

Современные математические и экспертные методы управления экологической безопасностью

А.И. Орлов

Повсеместно используемая в настоящее время экономическая модель – это модель расширенного воспроизводства. Оно может продолжаться лишь до тех пор, пока мировое хозяйство не приблизится в своём росте к объективно существующим пределам. Отсюда следует, что в будущем современная экономическая модель должна быть изменена, причём именно по экологическим причинам. Для успешного проведения работ в области экологии необходима разработка и применение соответствующего научного инструментария. Его важными составными частями являются математические модели, статистические методы, экспертные технологии. В статье в качестве примеров рассмотрены работы по ряду проблем управления экологической безопасностью – по научно-техническому обеспечению уничтожения химического оружия, экологическому страхованию, технологиям экологических экспертиз, применению статистических методов при экологическом мониторинге. Для стран БРИКС при разработке экологических аспектов развития и сотрудничества весьма важно преодолеть преклонение перед устаревшими концепциями западной науки. Так, установлено, что концепция Киотского протокола не является научно обоснованной. По мнению автора, разработка и широкое внедрение математических, статистических и экспертных методов экологии – необходимое условие успешного развития стран БРИКС.

Ключевые слова: экологическая безопасность, математические модели, статистические методы, экспертные технологии, управление, развитие науки.

В названиях докладов международного форума «Страны БРИКС: экологические аспекты развития и сотрудничества» не встречаются слова «математические», «статистические», «экспертные», «инструментальные» методы (хотя в некоторых докладах использовались математические методы и цифровые технологии). Цель настоящей работы – способствовать становлению самостоятельной научной специальности «Математические, статистические и инструментальные методы в экологии» по аналогии с экономическими науками, в которых подобная специальность давно выделена.

Повсеместно используемая в настоящее время экономическая модель – это модель расширенного воспроизводства. Как математические модели, так и анализ статистических данных показывают, что основные макроэкономические показатели (ва-

ловой внутренний продукт, объем промышленного производства) год от года увеличиваются, их рост достаточно хорошо описывается экспоненциальной функцией от времени. Однако существуют пределы роста, связанные с ограниченностью потенциально доступных природных ресурсов. Расширенное воспроизводство может продолжаться лишь до тех пор, пока мировое хозяйство не приблизится в своем росте к объективно существующим пределам. Отсюда следует, что в будущем современная экономическая модель должна быть изменена, причем именно по экологическим причинам [1].

Уже общепризнано, что современная модель капитализма исчерпала себя (слова Президента России В.В. Путина на пленарной сессии XVIII заседания международного дискуссионного клуба «Валдай» 21 октября 2021 года). Что должно заменить устаревшую модель? Мы предлагаем исходить из новой парадигмы экономической науки (и соответствующей ей хозяйственной практики), основанной на современной цифровой экономике [2].

Из сказанного ясно, что значение экологии с течением времени будет только возрастать. Для стран БРИКС при разработке экологических аспектов развития и сотрудничества весьма важно преодолеть преклонение перед устаревшими концепциями западной науки. Необходимость модернизации научного комплекса стран БРИКС обоснована в нашем



ОРЛОВ

Александр Иванович

профессор, д.э.н.,

д.т.н., к.ф.-м.н.,

Московский государственный

технический университет

им. Н.Э. Баумана

докладе на конференции «Страны БРИКС: стратегии развития и механизмы сотрудничества в изменяющемся мире» [3] на примере экономики, математики и науковедения. В рассмотренных в этом докладе областях науки разработаны научные направления, в которых Россия опережает Запад. Как говорил Мао Цзэдун, «ветер с Востока одолевает ветер с Запада».

Аналогичная ситуация наблюдается и в экологической науке. Дополнительные сложности создает то, что необходимо учитывать не только научные соображения, но и политические и экономические аспекты. Приведем лишь один характерный пример. Двадцать лет назад велись споры о целесообразности ратификации Россией Киотского протокола, посвященного ограничениям на выброс в атмосферу так называемых парниковых газов, прежде всего углекислого газа CO₂ (диоксида углерода). Он был принят 11 декабря 1997 года в городе Киото (Япония) и вступил в силу 16 февраля 2005 года.

В результате проведенного анализа было установлено [4], что концепция Киотского протокола не является научно обоснованной. Более того, потепление климата выгодно России, бороться против него – значит бороться против национальных интересов России.

Было установлено, что выполнение или невыполнение Киотского протокола не окажет реального воздействия на процесс потепления климата. Таким образом, цели разработки Киотского протокола не столько экологические, сколько экономические и политические. Основная цель состоит в получении странами Европейского союза правового инструмента для давления на соперников, прежде всего на США и страны БРИКС.

Дело в том, что экологические требования в Европейском союзе более жесткие, чем в США и России, а потому издержки производства товаров и услуг выше. Поэтому европейцам хочется заставить соперников повысить расходы на экологию, а потому и издержки производства, что неизбежно приводит к понижению конкурентоспособности их товаров и, соответственно, относительному повышению конкурентоспособности европейской продукции.

План не вполне удался – США подписали Киотский протокол в ноябре 1998 г., но в 2001 году отказались от ратификации. Развивающиеся страны, а также Китай и Индия обязательств на себя не брали.

Для введения в действие Киотского протокола необходимо его подписание странами, на долю которых приходится не менее 55% зафиксированных в протоколе выбросов. После отказа США от ратификации введение протокола в действие зависело от позиции России. Если Россия ратифицирует протокол, то он вступает в действие. Давление Европейского союза, настаивающего на ратификации, доходило до грани шантажа. Для этого использовались экологические соображения. Достаточно вспомнить о запрете полетов российских самолетов в Европу из-за якобы недопустимо сильного шума работающих двигателей. В результате Россия ра-

тифицировала Киотский протокол в ноябре 2004 года.

Это решение нанесло ущерб национальным интересам России. Впрочем, по нашей оценке, прошедшие годы показали, что протокол «умер естественной смертью». Так, в декабре 2015 года было принято Парижское соглашение по климату, которое пришло на смену Киотскому протоколу. Важно констатировать, что экологические соображения были прикрытием для политических и экономических целей.

Для успешного проведения работ в области экологии необходима разработка и применение соответствующего научного инструментария. Его важными составными частями являются математические модели, статистические методы, экспертные технологии.

Констатируем, что доступен для использования обширный научный задел. В настоящей работе невозможно дать его развернутый анализ. Отметим только, что и в настоящее время большую ценность представляют, например, математические модели динамики популяций, разработанные в XX веке академиком АН СССР А.Н. Колмогоровым [5, 6].

Не пытаясь рассмотреть многообразные применения в экологии статистических методов и экспертных технологий, обсудим те из них, которыми занимался автор настоящей работы.

Начнем с обсуждения научных результатов, полученных в ходе работ (с нашим участием) по научно-техническому обеспечению уничтожения химического оружия. В этой области разработаны различные технологии. Надо их упорядочить по предпочтительности. Для этого естественно использовать коллективное мнение комиссии экспертов. Подчеркнем, что задача упорядочивания объектов экспертизы возникает в самых разных областях. Сводка различных подходов к решению этой задачи представлена нами [7] на примере определения приоритетности

реализации НИОКР на предприятиях ракетно-космической отрасли.

Для решения задачи упорядочения технологий (уничтожения химического оружия) был взят кредит на 1 миллион долларов и направлен американской фирме для разработки методики решения этой задачи. Представленная методика была основана на выделении факторов, которые необходимо (по мнению разработчиков) учитывать при упорядочении, оценивании (экспертами) весовых коэффициентов и построении линейного интегрального показателя, по которому и предлагалось строить искомое упорядочение. В отчете американской фирмы были приведены экспертные оценки, на основе которых рассчитывались веса. Мы были поражены разбросом этих оценок. Одному и тому же фактору один из экспертов давал вес 0.1, а другой – вес 0.7 (сумма всех весов равнялась 1). Было ясно, что построенный на основе подобных экспертных оценок интегральный показатель не решает поставленной задачи, поскольку не является устойчивым по отношению к допустимым отклонениям исходных экспертных данных (здесь мы опираемся на теорию устойчивости организационно-экономических методов и моделей [8, 9]).

В ответ на фиаско американской фирмы пришлось разработать свой подход для решения обсуждаемой задачи [10] (здесь и далее даем ссылки на наши публикации последних лет). Он основан на получении от экспертов непосредственно упорядочений объектов экспертизы (синоним – кластеризованных ранжировок), а не оценок факторов. Таким образом, ответы экспертов измерены в порядковой шкале. Как установлено в теории измерений, для усреднения подобных данных необходимо использовать медиану рангов ответов экспертов по поводу определенного объекта экспертизы (а не среднее арифметическое).

Однако заказчику исследования была понятна процедура упорядоче-

ния объектов экспертизы (т.е. получения итогового мнения комиссии экспертов) на основе средних арифметических выставленных экспертами рангов, в отличие от незнакомо-го ему упорядочения на основе медиан рангов. Мы приняли решение рассчитывать два упорядочения объектов экспертизы – по средним арифметическим рангов и по медианам рангов. Опыт показал, что такие упорядочения (ранжировки со связями) имеют много общего, но есть и различия. Поэтому мы разработали процедуру согласования ранжировок (на основе теории графов). Таким образом, удалось разработать адекватные процедуры упорядочения объектов экспертизы, основанные на научных результатах статистики нечисловых данных и учитывающие традиции прикладных областей.

Еще один способ усреднения мнений экспертов, выраженных в виде упорядочений (ранжировок со связями), – это расчет медианы Кемени. Этот метод был предложен в середине XX века американским математиком венгерского происхождения Дж. Кемени. Медиана Кемени – это то упорядочение (или упорядочения), для которого минимальна сумма так называемых расстояний Кемени от него до ответов экспертов. Минимизация проводится по множеству всех ранжировок со связями. Алгоритмы для решения этой математической задачи довольно сложны. С точки зрения теории экспертных оценок оправдана рекомендация о применении введенной нами так называемой модифицированной медианы Кемени, отличающейся от классической медианы тем, что минимизация проводится только по множеству ответов экспертов (а не по множеству всех ранжировок со связями). Использование модифицированной медианы Кемени позволяет резко сократить объем вычислений, она может быть использована даже при ручном счете. Поэтому полезна рекомендация об использовании модифицированной медианы Кемени вместо обычной медианы Кемени при практических работах.

Усреднение объектов нечисловой природы с помощью медианы Кемени было обобщено при введении средних величин в произвольных пространствах нечисловых данных. Дальнейшее развитие исследований позволило построить статистику нечисловых данных как развитое направление математической статистики, в частности, доказать законы больших чисел в пространствах произвольной природы и разработать основные разделы статистических методов анализа нечисловых данных [11]. Констатируем большое значение медианы Кемени для становления современной прикладной статистики как одного из интеллектуальных инструментов экологии.

Дальнейшие наши работы в области экологии были посвящены ряду проблем управления экологической безопасностью – экологическому страхованию, технологиям экологических экспертиз, применению статистических методов при экологическом мониторинге.

Федеральный закон от 10.01.2002 №7-ФЗ (ред. от 08.08.2024) «Об охране окружающей среды» содержит статью

18, посвященную экологическому страхованию. Широко применяется Федеральный закон от 23.11.1995 №174-ФЗ «Об экологической экспертизе» (редакция закона, действующая с 1 марта 2025 года, доступна на сайте tk-servis.ru). Однако в этих и других нормативных документах не названы конкретные методы сбора и анализа экспертных данных. Рекомендуем применять экспертные технологии, рассмотренные в наиболее цитируемом в нашей стране учебнике [10], уже упомянутом выше в связи с работами по уничтожению химического оружия.

Развитие статистических методов в нашей стране в XX и XXI веках обсуждается в части I монографии [14]. Эти методы полезны в экологии. В частности, часть II этой монографии посвящена проблемам управления экологической безопасностью. Рассмотрены экологические риски и экологическая безопасность подземных безоболочных резервуаров в многолетнемерзлых грунтах, используемых для захоронения отходов бурения.

Для планирования и анализа данных экологического мониторинга полезны методы статистического контроля совокупностей и процессов [15]. Они – те же, что и для контроля качества продукции и аудита. Опишем постановки задач в общих терминах.

Пусть взята совокупность проб (воздуха, воды или с поверхности). Некоторые пробы соответствуют нормативам (при контроле качества продукции речь идет о годных изделиях или деталях), некоторые – нет (в терминах контроля качества изделие или деталь является дефектными). Соответствует ли в целом экологическая обстановка требованиям (т.е. доля проб с нарушениями не превосходит заданное нормативное значение)? Для ответа на этот вопрос разработаны методы статистического контроля совокупностей. Контроль процессов нацелен на обнаружение резкого или постепенного изменения характеристик наблюдаемого процесса. Применительно к изготовлению продукции говорят о статистическом регулировании технологического процесса и обнаружении разладки.

В заключение – несколько слов об управлении наукой и обеспечении научно-технологического суверенитета, необходимого для обеспечения в мировом масштабе технологического лидерства России и других стран БРИКС.

В современную эпоху перемен концепция глобализации – мощное идейное оружие англосаксов, позволяющее нивелировать отставание в экономике. Как следствие, от прежнего понимания глобализации необходимо отказаться. С прискорбием надо констатировать, что идея глобализации по-прежнему господствует в массовом сознании исследователей. Большинство из них не сомневается в существовании единой мировой науки. Наибольший вред наносит присвоение интеллектуальной собственности на значимые научно-технические достижения. Известно, что мобильный телефон и Интернет были впервые разработаны и внедрены в нашей стране.

Приоритетной должна быть отечественная наука, а не «мировая». По нашему мнению, основные научные результаты следует вначале публиковать в российских изданиях. Англосаксы активно внедряют требования к публикациям, которые наносят значительный вред развитию науки как информационного процесса. Например, отрицательное отношение к самоцитированию, что лишает читателя важной информации и затрудняет перенос знаний из одной научной области в другую. Или требование обязательного слепого рецензирования, что заметно замедляет публикацию новых результатов.

Большое значение имеет существование информационного барьера, вызванного ограниченными возможностями человеческого мозга в области обработки информации. Научный работник за свою жизнь может изучить лишь несколько тысяч статей и книг из миллионов публикаций в его научной области. Информационный барьер стал препятствием для экспертных методов оценки результативности научной деятельности. Наукометрические методы дают возможность оценить вклад ученых и исследовательских групп по гамбургскому счету. Против использования наукометрии возражают, прежде всего, те деятели науки, для которых высокая оценка окружения и руководства противоречит относительно малым наукометрическим показателям. Чтобы получить объективную оценку результативности научной деятельности в нашей стране, в том числе в экологии, необходимо применять отечественные наукометрические системы. Основная среди таких систем – РИНЦ.

По мнению автора, разработка и широкое внедрение математических, статистических и инструментальных методов экологии – необходимое условие успешного развития стран БРИКС.

Литература

1. **А.И. Орлов**
Контроллинг, 2021, 2(80), с. 24–31.
2. **А.И. Орлов**
Новая парадигма экономической науки на основе солидарной цифровой экономики: монография. – М.: Русайнс, 2024. – 164 с.
3. **А.И. Орлов**
О модернизации научного комплекса стран БРИКС (экономика, математика, науковедение) // Страны БРИКС: стратегии развития и механизмы сотрудничества в изменяющемся мире: материалы Второй международной научно-практической конференции (5–7 июня 2024 года): в 2-х ч. Ч. 2 / отв. ред. М.А. Булавина, В.И. Герасимов. – Москва: Издательский дом УМЦ, 2024. – С.534–539.
4. **А.И. Орлов, В.А. Поляков**
«Черные дыры» в российском законодательстве, 2004, 3, с. 448–450.
5. **А.Н. Колмогоров**
Проблемы кибернетики, 1972, 25, с. 101–106.
6. **А.Н. Kolmogoroff**
Giornale dell'Istituto Italiano degli attuari, 1936, 7, p. 74–80.
7. **А.И. Орлов, А.Д. Цисарский**
Контроллинг, 2020, 2(76), с. 58–65.
8. **А.И. Орлов**
Устойчивость в социально-экономических моделях. – М.: Наука, 1979. – 296 с.
9. **А.И. Орлов**
Устойчивые экономико-математические методы и модели: монография. – М.: Ай Пи Ар Медиа, 2022. – 337 с.
10. **А.И. Орлов**
Искусственный интеллект: экспертные оценки: учебник. – М.: Ай Пи Ар Медиа, 2022. – 436 с.
11. **А.И. Орлов**
Искусственный интеллект: нечисловая статистика. – М.: Ай Пи Ар Медиа, 2022. – 446 с.
12. **А.И. Орлов**
Проблемы управления экологической безопасностью. Итоги двадцати лет научных исследований и преподавания. – Saarbrücken: Palmarium Academic Publishing, 2012. – 344 с.
13. **А.И. Орлов**
Проблемы управления экологической безопасностью. – М.: Ай Пи Ар Медиа, 2022. – 224 с.
14. **В.И. Лойко, Е.В. Луценко, А.И. Орлов**
Высокие статистические технологии и системно-когнитивное моделирование в экологии : монография. – Краснодар : КубГАУ, 2019. – 258 с.
15. **А.И. Орлов**
Теория принятия решений: учебник. – М.: Ай Пи Ар Медиа, 2022. – 826 с.

English

Modern mathematical and expert methods of environmental safety management

Alexander I. Orlov

Professor, Bauman Moscow State Technical University
5, building 1, 2nd Baumanskaya St., Moscow, 105005, Russia
prof-orlov@mail.ru

Annotation

The economic model that is currently widely used is the extended reproduction model. It can only continue until the world economy approaches objectively existing limits in its growth. It follows that in the future, the modern economic model must be changed, and precisely for environmental reasons. For successful work in the field of ecology, it is necessary to develop and apply appropriate scientific tools. Its important components are mathematical models, statistical methods, and expert technologies. The article provides examples of work on a number of environmental safety management issues, such as scientific and technical support for the destruction of chemical weapons, environmental insurance, environmental expertise technologies, and the use of statistical methods in environmental monitoring. When developing the environmental aspects of development and cooperation, it is very important for the BRICS countries to overcome their reverence for outdated concepts of Western science. Thus, it has been established that the concept of the Kyoto Protocol is not scientifically sound. According to the author, the development and widespread implementation of mathematical, statistical and expert methods of ecology is a necessary condition for the successful development of the BRICS countries.

Keywords: environmental safety, mathematical models, statistical methods, expert technologies, management, science development.

References

1. **A.I. Orlov**
Kontrolling, 2021, 2(80), pp. 24–31. (in Russian).
2. **A.I. Orlov**
Novaya paradigma ekonomicheskoy nauki na osnove solidarnoy cifrovoy ekonomiki: monografiya. – M.: Rusajns, 2024. – 164 s. (in Russian).
3. **A.I. Orlov**
O modernizacii nauchnogo kompleksa stran BRIKS (ekonomika, matematika, naukovedenie) // Strany BRIKS: strategii razvitiya i mekhanizmy sotrudnichestva v izmenyayushchemsya mire: materialy Vtoroj mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoy

- konferencii (5–7 iyunya 2024 goda): v 2-h ch. CH. 2 / otv. red. M.A. Bulavina, V.I. Gerasimov. – Moskva: Izdatel'skij dom UMC, 2024. – S.534–539 (in Russian).
4. **A.I. Orlov, V.A. Polyakov**
«Chernye dyry» v rossijskom zakonodatel'stve, 2004, 3, pp. 448–450.
5. **A.N. Kolmogorov**
Problemy kibernetiki, 1972, 25, pp. 101–106 (in Russian).
7. **A.H. Kolmogoroff**
Giornale dell'Istituto Italiano degli attuari, 1936, 7, p. 74–80.
8. **A.I. Orlov**
Ustojchivost' v social'no-ekonomicheskikh modelyakh. – M.: Nauka, 1979. – 296 s. (in Russian).
9. **A.I. Orlov**
Ustojchivye ekonomiko-matematicheskie metody i modeli: monografiya. – M.: Aj Pi Ar Media, 2022. – 337 s. (in Russian).
10. **A.I. Orlov**
Iskusstvennyj intellekt: ekspertnye ocenki: uchebnik. – M.: Aj Pi Ar Media, 2022. – 436 s. (in Russian).
11. **A.I. Orlov**
Iskusstvennyj intellekt: nechislovaya statistika. – M.: Aj Pi Ar Media, 2022. – 446 s. (in Russian).
12. **A.I. Orlov**
Problemy upravleniya ekologicheskoy bezopasnost'yu. Itogi dvadcati let nauchnyh issledovanij i prepodavaniya. – Saarbrücken: Palmarium Academic Publishing. 2012. – 344 s. (in Russian).
13. **A.I. Orlov**
Problemy upravleniya ekologicheskoy bezopasnost'yu. – M.: Aj Pi Ar Media, 2022. – 224 s. (in Russian).
14. **V.I. Lojko, E.V. Lucenko, A.I. Orlov**
Vysokie statisticheskie tekhnologii i sistemno-kognitivnoe modelirovanie v ekologii: monografiya. – Krasnodar: KubGAU, 2019. – 258 s. (in Russian).
15. **A.I. Orlov**
Teoriya prinyatiya reshenij: uchebnik. – M.: Aj Pi Ar Media, 2022. – 826 s. (in Russian).