

К оценке тенденций дальнего загрязнения атмосферы при планировании пространственного развития России

doi 10.26310/2071-3010.2019.250.8.005



А. А. Макоско,
д. т. н., профессор, зав. лабораторией,
член-корреспондент РАН
aamacosco@mail.ru



А. В. Матешева,
д. т. н., с. н. с.
matesheva@rambler.ru

**Институт физики атмосферы им. А. М. Обухова РАН/Межведомственный центр
аналитических исследований в области физики, химии и биологии
при Президиуме Российской академии наук**

Выполнены расчеты введенного авторами ранее индекса загрязнения атмосферы, характеризующего особенности динамики дальнего загрязнения экономических районов РФ, в 1980-2050 гг. с учетом изменения климата.

Результаты расчетов показывают общие тенденции к усилению меридионального (южного) поступления загрязняющих примесей в регионы России в рассмотренный период. Полученные оценки важны для предложений по обеспечению экологической безопасности регионов при стратегическом планировании пространственного развития Российской Федерации.

Ключевые слова: загрязнение атмосферы, экономический район, дальний перенос примесей, индексы загрязнения, климатические изменения.

Введение

Согласно Стратегии пространственного развития Российской Федерации на период до 2025 г. [1] необходим комплексный подход к социально-экономическому развитию территорий. При этом исключительную актуальность приобретает проблема соблюдения баланса между наращиванием экономического потенциала территорий и сохранением комфортной среды жизнедеятельности населения. Решение этой проблемы заключается в реализации мероприятий по улучшению экологической ситуации с учетом долгосрочной оценки (прогноза) экологической безопасности регионов.

Одной из самых острых экологических проблем в развитии регионов по-прежнему остается проблема загрязнения атмосферного воздуха. Так, по данным государственного доклада [2], «в 44 городах Российской Федерации (21% от городов с регулярными наблюдениями за загрязнением атмосферного воздуха) уровень загрязнения воздуха характеризуется как высокий и очень высокий», в 2017 г. в 139 городах средние концентрации какой-либо примеси превышали ПДК.

Особую опасность вызывает загрязнение стойкими органическими загрязнителями, которые имеют

антропогенное происхождение (продукты химической промышленности, сгорания топлива, транспорта, сельского хозяйства). Благодаря низкой летучести, высокой устойчивости и биоаккумуляции эти загрязнители переносятся на тысячи километров от источника (дальний перенос) и накапливаются в тканях растений и всех живых организмов, создавая риск здоровью человека [3-5].

Такой дальний (в том числе трансграничный) перенос атмосферных примесей происходит из урбанизированных и промышленных районов, районов природных пожаров и газо-, нефтедобычи России, ближайших стран Европы и Азии. Вариации общей циркуляции атмосферы вследствие наблюдаемых изменений климата могут привести к заметному перераспределению количества поступающих загрязняющих веществ и областей, оказывающих влияние на регионы при дальнем загрязнении. В этой связи высокую научную и практическую значимость при планировании развития экономических территорий страны, координации социально-экономического развития субъектов РФ в рамках макрорегионов и обеспечении их экологической безопасности имеют оценки вкладов и тенденций дальнего загрязнения атмосферы.

Как показано в [6, 7], для получения таких оценок удобно использовать решение сопряженной задачи [8, 9], с помощью которого можно оценить степень потенциальной опасности загрязнения атмосферы в заданной зоне от всех источников, расположенных в области решения задачи, при заданных сценариях метеорологического режима атмосферы. Для объективизации и количественной характеристики тенденций загрязнения атмосферы в работе [6] по аналогии с подходом А. Л. Каца к введению индексов циркуляции атмосферы [10] предложен обобщенный индекс (индекс M), количественно характеризующий направление, откуда осуществляется загрязнение региона.

Таким образом, цель настоящей работы состоит в оценке динамики дальнего (трансграничного) загрязнения атмосферы экономических районов Российской Федерации [11] в конце XX и первой половине XXI вв. (с 1980 по 2050 гг.) с учетом изменяющегося климата для оценки экологической безопасности при стратегическом планировании инновационного развития территорий страны.

Оценка динамики дальнего загрязнения атмосферы экономических районов Российской Федерации в 1980-2050 гг. с учетом изменения климата

В настоящее время в Российской Федерации насчитывается 12 экономических районов [11], полностью или частично совпадающих с границами федеральных округов. Поскольку некоторые районы (Западно-Сибирский, Восточно-Сибирский, Дальневосточный) имеют большую пространственную протяженность, прежде всего, с севера на юг, и на данных территориях отмечается существенная дифференциация видов экономической деятельности, обусловленная климато-географическими условиями, при проведении расчетов данные территории были разделены на несколько частей.

В частности, отдельно выделены северные части указанных районов выше 70° северной широты, входящих в Арктическую зону РФ. Сюда вошла территория западнее п-ова Таймыр, п-ов Таймыр и зона восточнее п-ова Таймыр. В Западно-Сибирском и Восточно-

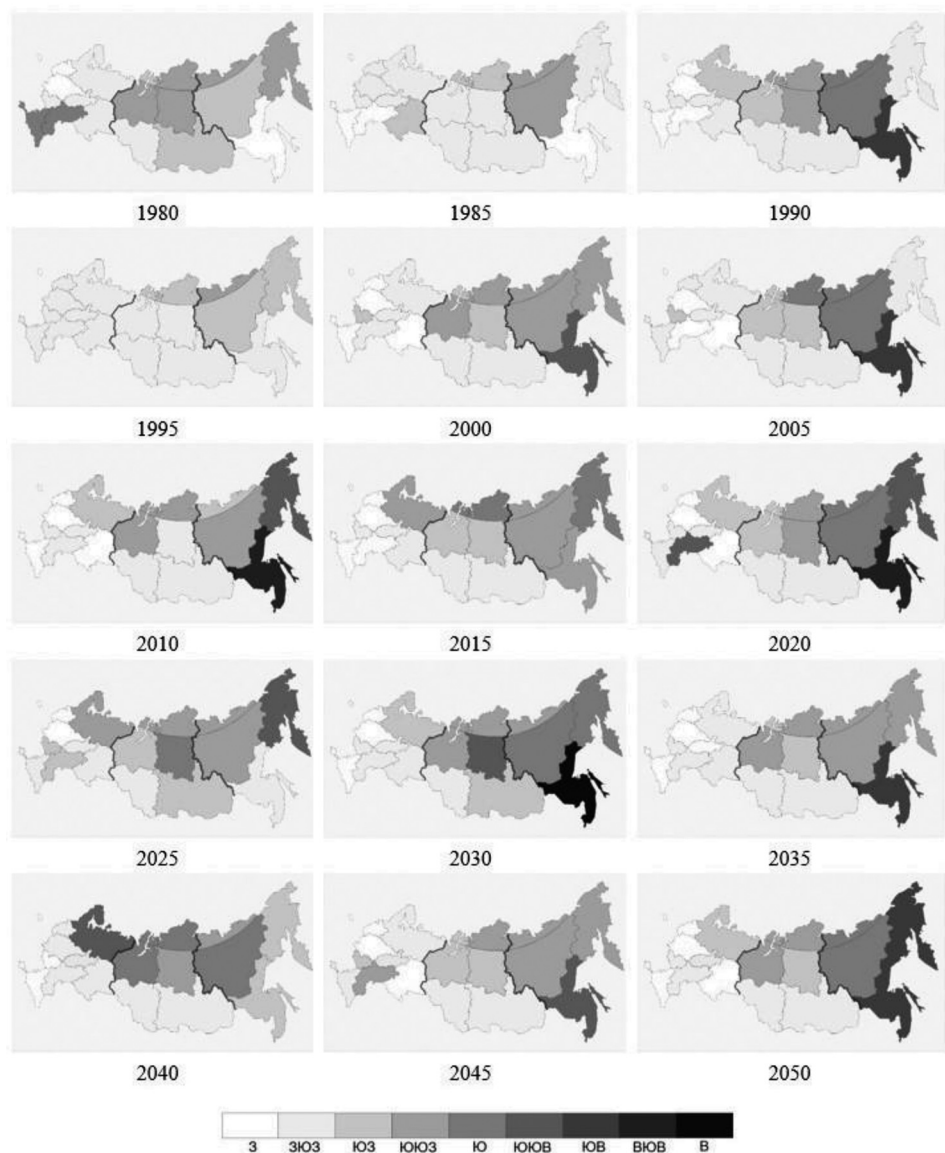


Рис. 1. Динамика распределения индекса M в 1980-2050 гг. при сценарии изменения климата RCP 4.5

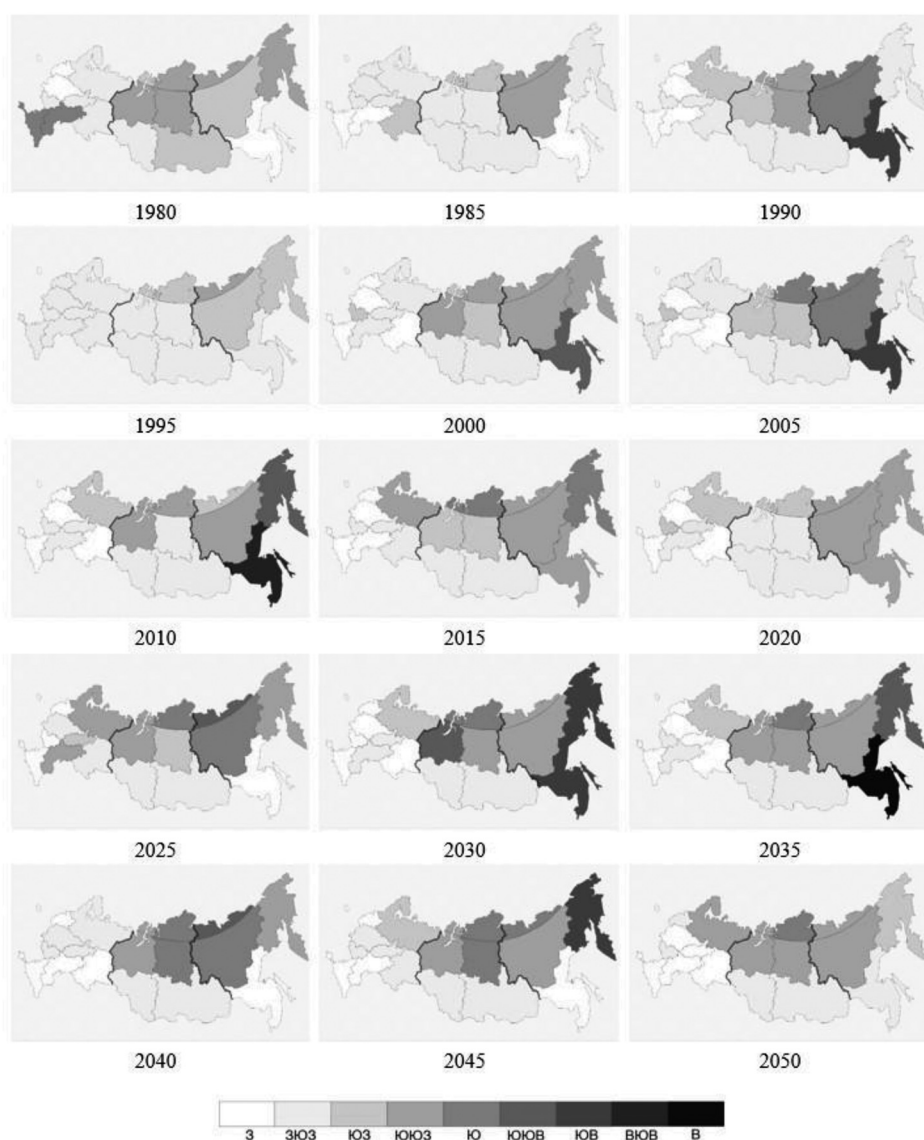


Рис. 2. Динамика распределения индекса M в 1980-2050 гг. при сценарии изменения климата RCP 8.5

Сибирском районах также выделены зоны между 60° и 70° с. ш. и оставшиеся территории южнее 60° с. ш., так как ориентировочно по ней проходит разделение зон экономической деятельности. Дальневосточный экономический район также разделен на 3 зоны: западную (Республика Саха (Якутия), восточную (Чукотский АО, Магаданская обл., Камчатский край) и юго-восточную (Амурская обл., Хабаровский край, Приморский край, Сахалинская обл.).

В итоге указанного разделения выделено 19 экологически значимых зон, для которых проводилась оценка динамики дальнего загрязнения атмосферы. Для каждой из этих зон рассчитаны сезонные (январь, апрель, июль, октябрь) и годовые обобщенные индексы M с 1980 по 2050 гг. с шагом 5 лет. При этом проводилось две серии расчетов с учетом двух характерных сценариев изменения климата в XXI столетии, принятых Межправительственной группой экспертов по изменению климата (МГЭИК) — «умеренного» (RCP4.5) и «жесткого» (RCP8.5) [12], которые соответствуют различному уровню выбросов и концен-

траций парниковых газов в атмосфере, оказывающих влияние на климат. В качестве необходимых полей метеовеличин использовались данные реанализов [13, 14] для периода 1980-2015 гг. и данные расчетов по климатической модели Института вычислительной математики им. Г.И. Марчука РАН для периода 2020-2050 гг. (по сценариям RCP4.5 и RCP8.5) [15].

На рис. 1, 2 представлены карты распределения среднегодового индекса M в 1980-2050 гг. с интервалом 5 лет с учетом различных климатических сценариев.

Проведенные расчеты показывают, что территория Российской Федерации в период 1980-2050 гг. характеризуется весьма неоднородной динамикой направлений поступления загрязняющих примесей.

Так, при сценарии изменения климата RCP4.5 минимальная динамика индекса M отмечается в Калининградской области и в южной части Западно-Сибирского района ниже 60° с. ш., свидетельствующая соответственно об устойчивом западном и западо-юго-западном переносе загрязняющих веществ. Вариации здесь не превышают 10° .

Годы	З	ЗЮЗ	ЮЗ	ЮЮЗ	Ю	ЮЮВ
Реанализ [13-14]						
1980	3	4			2	
1985	3	5	1			
1990	5	3	1			
1995	1	≥ 6				
2000	5	3	1			
2005	4	4	1			
2010	5	3	1			
2015	5	3		1		
Сценарий RCP 4.5 [15]						
2020	4	3	1			1
2025	3	3	2	1		
2030	4	4	1			
2035	5	4				
2040	3	5				1
2045	4	3	1	1		
2050	5	3	1			
Сценарий RCP 8.5 [15]						
2020	5	2	2			
2025	4	2	1	2		
2030	≥ 6	2	1			
2035	≥ 6	2	1			
2040	5	4				
2045	4	4	1			
2050	≥ 6	2		1		

Годы	ЗЮЗ	ЮЗ	ЮЮЗ	Ю	ЮЮВ
Реанализ [13-14]					
1980	1	2	3		
1985	4	2			
1990	2	1	3		
1995	4	2			
2000	2	2	2		
2005	2	3		1	
2010	3	3			
2015	2	2		2	
Сценарий RCP 4.5 [15]					
2020	2	2	2		
2025	1	2	2	1	
2030	1	1	3		1
2035	2	2	2		
2040	2		1	3	
2045	2	3	1		
2050	2	1	3		
Сценарий RCP 8.5 [15]					
2020	4	2			
2025	2	1	2	1	
2030	2		1	2	1
2035	2		3	1	
2040	2		2	2	
2045	2		2	2	
2050	2		3	1	

Годы	З	ЗЮЗ	ЮЗ	ЮЮЗ	Ю	ЮЮВ	ЮВ	ВЮВ	В
Реанализ [13-14]									
1980	1		1	2					
1985	1	1		2					
1990		1			2		1		
1995		1	2	1					
2000				3		1			
2005		1			2		1		
2010			1	1		1		1	
2015				3	1				
Сценарий RCP 4.5 [15]									
2020					2	1		1	
2025		1		2		1			
2030				1	2				1
2035				3			1		
2040			2	1	1				
2045				3		1			
2050					2		2		
Сценарий RCP 8.5 [15]									
2020				4					
2025	1			1	1	1			
2030				2			2		
2035				2		1			1
2040	1			1	1	1			
2045	1			1	1		1		
2050		1	1	2					

Рис. 3. Оценка повторяемости направлений поступления загрязняющих примесей в 1980-2050 гг. в регионы: а — европейской территории России и Урала, б — Западной и Восточной Сибири, в — Дальнего Востока

Небольшие изменения индекса M (от 10° до 30°) прослеживаются в Северо-Западном, Волго-Вятском и Центральном районах между З и ЗЮЗ направлениями, Уральском районе — между З и ЮЗ направлениями, а также в южной части Восточно-Сибирского района ниже 60° с. ш. в пределах ЗЮЗ и ЮЗ направлений.

Умеренные изменения направления поступления примеси (от 30° до 60°) с 1980 по 2050 гг. отмечаются в Центрально-Черноземном районе между З и ЮЗ, в северной части Восточно-Сибирского и Дальневосточного районов выше 70° с. ш. и западной части Дальневосточного района — между ЮЗ и Ю направлениями.

Выраженная динамика индекса M (от 60° до 100°) проявляется в Северо-Кавказском районе между З и Ю направлениями, в северной и центральной части Западно-Сибирского района — между ЮЗ и Ю направлениями, в Северном районе и центральной части Восточно-Сибирского района (между 60° и 70° с. ш.) между ЗЮЗ-ЮЮВ, в восточной части Дальневосточного района — между ЗЮЗ-ЮВ направлениями.

Сильные изменения в направлении поступления загрязняющих веществ наблюдаются в Поволжском районе (до 110°) в диапазоне З и ЮЮВ румбов и юго-восточной части Дальневосточного района (до 170°) в пределах З и В румбов. Существенная динамика индекса M на Дальнем Востоке в районе Приморья, очевидно, является следствием усиления дальневосточного муссона. В Поволжье к столь резким вариациям индекса M , вероятно, может приводить влияние особенностей атмосферной циркуляции, обусловленной пестрым рельефом.

При климатическом сценарии RCP8.5 минимальные изменения направления поступления загрязняющих веществ (менее 10°) характерны для территорий Калининградской области и юга Западной Сибири,

где стабильно господствует соответственно западный и западо-юго-западный перенос примеси.

Небольшие изменения индекса M (от 10° до 30°) проявляются в Северо-Западном и Центральном районах между З и ЗЮЗ направлениями и на юге Восточно-Сибирского района между ЗЮЗ и ЮЗ направлениями.

Умеренные вариации индекса M (от 30° до 60°) прослеживаются в Центрально-Черноземном и Уральском районах между З и ЮЗ, Северном районе между ЗЮЗ и ЮЮЗ, Волго-Вятском районе между ЗЮЗ и ЮЗ, в северной части Западно-Сибирского и Восточно-Сибирского районов выше 70° с. ш., западной части Дальневосточного района — между ЮЗ и Ю направлениями, а также в северной (выше 70° с. ш.) части Дальневосточного района между ЮЗ и ЮЮВ направлениями.

Выраженная динамика индекса M (от 60° до 100°) проявляется в Поволжском и Северо-Кавказском районах между З и Ю направлениями, в центре Западно-Сибирского и Восточно-Сибирского районов соответственно между ЗЮЗ-ЮЮВ и ЗЮЗ-Ю направлениями.

В восточной и юго-восточной части Дальневосточного района отмечаются сильные изменения направления переноса примеси — с западо-юго-западного до юго-восточного (вариации — до 110°) и с западного до восточного (вариации — до 170°), соответственно.

Таким образом, анализ наблюдаемых и возможных изменений индекса M по экономическим районам Российской Федерации на протяжении 70 лет при различных климатических сценариях свидетельствует о его весьма сложной динамике. В отдельные годы для некоторых территорий наблюдаются существенные вариации направлений (румбов), откуда идет загряз-

нение рассматриваемых экологически значимых зон, в которых сложно выявить закономерности.

В целом, для обоих сценариев в большей части районов характерны умеренные и выраженные изменения индекса M , которые, однако, по-разному распределены по территории страны. В связи с этими обстоятельствами и большой пространственной протяженностью страны, для дальнейшего анализа тенденций загрязнения атмосферы экономические районы РФ были объединены в три макрзоны с учетом характерных климато-географических условий:

- а) Европейскую территорию России (ЕТР) и Урал,
- б) Западную и Восточную Сибирь,
- в) Дальний Восток (см. рис. 1 и 2).

На рис. 3 представлена оценка повторяемости направлений поступления загрязняющих примесей по годам за период 1980-2050 гг. в экономические регионы указанных выше зон. Анализ полученных результатов, несмотря на имеющиеся отличия по сценариям, позволяет отметить общие тенденции изменения направлений поступления загрязняющих веществ с З-ЗЮЗ на ЮЮЗ-В, что свидетельствует об усилении меридионального (южного) переноса примеси в загрязнение атмосферы российских регионов. Отмеченная динамика заметно выражена в районах Сибири и Дальнего Востока и незначительно на Европейской территории России и Урале. При «жестком» климатическом сценарии (RCP8.5), несмотря на общую тенденцию к южному переносу примесей, становится заметной определенная дисперсия направлений, откуда осуществляется загрязнение регионов, указывающая на усиление загрязнения атмосферы с запада в отдельных районах, в основном в центре и на юге ЕТР. Таким образом, наибольшую опасность в плане дальнего загрязнения атмосферы экономических районов и макрорегионов Сибири и Дальнего востока в ближайшие десятилетия будут представлять источники, расположенные южнее данных территорий; районов и макрорегионов ЕТР и Урала — источники, расположенные западнее и южнее.

Заключение

Выполнены и проанализированы расчеты предложенного ранее индекса загрязнения атмосферы, характеризующего направление примеси, поступающей на территории экономических районов РФ, за период времени 1980-2050 гг.

Результаты расчетов показывают общие тенденции изменения направления поступления загрязняющих веществ в регионы России в 1980-2050 гг. с зонального (западного) на меридиональное (южное). Такая динамика наиболее выражена в районах Сибири и Дальнего Востока и незначительно на Европейской территории России и Урале. При «жестком» климатическом сценарии (RCP8.5), несмотря на общую тенденцию к южному переносу примесей, становится заметной определенная дисперсия направлений, откуда осуществляется загрязнение регионов, указывающая на усиление загрязнения атмосферы с запада в отдельных районах, в основном в центре и на юге

ЕТР. Таким образом, наибольшую опасность в плане дальнего загрязнения атмосферы экономических районов и макрорегионов Сибири и Дальнего востока в ближайшие десятилетия будут представлять источники, расположенные южнее данных территорий; районов и макрорегионов ЕТР и Урала — источники, расположенные с запада и юга.

Полученные результаты важны для разработки предложений по обеспечению экологической безопасности регионов при планировании пространственного развития Российской Федерации, в особенности — экономического развития территорий страны, влияющих на загрязнение атмосферы экологически значимых зон. В частности, требуется определенная осторожность при планировании на территории страны размещения новых промышленных объектов, выбрасывающих в атмосферу загрязняющие вещества. Кроме этого, повышается актуальность контроля трансграничного загрязнения атмосферы со стороны ближайших стран Европы, Средней и Юго-Восточной Азии.

* * *

Работа выполнена при поддержке программ фундаментальных исследований Президиума РАН «Научные основы развития российского научно-инновационного комплекса в контексте глобальных трансформаций», «Изменение климата: причины, риски, последствия, проблемы адаптации и регулирования», «Поисковые фундаментальные научные исследования в интересах развития Арктической зоны Российской Федерации», а также при частичной поддержке проекта РФФИ № 17-29-05102.

Список использованных источников

1. Стратегия пространственного развития Российской Федерации на период до 2025 г. Утв. распоряжением Правительства РФ от 13 февраля 2019 г. № 207-р.
2. Государственный доклад «О состоянии и об охране окружающей среды Российской Федерации в 2017 г.». М.: Минприроды России; НПП «Кадастр», 2018. 888 с.
3. А. А. Макоско, А. В. Матешева. Долгосрочный прогноз риска для здоровья вследствие техногенного и биогенного загрязнения атмосферы в условиях изменяющегося климата/Под общ. ред. А. И. Григорьева//Здоровье населения России: влияние окружающей среды в условиях изменяющегося климата. М.: Наука, 2014. С. 251-267.
4. А. А. Макоско, А. В. Матешева. О долгосрочном прогнозе рисков заболеваний населения от химического загрязнения атмосферы//Рос. хим. ж., 2006, Т. L, № 5. С. 48-54.
5. А. В. Матешева. О возмещении ущерба здоровью населения в городах Арктической зоны Российской Федерации от загрязнения атмосферного воздуха//Арктика: экология и экономика. 2017. № 3 (27). С. 111-117.
6. А. А. Макоско, А. В. Матешева. Оценки тенденций дальнего загрязнения атмосферы регионов Российской Арктики в XXI веке//Арктика: экология и экономика, 2017, № 4 (28). С. 59-71.
7. А. А. Макоско, А. В. Матешева. Методика индексирования динамики загрязнения атмосферы для оценки экологической безопасности при стратегическом планировании развития регионов//Инновации, 2017, № 10. С. 76-80.
8. Г. И. Марчук. Математическое моделирование в проблеме окружающей среды. М.: Наука, 1982. 320 с.

9. А. Е. Алоян. Динамика и кинетика газовых примесей и аэрозолей в атмосфере. М.: ИВМ РАН, 2002, 201 с.
10. А. Л. Кац. Сезонные изменения общей циркуляции атмосферы и долгосрочные прогнозы. Л.: ГИМИЗ, 1960. 270 с.
11. Общероссийский классификатор экономических регионов. ОК 024-95. Утв. постановлением Госстандарта России от 27.12.1995 г. № 640. (ред. от 27.12.2018 г.).
12. IPCC, 2014: Climate Change 2014: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Core Writing Team, R.K. Pachauri and L.A. Meyer (eds.)]. IPCC, Geneva, Switzerland, 151 p.
13. S. Saha et al. 2010. NCEP Climate Forecast System Reanalysis (CFSR) Selected Hourly Time-Series Products, January 1979 to December 2010. Research Data Archive at the National Center for Atmospheric Research, Computational and Information Systems Laboratory. (<https://doi.org/10.5065/D6513W89>).
14. National Centers for Environmental Prediction/National Weather Service/NOAA/U.S. Department of Commerce. 2000, updated daily. NCEP FNL Operational Model Global Tropospheric Analyses, continuing from July 1999. Research Data Archive at the National Center for Atmospheric Research, Computational and Information Systems Laboratory. (<https://doi.org/10.5065/D6M043C6>).
15. E. Volodin, N. Diansky. INMCM4 model output prepared for CMIP5 RCP8.5, served by ESGF. World Data Center for Climate (WDCC) at DKRZ. 2013. (<https://doi.org/10.1594/WDCC/CMIP5.INC4r8>).

Estimating the trends of remote pollution of the atmosphere when planning spatial development of Russia

A. A. Makosko, doctor of technical sciences, professor, head of laboratory, corresponding member of the Russian academy of sciences.

A. V. Matesheva, doctor of technical sciences, senior researcher.

(A. M. Obukhov Institute of atmospheric physics of Russian academy of sciences)

The calculations of the atmospheric pollution index introduced earlier by the authors, which characterizes the features of the dynamics of long-range pollution of the economic regions of the Russian Federation, in 1980-2050 taking into account climate change, have been performed.

The calculation results show general trends towards an increase in the meridional (southern) influx of pollutants into the regions of Russia in the considered period. The estimates obtained are important for proposals for ensuring the environmental safety of the regions in the strategic planning of the spatial development of the Russian Federation.

Keywords: pollution of the atmosphere, economic region, long-range transport of impurities, pollution indices, climate change.

В октябре пройдет ежегодный форум «Открытые инновации»

VIII Международный форум инновационного развития «Открытые инновации» пройдет в Технопарке «Сколково» с 21 по 23 октября. Темой этого года станет «Цифровая нация. Трансфер к интеллектуальной экономике». В течение трех дней на площадке пройдут пленарные заседания, тематические сессии, семинары, мастер-классы, инновационные шоу, деловые встречи при участии российских и зарубежных экспертов в области науки, инвестиций, бизнеса и политики.

Ежегодный форум «Открытые инновации» проводится в Москве с 2012 г. под эгидой Правительства Российской Федерации и среди участников формирования инновационной экосистемы по праву считается уникальной дискуссионной площадкой.

Основная цель форума — развитие и коммерциализация новейших технологий, популяризация мировых технологических брендов и создание новых инструментов международного сотрудничества в сфере инноваций. В рамках программы проводятся пленарные заседания и тематические сессии, выставка, образовательные мероприятия, семинары и мастер-классы, инновационные шоу, деловые встречи и, конечно же, происходит неформальное общение участников форума.

День 1

- Цифровой человек.
- «Цифра» и человек. Изменение качества жизни и самого человека под влиянием технологий.

День 2

- Интеллектуальная экономика.
- Рост умной экономики, которая основана на данных, вовлечение в глобальные экономические процессы и появление новых экспортно-импортных связей.
- Награждение финалистов корпоративного акселератора Почты России.

День 3

- Технологии будущего.
- Новые технологии и R&D, глобальный трансфер технологий, корпоративные инновации, ключевые технологии цифровой трансформации.