросов в Индии примерно в 2 раза меньше, чем в Китае (см. рис. 3А, Б). Для КНР и Индии сейчас характерны противоположные тенденции по выбросам оксида азота в атмосферу, соответственно небольшое сокращение и прирост.

Примечательно также, что экономика Китая оказалась менее чувствительной к экономическим кризисам 2008–2009 и 2020 гг., по сравнению с экономиками Японии и Индии, что и отражено на графиках ЭКК: по сравнению со столь выраженными японскими и индийскими «отскоками» экономика Китая впечатляет своей стабильностью, демонстрируя ровные восходящие значения ВВП по ППС и лишь небольшое замедление экономического роста в 2020 г., аналогичное 1990-м гг. При экономическом спаде Япония демонстрирует сокращение выбросов загрязняющих веществ, Индия же – увеличение (см. рис. 2Б и 3Б).

Твердые частицы. Мелкодисперсные твердые частицы являются одним из самых опасных загрязнителей для человека по данным Всемирной организации здравоохранения (ВОЗ). В Японии в течение последних 30 лет наблюдается понижательная динамика их концентрации¹, что позволило достичь уровня содержания $\text{PM}_{2,5}$ ниже ПДК (15 $\text{мкг}/\text{м}^3$, с 2009 г.). Этому способствовало совершенствование законодательной базы (мониторинг, ограничения выбросов сажи и пыли для некоторых стационарных источников и транспортных средств, использование инструмента оценки воздействия на окружающую среду, налоговые льготы на эко-автомобили, популяризация общественного транспорта) [Ministry..., 2023]. За 20 лет (2000–2022) выбросы сажи и пыли сократились с 60,7 тыс. т/год до 23,5 [Portal Site..., 2023]. Концентрации $\text{PM}_{2,5}$ в воздухе уменьшились с 30 $\text{мкг}/\text{м}^3$ (2001) до 9,5 (2020) (рис. 2В).

В Китае и Индии точка перегиба по $\text{PM}_{2,5}$ приходится на 2013–2014 гг. при разных значениях подушевого ВВП по ППС (соответственно около 11 и 5 тыс. долл. США/чел.), хотя короткий ряд

¹ Данные Всемирного банка расходятся с данными Статистического бюро Японии, однако в обоих источниках динамика понижательная. Для построения графика взяты национальные данные.

данных не позволяет делать долгосрочных выводов. При этом Индия лидирует по концентрации твердых частиц в атмосфере: здесь максимальные концентрации достигали 95,3 $\text{мкг}/\text{м}^3$ в 2014 г., в Китае – 63,3 $\text{мкг}/\text{м}^3$ в 2013 г. (см. рис. 3В, Г). То есть формируется ситуация, обратная по сравнению с оксидами азота: здесь при одинаковых значениях ВВП по ППС (например, 5 тыс. долл. США/чел.) концентрации $\text{PM}_{2,5}$ в Индии почти в 2 раза выше. Кроме того, траектория кривой Индии носит ломаный характер, свидетельствующий о недостаточной эффективности предпринимаемых мер по снижению загрязнения твердыми частицами.

В последние годы в Китае внедряются технологии контроля состояния воздуха в городах. Так, борьба с загрязнением вошла в число «трех великих битв» Китая. План по борьбе за чистоту воздуха включает в себя ликвидацию устаревших производственных мощностей, контроль потребления угля и стимулирование использования железнодорожного транспорта для грузовых перевозок. Таким образом, государственное регулирование и технологическая модернизация становятся важнейшими факторами снижения выбросов и загрязнения воздуха.

Несмотря на принимаемые меры, уровень загрязнения воздуха мелкодисперсными частицами в Китае и Индии все еще очень высок. Если учитывать нормативы ВОЗ, то среднегодовой уровень $\text{PM}_{2,5}$ должен составлять не более 10 $\text{мкг}/\text{м}^3$, среднесуточный – не более 25 $\text{мкг}/\text{м}^3$. Понятно поэтому, что Индия и Китай – первые в мире по заболеваемости и смертности от загрязнения воздуха. Ежегодная смертность в Индии из-за загрязнения воздуха твердыми частицами оценивается в 1,6 млн чел. [Сдасюк, 2021]. Установлено, что в Китае за 2000–2016 гг. из-за воздействия $\text{PM}_{2,5}$ умерло около 31 млн чел., при этом за 2000–2013 гг. смертность от этого показателя выросла на 29%, а за 2013–2016 гг., следуя за снижением концентраций $\text{PM}_{2,5}$ в воздухе, уменьшилась практически до уровня 2000 г. [Liang et al., 2020].

Эмиссии углекислого газа. Большинство исследований, посвященных связи между экономическим ростом и загрязнением, рассматривают углекислый газ как важнейший индикатор деградации окружающей среды [Shahbaz, Sinha, 2019], хотя он не является загрязнителем воздуха. Потребление энергии и реальный доход являются основными факторами, определяющими выбросы парниковых газов, в особенности CO_2 .

Япония, которая начиная с 1990-х гг. проводит активную климатическую политику, поставила цель достичь углеродной нейтральности к 2050 г. В 2013 г. ей удалось пройти точку перегиба на кривой Кузнеца и в настоящее время сохранять слабый, но все же понижательный тренд (см. рис. 2Г).

В Китае и Индии отмечается неуклонный рост кривой (см. рис. 3Д, Е). Рост экономики при увеличении численности населения и уровня потребления обуславливает существенное повышение объемов выбросов CO_2 этих стран в последние десятилетия, эти же факторы будут определять динамику выбросов в будущем [Григорьев и др., 2020]. Если в Китае в период пандемии 2020 г. темпы роста эмиссии углекислого газа лишь замедлились, то в Индии произошло их сокращение, которое, по предварительным данным, носило временный характер.

Китай провозгласил достижения углеродной нейтральности в 2060 г. [Climate Action..., 2023]. В 2013–2016 гг. впервые наметилась стабилизация эмиссий углекислого газа при росте душевых доходов: быстрее стало расти производство электроэнергии, получаемой из ВИЭ, увеличилось потребление природного газа (см. рис. 3Д). Вслед за коротким снижением темпов добычи угля и снятием в 2018 г. запрета на ввод новых угольных электростанций, кривая вновь пошла вверх. Тем не менее, взяв на себя роль сверхдержавы в сфере глобального управления климатом и опираясь на масштабные инвестиции в ВИЭ и повышение энергоэффективности, КНР внедряет экологически чистые технологии и стремится к «зеленому» развитию внутри страны, хотя за пределами страны его действия не столь экологичны. Так, в рамках инициативы «Один пояс – один путь» в течение 2014–2019 гг. китайские банки инвестировали в развитие угольных мощностей стран-участниц в 5 раз больше, чем в солнечные и ветряные станции [Алексеева, Фортыхина, 2022].

Помимо этого, для Китая, Индии и стран АСЕАН, согласно выводам [Zhang, 2021; Pal, Mitra, 2017; Duong et al., 2022], существует вероятность формирования в долгосрочной перспективе N-образной зависимости между ВВП на душу населения и выбросами CO_2 . N-образная гипотеза кривой С. Кузнеца включает третий этап, когда экологическая деградация усугубляется по мере продолжения роста доходов ввиду технологического устаревания производства и эффекта масштаба, и в итоге окружающая среда снова ухудшается с ростом доходов [Lorente, Alvarez-Herranz, 2016]. Таким образом, даже если Китай сможет достичь пика выбросов CO_2 к 2030 г., все еще сохраняется неопределенность, не возрастут ли в будущем выбросы вместе с национальным доходом. А чтобы избежать эффекта технологического устаревания, определяющего третий этап кривой, в ходе 14-го пятилетнего плана (2021–2025) требуется принятие прорывных политических решений и энергетических инноваций.

Индия наметила самый поздний срок перехода к углеродной нейтральности – 2070 г. Являясь бы-

строрастущей экономикой с крупными источниками выбросов, как ожидается, она еще долго будет обеспечивать рост эмиссий диоксида углерода и других парниковых газов, несмотря на внедрение ВИЭ, повышение энергоэффективности в разных секторах экономики, снижение доли угля в энергобалансе страны. В то же время Индии, как стране с самым большим населением в мире², приходится решать противоречивые задачи экономического развития и преодоления острейших социально-демографических проблем, с одной стороны, и снижения выбросов парниковых газов, ограничивающих это развитие, с другой.

Позиции в экологических рейтингах. Международные экологические рейтинги широко используются для оценки достижений стран в сфере сохранения благоприятной окружающей среды, устойчивого развития, движения в сторону «зеленой» экономики, прогресса климатической политики [Алексеева и др., 2018].

Один из наиболее авторитетных глобальных рейтингов составляется на основе индекса экологической эффективности (*Environmental Performance Index*), разработанного Йельским и Колумбийским университетами (США). Он измеряет достижения стран с точки зрения экологического состояния и управления природными ресурсами на основе 40 показателей в 11 категориях, которые отражают различные аспекты экологического состояния, от сохранения биологического разнообразия до государственной политики в области охраны окружающей среды. По индексу экологической эффективности в 2022 г. Япония занимала 25-е место, Китай – 160-е место, Индия – последнее 180-е место [Environmental Performance..., 2022]. Верхние позиции рейтинга экологической эффективности занимают страны Северной Европы и Великобритания с высоким душевым ВВП, что в целом подтверждает гипотезу ЭКК.

По индексу загрязнений (*Pollution Index*) в 2023 г. (из 111 стран) – Япония занимает 27-е место (39,0), Индия – 80-е (72,8), Китай – 99-е (78,8) [Pollution Index..., 2023].

Глобальный индекс «зеленой» экономики, рассчитываемый для 160 стран, измеряет на основе интегрального подхода национальные экологические показатели устойчивого развития. Для каждого из его 18 показателей рассматривается степень прогресса, достигнутого каждой из стран с 2005 по 2020 г., и ее удаленность от установленных ООН Целей устойчивого развития. Ни одна из крупных экономик не показывает хороших результатов по данному индексу: США занимает 38-е место; Япо-

² Индия превысила население Китая. URL: <https://www.kommersant.ru/doc/5939907> (дата обращения 15.06.2023).

ния – 47-е, Бразилия – 52-е, Китай – 58-е, Республика Корея – 59-е, Индия – 144-е место [Results..., 2023]. Тем не менее индекс четко показывает обратную корреляцию между уровнем развития страны и индексом «зеленой» экономики. Это иллюстрирует соответствующая последовательность трех крупнейших экономик Азии.

Глобальный индекс инновационных экологических чистых технологий (*Global Cleantech Innovation Index*) оценивает готовность стран к внедрению передовых экологических технологий. Он ранжирует 166 стран на основе пяти блоков: развертывание ИКТ, навыки, исследования и разработки (НИОКР), отраслевая деятельность и доступ к финансированию. По этому индексу впереди высокоразвитые страны со сложившимся постиндустриальным укладом и интеллектоемким хозяйством. Согласно индексу наиболее готовы к внедрению экологически чистых технологий малые постиндустриальные страны с высоким уровнем ВВП на душу населения (Швеция, Швейцария и Нидерланды), из стран Азии – Сингапур. Из крупных стран самый высокий показатель только у США (1-е место), у Японии 19-е место. Китай – наиболее подготовленная к экологическим инновациям развивающаяся страна, занял 35-е место, за ним следуют Бразилия (40-е), Индия (46-е) и Южная Африка (56-е) [Technology and Innovation..., 2023]. Таким образом, чем выше положение страны по данному рейтингу, тем дальше она от точки перегиба на понижательном отрезке экологической кривой Кузнецца.

В целом, рассмотренные индексы коррелируют с общим уровнем социально-экономического развития государств. Это наглядно проявляется по позициям, которые занимают в этих рейтингах Индия, Китай и Япония, что укладывается в логику эколого-экономической интерпретации экологической кривой Кузнецца. Об этом же свидетельствует доля расходов бюджета на охрану окружающей среды: в Японии она самая высокая из трех стран (1,3% ВВП); в Индии (0,017%) она в 3,6 раза меньше, чем в Китае (0,061%) [Сдасюк, 2021]. Если в Китае, более 10 лет назад провозгласившем цель создания «экологической цивилизации», видны признаки разворота в сторону экологизации хозяйства, то об Индии этого пока сказать нельзя. При более чем двукратной разнице доходов в 2022 г. (ВВП по ППС на душу населения у Китая – 18,2 тыс. долл. США/чел. в год, Индии – 7,1 тыс. долл.) [Business and economic..., 2023], активно развивающаяся Индия может достичь точки перегиба по ряду экологических показателей при более низких уровнях душевого дохода, тем более что валовые и удельные показатели выбросов основных загрязнителей (кроме твердых частиц) у нее в разы меньше, чем у КНР.

ВЫВОДЫ

Взаимосвязь экономического развития трех выбранных государств и экологических проблем нелинейна. Ключевые экологические индикаторы за исследуемый период имели траекторию, в той или иной степени близкую с классической экологической версии кривой С. Кузнецца.

В Японии, стране первой волны «экономических чудес» со сложившимся постиндустриальным укладом хозяйства, значительно раньше Китая и Индии наметился ряд выраженных экологически позитивных трендов, связанных с запросом на улучшение среды обитания жителей густонаселенной страны с относительно высоким уровнем доходов, а также благодаря институциональному развитию и технологическим возможностям. По показателям диоксида серы, оксидов азота и $PM_{2,5}$ в Японии в 1990–2020 гг. произошло снижение выбросов / концентраций веществ относительно ВВП. Находясь на нисходящей ветви кривой С. Кузнецца, по диоксиду углерода Япония прошла «точку перегиба» в 2013 г. при ВВП 40 тыс. долл. США/чел.

Вслед за Японией, по мере роста ВВП и благосостояния населения, развития экологической политики и формирования общественного запроса на более здоровую окружающую среду, на путь экологически направленной модернизации хозяйства вступили КНР и Индия. Китай прошел «точку перегиба» на кривой С. Кузнецца по таким показателям, как диоксид серы, диоксид азота и $PM_{2,5}$. Индия – вероятно, только по диоксиду серы и $PM_{2,5}$. Диапазон значений ВВП в «точке перегиба» составляет от 5 тыс. (Индия по $PM_{2,5}$) до 13 тыс. долл. США/чел. (Китай по NO_x).

Выявленные экологически позитивные процессы у экономических гигантов Азии пока нельзя считать долгосрочной тенденцией в соответствии с классической моделью кривой С. Кузнецца ввиду относительно короткого ряда данных и сохранения поливариантности экологических перспектив данных стран (за исключением Японии, хотя и здесь есть примеры негативных необратимых изменений окружающей среды). Необходимо эколого-географический мониторинг изменения базовых экологических показателей в Китае, Индии и Японии.

Если Китаю и Индии удастся по примеру Японии в ближайшие десятилетия добиться устойчивой смены трендов в экологических характеристиках на позитивные, это будет иметь общепланетарное значение и внесет решающий вклад в потенциально возможный глобальный геоэкологический переход.

Благодарности. Исследование выполнено в рамках темы государственного задания Института географии РАН FMWS-2024-0008 и темы государственного задания географического факультета МГУ имени М.В. Ломоносова № 121040100322-8.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Алексеева Н.Н., Аршинова М.А., Банчева А.И. Положение России в международных экологических рейтингах // Вестник РУДН. Серия: Экология и безопасность жизнедеятельности. 2018. Т. 26. № 1. С. 134–152. DOI: 10.22363/2313-2310-2018-26-1-134-152.
- Алексеева Н.Н., Фортыхина Е.А. Климатический вектор эколого-экономической модернизации Китая // Азия и Африка сегодня. 2022. № 9. С. 37–45. DOI: 10.31857/S032150750018521-5.
- Банчева А.И. Геоэкологическое состояние ландшафтов острова Хоккайдо (Япония): дис. ... канд. геогр. наук. М., 2018. 130 с.
- Битюкова В.Р., Попов А.А. Экологические последствия структурных сдвигов в промышленности России в 1990–2014 гг. // Экология и промышленность России. 2015. № 6. С. 4–10.
- Григорьев Л.М., Макарова И.А., Соколова А.К., Павлюшина В.А., Степанов И.А. Изменение климата и неравенство: потенциал для совместного решения проблем // Вестник международных организаций. 2020. Т. 15. № 1. С. 7–30.
- Демина Я.В., Мазитова М.Г. Пандемия COVID-19 и ее влияние на экономику Японии // Японские исследования. 2021. № 3. С. 57–75. DOI: 10.24412/2500-2872-2021-3-57-75.
- Дружинин П.В., Шкиперова Г.Т. Оценка взаимовлияния экономических и экологических процессов // Экономические и социальные перемены: факты, тенденции, прогнозы. 2014. Т. 32. № 2. С. 213–224.
- Дружинин П.В., Шкиперова Г.Т., Поташева О.В. Экологическая кривая Кузнецца: случай России и Финляндии // Экономика: вчера, сегодня, завтра. 2018. Т. 8. № 11А. С. 83–97.
- Лопатников Д.Л. Миграция мирового центра экологического неблагополучия и «геоэкологический переход» // Изв. РАН. Сер. Геогр. 2020. № 5. С. 728–736. DOI: 10.31857/S2587556620050106.
- Лопатников Д.Л. Экологический переход // Региональные исследования. 2013. Т. 41. № 3. С. 4–8.
- Лукьянов Л.Е. Инструменты анализа взаимосвязи экономического развития и экологической обстановки в Китае // Географическая среда и живые системы. 2020. № 4. С. 57–69. DOI: 10.18384/2712-7621-2020-4-57-69.
- Сдасюк Г.В. Новая Индия. География развития: достижения, проблемы, перспективы. М.: Канон+, 2021. 520 с.
- Dahiya S., Anhauser L., Farrow A. et al. Global SO₂ emission hotspot database. The world's worst sources of SO₂ pollution, 2019, *Greenpeace Environment Trust*, 2019, 39 p.
- Ding J., A van der R., Mijling B. et al. NO_x emissions in India derived from OMI satellite observations, *Atmospheric Environment: X*, 2022, vol. 14, 100174.
- Duong N.B., Mayers E.E., Nhan N.D. et al. Extended environmental Kuznets curve in Asia-Pacific countries: an empirical analysis, *J. of Int. Economics and Management*, 2022, vol. 22(3), p. 46–61.
- Environmental Kuznets Curve: A Manual*, B. Özcan, I. Öztürk (eds.), Academic Press, 2019, 162 p.
- Grossman G., Krueger A. Economic growth and the environment, *The Quarterly J. of Economics*, 1995, vol. 110, p. 353–377.
- Itahashi S., Yumimoto K., Kurokawa J. et al. Inverse estimation of NO_x emissions over China and India 2005–2016: contrasting recent trends and future perspectives, *Environ. Res. Lett.*, 2019, vol. 14, 124020.
- Le H.P., Öztürk I. The impacts of globalization, financial development, government expenditures, and institutional quality on CO₂ emissions in the presence of environmental Kuznets curve, *Environmental Science and Pollution Research*, 2020, vol. 27, p. 2680–2269.
- Liang F., Xiao Q., Huang K. et al. The 17-y spatiotemporal trend of PM_{2.5} and its mortality burden in China, *Proc. of the Nat. Academy of Sciences*, 2020, vol. 117(41), p. 25601–25608, DOI: 10.1073/pnas.1919641117.
- Lorente D.B., Álvarez-Herranz A. Economic Growth and Energy Regulation in the environmental Kuznets Curve, *Environmental Science and Pollution Research*, 2016, vol. 25, p. 16478–94.
- Misra P., Takigawa M., Khatri P. et al. Nitrogen oxides concentration and emission change detection during COVID-19 restrictions in North India, *Sci Rep.*, 2021, vol. 11, 9800.
- Naveed A., Ahmad N., Zadeh Aghdam R.F., Menegaki A.N. What have we learned from environmental Kuznets Curve hypothesis? A citation-based systematic literature review and content analysis, *Energy Strategy Reviews*, 2022, vol. 44, 100946.
- Pal D., Mitra S.K. The environmental Kuznets curve for carbon dioxide in India and China: Growth and pollution at crossroad, *J. of Policy Modeling*, 2017, vol. 39(2), p. 371–385.
- Shahbaz M., Sinha A. Environmental Kuznets curve for CO₂ emissions: a literature survey, *J. Econ Stud.*, 2019, vol. 46, p. 106–168.
- Zhang J. Environmental Kuznets Curve Hypothesis on CO₂ Emissions: Evidence for China, *J. of Risk and Financial management*, 2021, vol. 14, 93.
- Электронные ресурсы**
- Рейтинг стран по ВВП в 2022 году. URL: <https://svspsb.net/danmark/vvp-stran.php> (дата обращения 15.08.2023).
- Business and economic data for 200 countries, URL: <https://www.theglobaleconomy.com/> (дата обращения 27.07.2023).
- Climate Action Tracker, URL: <https://climateactiontracker.org/countries/japan/net-zero-targets/> (дата обращения 20.08.2023).
- Environmental Performance Index Results. Yale Center for Environmental Law & Policy, 2022, URL: <https://epi.yale.edu/epi-results/2022/component/epi> (дата обращения 05.08.2023).
- GlobBaro HSE. Барометр мировой экономики. ВШЭ. 2023. № 14. URL: <https://wec.hse.ru/mirror/pubs/share/841484604.pdf> (дата обращения 27.07.2023).
- India Power Plant Emissions. Official Website of the International Trade Administration, 2020, URL: <https://www.>

- trade.gov/market-intelligence/india-power-plant-emissions (дата обращения 03.08.2023).
- Lu Z., Streets D.G., Zhang Q., Wang S. The Trend of Sulfur Dioxide Emissions in China after 2000. *Environmental Science*, 2010, URL: <https://www.semanticscholar.org/paper/The-Trend-of-Sulfur-Dioxide-Emissions-in-China-2000-Lu-Streets/f11c95f91a3c93672a339639d08e0b797810db43> (дата обращения 30.06.2023).
- Mapped: The World's Largest Economies, Sized by GDP (1970–2020), *Markets*, 2022, URL: <https://www.visualcapitalist.com/cp/the-worlds-largest-economies-1970-2020/> (дата обращения 15.07.2023).
- Ministry of the Environment, Japan, URL: <https://www.env.go.jp/air/osen/pm/info.html> (дата обращения 07.08.2023).
- OECD environmental data and indicators. OECD. Environment, URL: <https://www.oecd.org/environment/indicators-modelling-outlooks/data-and-indicators.htm> (дата обращения 20.06.2023).
- Pollution Index by Country 2023 Mid-Year, *Numbeo*, URL: https://www.numbeo.com/pollution/rankings_by_country.jsp (дата обращения 21.08.2023).
- Portal Site of Official Statistics of Japan, URL: <https://www.e-stat.go.jp> (дата обращения 07.08.2023).
- Results from the 2022 Global Green Economy Index (GGEI), *Dual Citizen*, URL: <https://dualcitizeninc.com/results-from-the-2022-global-green-economy-index-ggei/> (дата обращения 25.07.2023).
- Sulfur Dioxide Emissions Fall in China, Rise in India, *NASA Earth Observatory*, URL: <https://earthobservatory.nasa.gov/images/91270/sulfur-dioxide-emissions-fall-in-china-rise-in-india> (дата обращения 29.08.2023).
- Technology and Innovation Report 2023, UNCTAD, 2023, URL: <https://unctad.org/tir2023> (дата обращения 12.08.2023).
- World Development Indicators, *The World Bank, Data Bank*, URL: <https://databank.worldbank.org/source/world-development-indicators> (дата обращения 15.06.2023).

Поступила в редакцию 26.09.2023

После доработки 16.11.2023

Принята к публикации 04.12.2023

CHANGES OF ENVIRONMENTAL CHARACTERISTICS OF THE ASIAN “ECONOMIC GIANTS” IN THE CONTEXT OF THE GEOECOLOGICAL TRANSITION

N.N. Alekseeva¹, D.L. Lopatnikov², A.I. Bancheva³

^{1,3} *Lomonosov Moscow State University, Faculty of Geography, Department of World Physical Geography and Geoecology*

² *Institute of Geography of Russian Academy of Sciences, Laboratory of Geography of World Development*

¹ *Executive Head of the Department, Associate Professor, Ph.D. in Geography; e-mail: nalex01@mail.ru*

² *Senior Scientific Researcher, D.Sc. in Geography; e-mail: imartos@mail.ru*

³ *Scientific Researcher, Ph.D. in Geography; e-mail: ban-sai@mail.ru*

Since the end of the last century the epicenter of environmental problems and global environmental threats has moved to Asia. Three economic giants played the main role: at first Japan, then China and India. In recent decades increasingly complicated and multidirectional environmentally significant processes have taken place in these Asian countries, which are at different stages of socio-economic development. The purpose of the study was to identify the main trends in the basic environmental characteristics of Japan, China and India and study the dynamics of their position in the context of the geoecological transition. The work was based on the concepts of the environmental Kuznets curve (EKC) and the geoecological transition of D.L. Lopatnikov. Comparison of environmental and economic parameters was carried out on the basis of statistical data from the World Bank, OECD and national databases. Time series for sulfur dioxide, nitrogen oxides, particulate matter and carbon dioxide emissions were analyzed mainly for the period 1990–2020. The dynamics of the countries' position on the curve over a 30-year period makes it possible to identify the trajectories of their environmental development, as well as determine prospects for the short-term future. According to the dynamics of key indicators, Japan is steadily on a downward segment of the curve, while China and India are on a downward segment for some indicators, having passed an inflection point during the period under study, and on an upward segment for other ones. The interpretation of dynamics of the environmental indicators revealed the main factors (economic, institutional, technological, etc.) which lay behind their environmental advancement. At the same time, the economic slowdown during the 2008–2009 global economic crisis and the COVID-19 pandemic had a different impact on the key indicators of the three countries. The position of countries in the international environmental ratings correlates with the level of socio-economic development, which fits into the logic of the EKC. While the first signs of a turn towards the greener economy are already visible in China, the same is still not true for India. The environmentally positive trends which were identified for the economic giants of Asia, with the exception of Japan, cannot yet be considered a long-term trend due to the relatively short series of data and the continuing diversity of their environmental prospects.

Keywords: geocological transition, environmental Kuznets curve, decoupling, India, China, Japan, environmental rankings, carbon dioxide, pollution

Acknowledgments. The study was carried out under the state task theme of the Institute of Geography, RAS (FMWS-2024-0008) and the state task theme of the MSU Faculty of Geography (121040100322-8).

REFERENCES

- Alekseeva N.N., Arshinova M.A., Bancheva A.I. Polozhenie Rossii v mezhdunarodnykh ekologicheskikh reitingakh [Position of Russia in International Environmental Ratings], *Vestnik RUDN, Seriya: Ekologiya i bezopasnost' zhiznedeyatel'nosti*, 2018, vol. 26, no. 1, p. 134–152, DOI: 10.22363/2313-2310-2018-26-1-134-152. (In Russian)
- Alekseeva N.N., Fortygina E.A. Klimaticheskii vektor ekologo-ekonomicheskoi modernizatsii Kitaya [The Climatic Vector of Ecological and Economic Modernization of China], *Aziya i Afrika segodnya*, 2022, no. 9, p. 37–45, DOI: 10.31857/S032150750018521-5. (In Russian)
- Bancheva A.I. *Geoekologicheskoe sostoyanie landshaftov ostrova Hokkaido (Yaponiya)* [Geocological Assessment of the Hokkaido Island Landscapes (Japan)], PhD Thesis in Geography, Moscow, 2018, 130 p. (In Russian)
- Bitjukova V.R., Popov A.A. Ekologicheskie posledstviya strukturnykh sdvigo v promyshlennosti Rossii v 1990–2014 gg. [Environmental consequences of structural changes in Russian industry in 1990-2014], *Ekologiya i promyshlennost' Rossii*, 2015, no. 6, p. 4–10. (In Russian)
- Dahiya S., Anhauser L., Farrow A. et al. *Global SO₂ emission hotspot database. The world's worst sources of SO₂ pollution*, Greenpeace Environment Trust, 2019, 39 p.
- Demina Ya.V., Mazitova M.G. Pandemiya COVID-19 i ee vliyaniye na ekonomiku Yaponii [The COVID-19 pandemic and its impact on the Japanese economy], *Yaponskie issledovaniya*, 2021, 3, p. 57–75. (In Russian)
- Ding J., A van der R., Mijling B. et al. NO_x emissions in India derived from OMI satellite observations, *Atmospheric Environment: X*, 2022, vol. 14, 100174.
- Druzhinin P.V., Shkiperova G.T. Otsenka vzaimovliyaniya ekonomicheskikh i ekologicheskikh protsessov [Assessment of Mutual Influence of Economic and Ecological Processes], *Ekonomicheskie i sotsial'nye peremeny: fakty, tendentsii, prognozy*, 2014, vol. 32, no. 2, p. 213–224. (In Russian)
- Druzhinin P.V., Shkiperova G.T., Potasheva O.V. Ekologicheskaya krivaya Kuznetsa: sluchai Rossii i Finlyandii [Environmental Kuznets curve: the cases of Russia and Finland], *Ekonomika: vchera, segodnya, zavtra*, 2018, vol. 8, no. 11A, p. 83–97. (In Russian)
- Duong N.B., Mayers E.E., Nhan N.D. et al. Extended environmental Kuznets curve in Asia-Pacific countries: an empirical analysis, *J. of Int. Economics and Management*, 2022, vol. 22(3), p. 46–61.
- Environmental Kuznets Curve: A Manual*, B.Özcan, I. Öztürk (eds.), Academic Press, 2019, 162 p.
- Grigor'ev L.M., Makarova I.A., Sokolova A.K., Pavlyushina V.A., Stepanov I.A. Izmeneniye klimata i neravenstvo: potentsial dlya sovmestnogo resheniya problem [Climate Change and Inequality: How to Solve These Problems Jointly?], *Vestnik mezhdunarodnykh organizatsii*, 2020, vol. 15, no. 1, p. 7–30, DOI: 10.17323/1996-7845-2020-01-01. (In Russian)
- Grossman G., Krueger A. Economic growth and the environment, *The Quarterly J. of Economics*, 1995, vol. 110, p. 353–377.
- Itahashi S., Yumimoto K., Kurokawa J. et al. Inverse estimation of NO_x emissions over China and India 2005–2016: contrasting recent trends and future perspectives, *Environ. Res. Lett.*, 2019, vol. 14, 124020.
- Le H.P., Ozturk I. The impacts of globalization, financial development, government expenditures, and institutional quality on CO₂ emissions in the presence of environmental Kuznets curve, *Environmental Science and Pollution Research*, 2020, vol. 27, p. 2680–2269, DOI: 10.1007/s11356-020-08812-22020.
- Liang F., Xiao Q., Huang K. et al. The 17-y spatiotemporal trend of PM_{2.5} and its mortality burden in China, *Proc. of the National Academy of Sciences*, 2020, 117 (41), p. 25601–25608.
- Lopatnikov D.L. Ekologicheskii perekhod [Ecological Transition], *Regional'nye issledovaniya*, 2013, vol. 41, no. 3, p. 4–8. (In Russian)
- Lopatnikov D.L. Migratsiya mirovogo tsentra ekologicheskogo neblagopoluchiya i "geoekologicheskii perekhod" [Migration of the Center of the Ecological Trouble and Geo-Ecological Transition], *Izv. RAN, Seriya geogr.*, 2020, no. 5, p. 728–736, DOI: 10.31857/S2587556620050106. (In Russian)
- Lorente D.B., Álvarez-Herranz A. Economic Growth and Energy Regulation in the environmental Kuznets Curve, *Environmental Science and Pollution Research*, 2016, vol. 25, p. 16478–94.
- Luk'yanov L.E. Instrumenty analiza vzaimosvyazi ekonomicheskogo razvitiya i ekologicheskoi obstanovki v Kitae [Analysis tools of the relationship between economic development and the environmental situation in China], *Geograficheskaya sreda i zhivye sistemy*, 2020, no. 4, p. 57–69, DOI: 10.18384/2712-7621-2020-4-57-69. (In Russian)
- Misra P., Takigawa M., Khatri P. et al. Nitrogen oxides concentration and emission change detection during COVID-19 restrictions in North India, *Sci Rep.*, 2021, 11, 9800, URL: <https://doi.org/10.1038/s41598-021-87673-2> (дата обращения 05.08.2023).
- Naveed A., Ahmad N., Zadeh Aghdam R.F., Menegaki A.N. What have we learned from environmental Kuznets Curve hypothesis? A citation-based systematic literature review and content analysis, *Energy Strategy Reviews*, 2022, vol. 44, 100946.
- Pal D., Mitra S.K. The environmental Kuznets curve for carbon dioxide in India and China: Growth and pollution at crossroad, *J. of Policy Modeling*, 2017, vol. 39(2), p. 371–385.
- Sdasyuk G.V. *Novaya Indiya. Geografiya razvitiya: dostizheniya, problemy, perspektivy* [New India. Development Geography. Achievements, Problems, Perspectives], Moscow, Kanon+ Publ., 2021, 520 p. (In Russian)
- Shahbaz M., Sinha A. Environmental Kuznets curve for CO₂ emissions: a literature survey, *J. Econ Stud.*, 2019, vol. 46, p. 106–168.

- Zhang J. Environmental Kuznets Curve Hypothesis on CO₂ Emissions: Evidence for China, *J. of Risk and Financial management*, 2021, vol. 14, 93.
- Web sources*
- Business and economic data for 200 countries, URL: <https://www.theglobaleconomy.com/> (access date 27.07.2023).
- Climate Action Tracker, URL: <https://climateactiontracker.org/countries/japan/net-zero-targets/> (access date 20.08.2023).
- Environmental Performance Index Results, Yale Center for Environmental Law & Policy, 2022, URL: <https://epi.yale.edu/epi-results/2022/component/epi> (access date 05.08.2023).
- GlobBaro HSE. Barometer of the world economy, HSE, 2023, no. 14, URL: <https://wec.hse.ru/mirror/pubs/share/841484604.pdf> (access date 27.07.2023).
- India Power Plant Emissions: Official Website of the International Trade Administration, 2020, URL: <https://www.trade.gov/market-intelligence/india-power-plant-emissions> (access date 03.08.2023).
- Lu Z., Streets D.G., Zhang Q., Wang S. The Trend of Sulfur Dioxide Emissions in China after 2000, *Environmental Science*, 2010, URL: <https://www.semanticscholar.org/paper/The-Trend-of-Sulfur-Dioxide-Emissions-in-China-2000-Lu-Streets/f11c95f91a3c93672a339639d08e0b-797810db43> (access date 30.06.2023).
- Mapped: The World's Largest Economies, Sized by GDP (1970–2020), *Markets*, 2022, URL: <https://www.visualcapitalist.com/cp/the-worlds-largest-economies-1970-2020/> (access date 15.07.2023).
- Ministry of the Environment, Japan, URL: <https://www.env.go.jp/air/osen/pm/info.html> (access date 07.08.2023).
- OECD environmental data and indicators, OECD, Environment, URL: <https://www.oecd.org/environment/indicators-modelling-outlooks/data-and-indicators.htm> (access date 20.06.2023).
- Pollution Index by Country 2023 Mid-Year, Numbeo, URL: https://www.numbeo.com/pollution/rankings_by_country.jsp (access date 21.08.2023).
- Portal Site of Official Statistics of Japan, URL: <https://www.e-stat.go.jp> (access date 07.08.2023).
- Reiting stran po VVP v 2022 godu [Countries rating by GDP in 2022], URL: <https://svspb.net/danmark/vvp-stran.php> (access date 15.08.2023).
- Results from the 2022 Global Green Economy Index (GGEI), Dual Citizen, URL: <https://dualcitizeninc.com/results-from-the-2022-global-green-economy-index-ggei/> (access date 25.07.2023).
- Sulfur Dioxide Emissions Fall in China, Rise in India, NASA Earth Observatory, URL: <https://earthobservatory.nasa.gov/images/91270/sulfur-dioxide-emissions-fall-in-china-rise-in-india> (access date 29.08.2023).
- Technology and Innovation Report 2023, UNCTAD, 2023, URL: <https://unctad.org/tir2023> (access date 12.08.2023).
- World Development Indicators, The World Bank, Data Bank, URL: <https://databank.worldbank.org/source/world-development-indicators> (access date 15.06.2023).

Received 26.09.2023

Revised 16.11.2023

Accepted 04.12.2023