

УДК 551.51+504.3.054
DOI: 10.32686/1812-5220-2018-15-36-47

ISSN 1812-5220
© Проблемы анализа риска, 2018

О тенденциях дальнего загрязнения атмосферы и динамике комфортности погодно-климатических условий в первой половине XXI в. на территории России¹

А. А. Макоско,
президиум Российской академии наук,
Институт физики атмосферы им. А. М. Обухова РАН,
Межведомственный центр аналитических исследований в области физики, химии и биологии при президиуме РАН, г. Москва

А. В. Матешева,
Институт физики атмосферы им. А. М. Обухова РАН,
г. Москва

С. В. Емелина,
Институт физики атмосферы им. А. М. Обухова РАН,
Гидрометцентр России,
г. Москва

Аннотация

Изменение общей циркуляции атмосферы в условиях изменяющегося климата может привести к заметному перераспределению количества поступающих загрязняющих веществ и областей, оказывающих влияние на регионы при дальнем загрязнении. В связи с этим сформулирован методический подход к оценке тенденций дальнего загрязнения атмосферы для заданных экологически значимых зон с учетом прогнозируемых климатических изменений. Введены индексы загрязнения, характеризующие количество переносимой примеси в широтном и меридиональном направлениях, и выполнены расчеты для января, апреля, июля, октября и года за период времени 1980—2050 гг., которые указывают в целом на вполне определенные тенденции дальнего загрязнения атмосферы.

Выполнено изучение динамики влияния изменяющихся погодных и климатических условий на конкретных территориях на жизнедеятельность человека с точки зрения комфортности проживания.

Ключевые слова: дальнейшее загрязнение атмосферы, индексы загрязнения, комфортность погодно-климатических условий.

¹ Работа выполнена при поддержке программ фундаментальных исследований президиума РАН № 51 «Изменение климата: причины, риски, последствия, проблемы адаптации и регулирования», № 23 «Научные основы развития российского научно-инновационного комплекса в контексте глобальных трансформаций», № 55 «Поисковые фундаментальные научные исследования в интересах развития Арктической зоны Российской Федерации», а также при частичной поддержке грантов РФФИ 18-35-00044 мол_а, 16-05-00822, 18-05-60184, 17-29-05102.

On the trends of long-range air pollution and the dynamics of comfort in climatic conditions in the first half of the twenty-first century in Russia

A. A. Makosko,

Presidium of the Russian Academy of Sciences,
A. M. Obukhov Institute of Atmospheric Physics RAS,
Interdepartmental Center for Analytical Research in Physics, Chemistry and Biology at the Presidium of the Russian Academy of Sciences, Moscow

A. V. Matesheva,

A. M. Obukhov Institute of Atmospheric Physics RAS,
Moscow

S. V. Emelina,

A. M. Obukhov Institute of Atmospheric Physics RAS,
Hydrometeorological Center of Russia, Moscow

Annotation

Changes in the general circulation of the atmosphere in a changing climate can lead to a noticeable redistribution of the amount of pollutants entering and areas affecting regions during long-range pollution. In this connection, a methodical approach has been formulated for assessing the trends of long-range atmospheric pollution for given environmentally significant zones, taking into account the predicted climate changes. Pollution indices, characterizing the amount of transported impurity in the latitudinal and meridional directions, are introduced, and calculations are made for January, April, July, October and the year for the period 1980—2050, which generally indicate well-defined trends in long-range atmospheric pollution.

The study of the dynamics of the influence of changing weather and climatic conditions in specific areas on human activity in terms of comfort of living has been carried out.

Keywords: long-range air pollution, pollution indices, weather and climate comfort.

Содержание

Введение

1. Методический подход к оценке тенденций дальнего загрязнения атмосферы с учетом климатических изменений
2. Численная модель, реализующая решение сопряженной задачи
3. Результаты расчетов тенденций дальнего загрязнения атмосферы и их анализ
4. Методы и материалы для исследования погодно-климатической комфортности
5. Результаты исследования погодно-климатической комфортности и их обсуждение

Заключение

Литература

Введение

В настоящее время роль климатической информации в оценках экологических рисков приобрела особое значение в свете исключительной актуальности планирования пространственного развития страны на фоне наблюдающихся изменений климата. Важной задачей при этом являются анализ, выявление и оценка ущерба от экологических рисков.

Как известно, среди экологических проблем регионов одной из самых острых по-прежнему остается проблема загрязнения атмосферного воздуха. Изменение общей циркуляции атмосферы в условиях изменяющегося климата может привести к заметному перераспределению количества поступающих загрязняющих веществ и областей, оказывающих влияние на регионы при дальнем загрязнении.

В связи с этим высокую научную и практическую значимость при планировании развития регионов страны и обеспечении их экологической безопасности имеют оценки вкладов и тенденций дальнего загрязнения атмосферы. Решение этой задачи может быть получено, по крайней мере, двумя способами. Первый состоит в многократном решении уравнения переноса примеси с источниками различной интенсивности и различным местоположением. Другой способ более наукоемкий, но требует только однократного решения сопряженной задачи, 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. Ниже использован именно этот способ.

Следует отметить, что объективизация и количественная характеристика получаемых результатов являются весьма непростыми процедурами. В целом для анализа динамики загрязнения атмосферы регионов требуется разработка неких интегральных показателей (индексов). Это позволит количественно характеризовать особенности исследуемой динамики и объективно оценивать тенденции загрязнения регионов.

Не менее важной проблемой становится изучение динамики влияния изменяющихся погодных и климатических условий на конкретных территориях на жизнедеятельность человека с точки зрения комфорта проживания [8, 13].

Изучение динамики погодно-климатической комфортности требуется, главным образом, для своевременной оценки неблагоприятных ситуаций с целью сохранения здоровья и жизни человека путем принятия необходимых предупредительных мер.

1. Методический подход к оценке тенденций дальнего загрязнения атмосферы с учетом климатических изменений

Рассматривается перенос общего содержания невосомой (седиментация отсутствует) примеси q в атмосфере над Северным полушарием Ω со скоростью, характеризующей средний перенос в тропосфере. Обобщение на трехмерный случай осуществляется тривиально.

С достаточной точностью дальний перенос в средней атмосфере описывается двумерным уравнением переноса и диффузии примеси [7]. При этом фоновым загрязнением атмосферы пренебрегается, как не представляющим интереса для решения данной задачи.

На основе тождества Лагранжа исходной задаче ставится в соответствие сопряженная задача [7]. Ее решение есть сопряженная функция q^* , являющаяся весовой функцией, определяющей вклад каждого источника загрязнения I в величину загрязнения атмосферы в экологически значимой зоне (заданном регионе) G . По значениям q^* можно районировать всю территорию страны, выделяя опасные зоны по отношению к загрязнению атмосферы в регионе G . Интегральный по G эффект загрязнения атмосферы за время T будет характеризовать функционал [7]

$$Q = \int_0^T dt \int_{\Omega} I q^* d\Omega. \quad (1)$$

Положим $I = const$ (для удобства записи ниже будем считать $I = 1$), тогда функционал (1) будет характеризовать загрязнение атмосферы только вследствие влияния погодно-климатических процессов, что и требуется для достижения цели работы. В этом случае выражение (1) примет вид

$$Q = \int_0^T dt \int_{\Omega} q^* d\Omega = \int_0^T dt \int_{\psi_{ю}}^{\psi_{с}} \int_{\lambda_{з}}^{\lambda_{в}} q^* d\lambda, \quad (2)$$

где $\lambda_{з}$, $\lambda_{в}$, $\psi_{ю}$, $\psi_{с}$ — соответственно западная и восточная по долготе, южная и северная по широте границы области Ω .

Информация о поле скорости ветра и других метеовеличин задается на основе фактических измерений либо на основе результатов численного моделирования, в том числе с учетом климатических изменений. Тогда анализ изменений во времени поля Q позволяет оценивать тенденции дальнего загрязнения атмосферы заданного региона в условиях изменяющегося климата. Однако непосредственный анализ поля Q неудобен.

Поэтому для объективизации и количественной характеристики динамики загрязнения атмосферы целесообразно ввести индексы, характеризующие количество переносимой примеси в широтном или меридиональном направлениях. В качестве аналога удобно использовать подход А.Л. Каца к введению индексов циркуляции атмосферы [2].

Обозначим координаты центра области G через (λ_0, ψ_0) , при этом $\lambda_3 \leq \lambda_0 \leq \lambda_B, \psi_{ю} \leq \psi_0 \leq \psi_c$, и рассмотрим интегралы (индексы)

$$M_3 = \frac{1}{Q} \int_0^T dt \int_{\psi_{ю}}^{\psi_c} d\psi \left(\int_{\lambda_3}^{\lambda_0} q^* d\lambda - \int_{\lambda_0}^{\lambda_B} q^* d\lambda \right),$$

$$M_M = \frac{1}{Q} \int_0^T dt \int_{\lambda_3}^{\lambda_B} d\lambda \left(\int_{\psi_{ю}}^{\psi_0} q^* d\psi - \int_{\psi_0}^{\psi_c} q^* d\psi \right). \quad (3)$$

Безразмерный индекс M_3 ($-1 \leq M_3 \leq 1$), который целесообразно назвать зональным индексом загрязнения, показывает, в какой мере западно-восточный (при $M_3 > 0$) или восточно-западный (при $M_3 < 0$) перенос примеси влияет на загрязнение экологически значимой зоны G . Аналогично, индекс M_M ($-1 \leq M_M \leq 1$) показывает, в какой мере южный (при $M_M > 0$) или северный (при $M_M < 0$) перенос примеси влияет на загрязнение зоны G . Этот индекс, соответственно, следует называть меридиональным индексом загрязнения. Высокому значению индекса M_3 не обязательно соответствует малый индекс M_M . В определенные периоды и сезоны имеет место усиление или ослабление одновременно обоих индексов.

Наконец, удобно использовать еще один (обобщенный) индекс, количественно характеризующий направление, откуда осуществляется загрязнение региона G

$$M = \arccos \frac{M_3}{\sqrt{M_M^2 + M_3^2}}. \quad (4)$$

Таким образом, суть методического подхода к оценке тенденций дальнего загрязнения атмосферы заключается в следующем:

1) получить поля сопряженной функции q^* для заданных моментов времени и заданной зоны G путем решения сопряженной задачи с фактическими или прогностическими (с учетом климатических изменений) полями метеовеличин;

2) выполнить расчеты с помощью выражения (2);

3) выполнить расчеты с помощью выражений (3) и проанализировать полученные значения индексов M_3 и M_M . Их динамика полностью будет характеризовать тенденции дальнего загрязнения атмосферы над областью Ω при выборе G в качестве экологически заданной зоны. Эти результаты позволят обоснованно судить об уровне экологической безопасности региона G и при необходимости проводить мероприятия по охране атмосферы. Для наглядности удобно пользоваться обобщенным индексом (4).

Подробнее методический подход изложен в [5, 6].

2. Численная модель, реализующая решение сопряженной задачи

Описание некоторых вариантов численной модели, реализующей решение сопряженной задачи в трехмерной постановке, дано в работах [3, 4]. Поэтому ниже отметим только некоторые особенности ее построения.

Областью решения задачи является Северное полушарие. Сеточная область численной модели составляет 90×360 узлов. Шаг сетки модели — 1° . Для численного решения сопряженного уравнения турбулентной диффузии использован метод расщепления [7].

Учет фотохимических процессов, коагуляции, поглощения каплями тумана и осадков, радиоактивного распада осуществляется неявно.

Поля ветра и других метеовеличин при расчетах берутся либо из реанализов, либо из результатов сценарных расчетов изменения климата. Это обеспечивает возможность оценки тенденций дальнего загрязнения атмосферы в условиях изменяющегося климата.

3. Результаты расчетов тенденций дальнего загрязнения атмосферы и их анализ

В настоящее время согласно административному делению в России насчитывается 12 экономических районов, 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-й широты, входящие в Арктическую зону РФ. Сюда вошли территория западнее п-ова Таймыр, п-ов Таймыр и зона восточнее п-ова Таймыр.

В Западно-Сибирском и Восточно-Сибирском районах также выделены зоны между 60-й и 70-й широтами и оставшиеся территории южнее 60-й широты, 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 поля Q с 1980 по 2050 г. с шагом 5 лет. В качестве необходимых полей метеовеличин использовались данные реанализов [10, 11] для периода 1980—2015 гг. и данные расчетов по климатической модели Института вычислительной математики им. Г.И. Марчука РАН для периода 2020—2050 гг. (самый «жесткий» сценарий RCP8.5) [12]. Ввиду большого количества исследуемых зон визуализация полей Q не проводилась.

Для выделенных зон рассчитаны сезонные (январь, апрель, июль, октябрь) и годовые индексы M_3 и $M_{\text{г}}$, а также индексы M .

На рис. 1 представлены карты распределения годового индекса M по территории России в 1980—2050 гг. с интервалом 5 лет.

Минимальная динамика индекса M отмечается в Калининградской области и в южной части Западно-Сибирского района ниже 60-й широты, она свидетельствует соответственно об устойчивом западном и западо-юго-западном переносе. Вариации здесь не превышают 10° .

Небольшие изменения индекса M (от 10° до 30°) прослеживаются в Северо-Западном районе между 3 и ЗЮЗ направлениями; в Волго-Вятском, Уральском и южной части Восточно-Сибирского района ниже 60-й широты между ЗЮЗ и ЮЗ направлениями, а также в северной части Западно-Сибирского и Восточно-Сибирского районов выше 70-й широты в пределах ЮЗ и ЮЮЗ направлений.

Умеренные изменения направления переноса примеси (от 30° до 60°) с 1980 по 2050 г. отмечаются в Центральном районе между 3 и ЮЗ; в Северном районе, а также в центральной части Западно-Сибирского и Восточно-Сибирского районов (между 60-й и 70-й широтами) между ЗЮЗ и ЮЮЗ; в северной (выше 70-й широты) и западных частях Дальневосточного района между ЮЗ и Ю направлениями.

Выраженная динамика индекса M (от 60° до 95°) проявляется в Центрально-Черноземном районе между ЗЮЗ и ЮЮВ направлениями; в Поволжском, Северо-Кавказском районах и восточной части Дальневосточного района между 3 и Ю направлениями.

В юго-восточной части Дальневосточного района отмечаются сильные изменения направления переноса примеси (до 135°) — с западного до юго-восточного. Очевидно, это следствие усиления дальневосточного муссона.

В целом анализ изменений индекса M на протяжении 70 лет свидетельствует о его весьма сложной динамике. В отдельные годы для некоторых территорий наблюдаются существенные вариации направлений (румбов), откуда идет загрязнение рассматриваемых экологически значимых зон, в которых сложно выявить закономерности. Но для ряда регионов можно отметить некоторые тенденции изменения направления, откуда поступают загрязняющие примеси.

Например, в Северо-Западном районе видно, что с 1980 по 2010 г. его загрязнение происходило

с 3—3ЮЗ направлений, а с 2015 по 2050 г. происходит с западного направления, что свидетельствует об усилении западно-восточного переноса примеси в загрязнение атмосферы на данной территории. Тенденцию усиления западно-восточного переноса также можно отметить с 2020—2025 гг. для центральной части Западно-Сибирского и Восточно-Сибирского районов, северной, западной и восточной частей Дальневосточного района, а также для территорий Восточно-Сибирского и Дальневосточного районов выше 70-й широты.

В Центрально-Черноземном, Поволжском районах и юго-восточной части Дальневосточного района, напротив, приблизительно с 2015 г. прослеживается тенденция изменения направления переноса с зонального (3—3ЮЗ) на меридиональный (ЮЮЗ—ЮЮВ). Таким образом, в целом наибольшую опасность в плане дальнего загрязнения атмосферы в ближайшие десятилетия будут представлять источники, расположенные южнее данных регионов.

4. Методы и материалы для исследования погодно-климатической комфортности

Одним из наиболее часто употребляемых индексов для оценки комфортности среды как в масштабах нескольких часов или дней, так и в сезонных, годовых и климатических масштабах является эф-

фективная температура (ET_m). Как мера теплоощущения человека эффективная температура была впервые предложена в работе [9] и рассчитывается следующим образом:

$$ET_m = t - 0,4(t - 10) \left(1 - \frac{f}{100} \right), \quad (5)$$

где t — температура воздуха ($^{\circ}\text{C}$), f — относительная влажность (%).

Этот индекс использован ниже для анализа динамики погодно-климатической комфортности в XXI в.

На основе разработанных в [1] категорий тепловой/холодовой нагрузки в зависимости от значений индекса эффективной температуры предложена классификация степени погодно-климатической комфортности по критериям физиологического воздействия на человека в пяти градациях: комфорт — условный комфорт — условный дискомфорт — дискомфорт — экстремальный дискомфорт (см. табл.).

В качестве необходимых полей метеорологических элементов для расчета степени комфортности и ее изменений по значениям индекса эффективной температуры были использованы те же данные с 1980 по 2050 г., что и для расчетов тенденций дальнего загрязнения атмосферы [10—12].

Расчеты по данным с 1980 по 2015 г. произведены для полноты анализа.

Категории теплоощущения, нагрузки на организм и степень погодно-климатической комфортности в зависимости от значений индекса ET_m

Таблица

ET_m , град.	Теплоощущение	Нагрузка	Степень комфортности
$\geq +30$	Очень жарко	Сильная	Дискомфорт
+24 ... +30	Жарко	Умеренная	Условный дискомфорт
+18 ... +24	Тепло	Комфортно	Комфорт
+12 ... +18	Умеренно тепло	Комфортно	Условный комфорт
+6 ... +12	Прохладно	Комфортно	Условный комфорт
0 ... +6	Умеренно прохладно	Комфортно	Условный комфорт
-12 ... 0	Холодно	Умеренная	Условный дискомфорт
-24 ... -12	Очень холодно	Сильная	Дискомфорт
-30 ... -24	Крайне холодно	Очень сильная	Экстремальный дискомфорт
≥ -30	Крайне холодно	Чрезвычайно высокая угроза обмороживания	Экстремальный дискомфорт

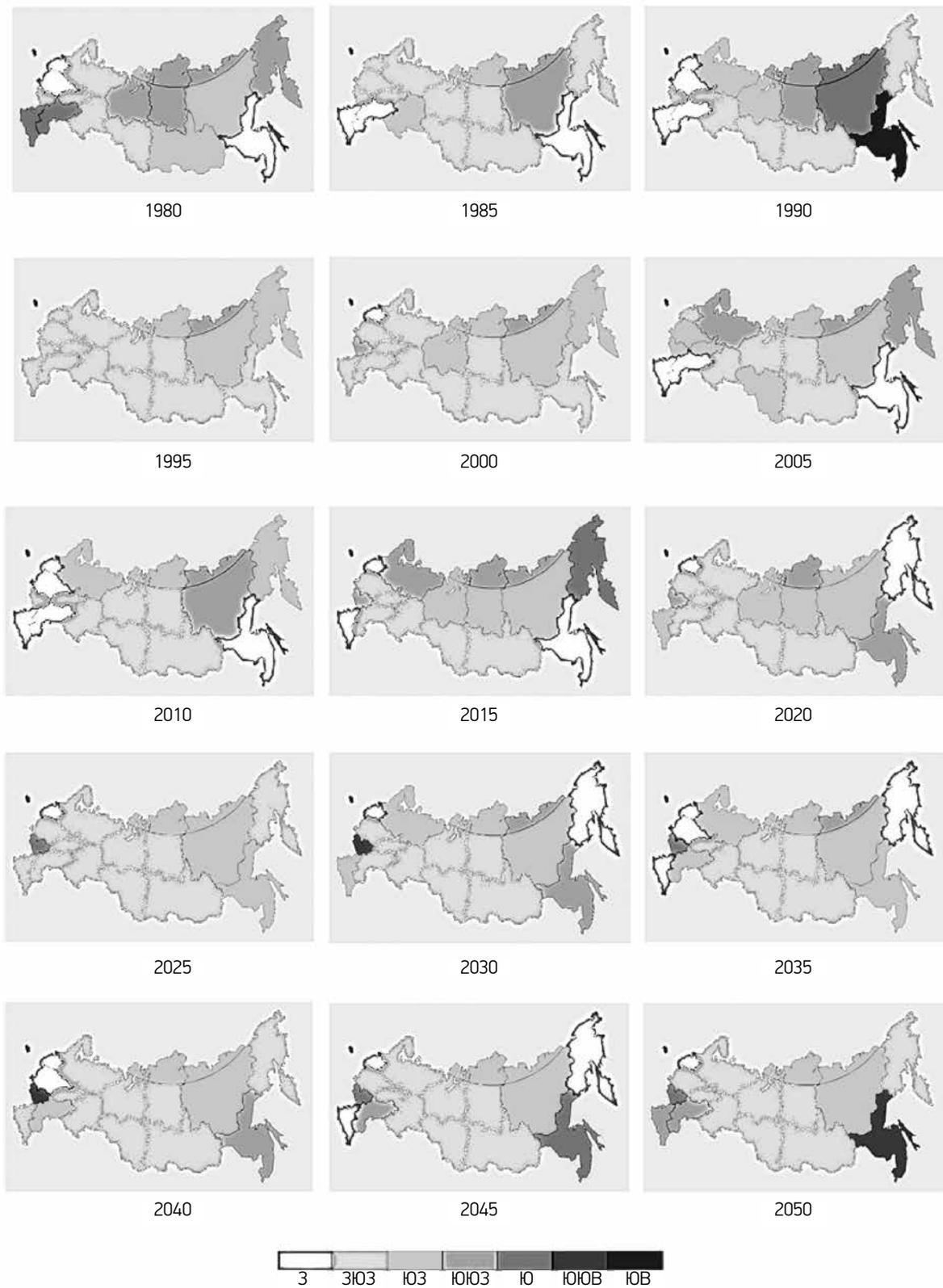


Рис. 1. Динамика распределения индекса М по территории Российской Федерации в 1980—2050 гг.

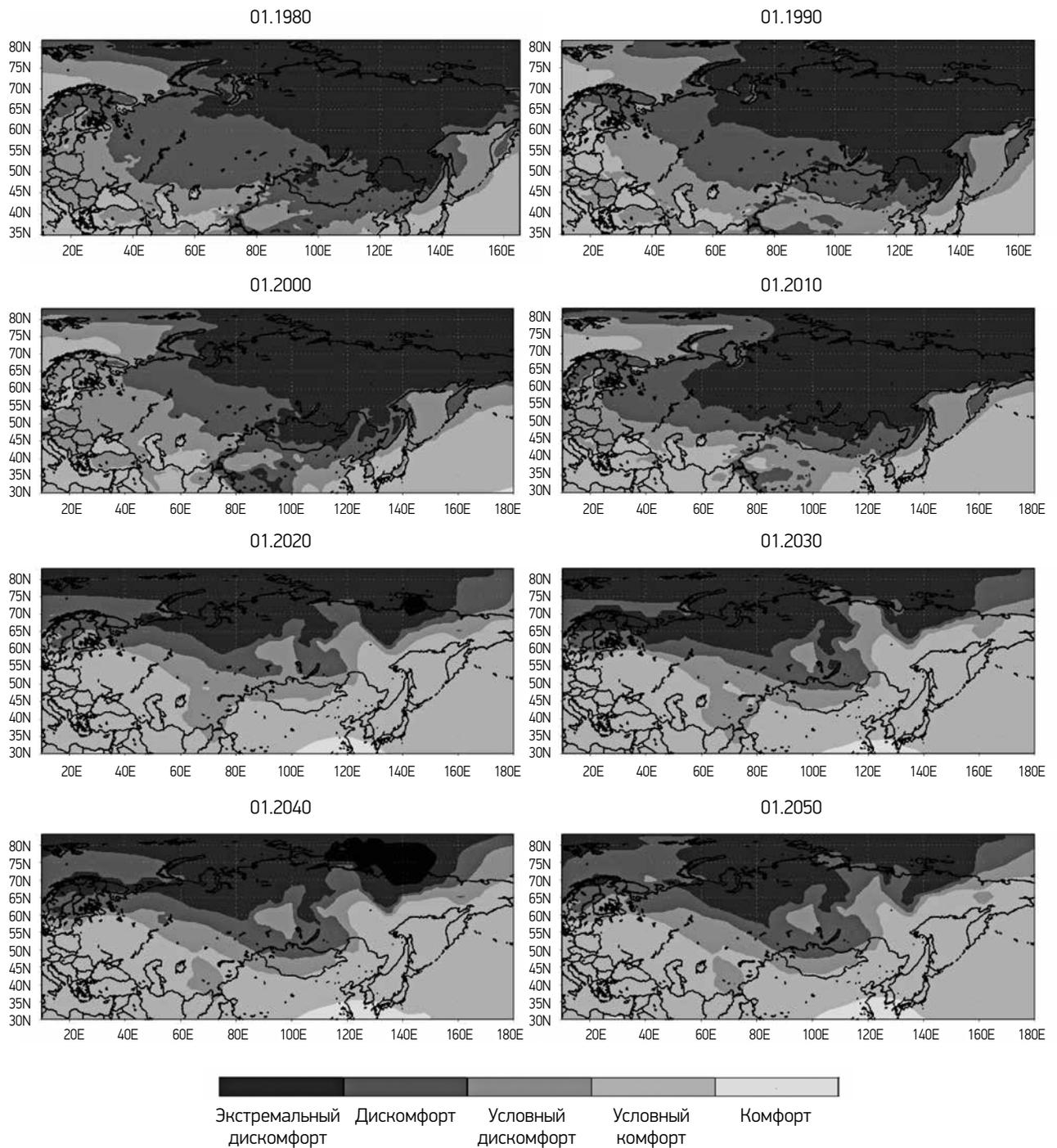


Рис. 2. Степень погодно-климатической комфортности в январе с 1980 по 2050 г.

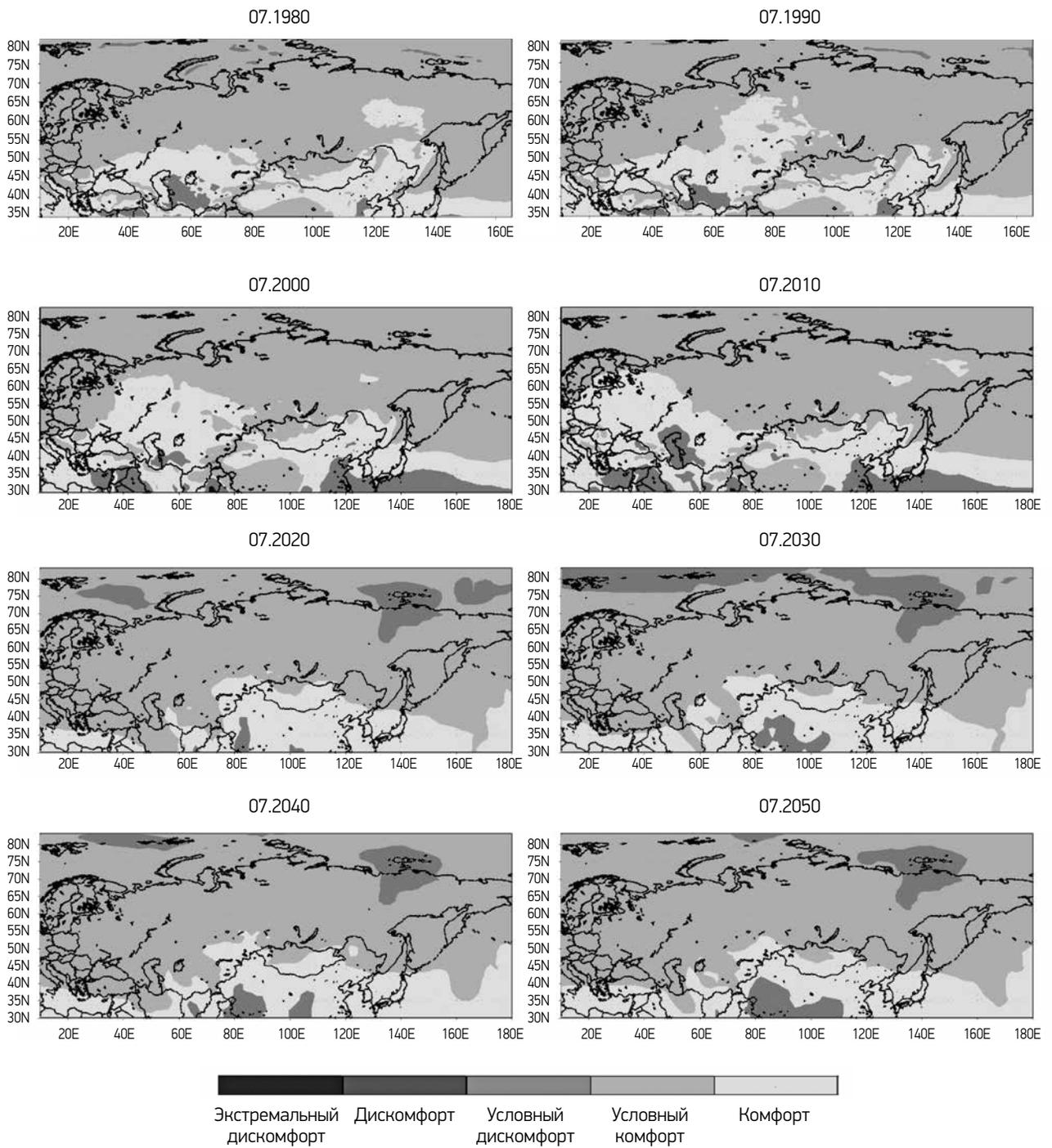


Рис. 3. Степень погодно-климатической комфортности в июле с 1980 по 2050 г.

5. Результаты исследования погоднo-климатической комфортности и их обсуждение

Результаты расчетов с 1980 по 2050 г. показаны на рисунках, где приведены градации погоднo-климатической комфортности по значениям индекса эффективной температуры с 1980 по 2050 г. в январе (рис. 2) и в июле (рис. 3) с шагом 10 лет для территории России в градациях от «комфорта» до «экстремального дискомфорта».

Анализ динамики значений ET_m на территории России выявил довольно значительные изменения в степени погоднo-климатической комфортности.

В целом в январе (рис. 2) наблюдается тенденция к изменению степени комфортности в сторону комфорта. Особенно это видно на примере центральных районов европейской территории России, Южного Урала и южных областей Сибири, где с 1980 по 2050 г. степень комфортности в зимнее время повышается от дискомфорта до условно дискомфорта, а местами и до условного комфорта.

В июле (рис. 3) на европейской части России, если с 1980 по 2010 г. наблюдалось улучшение комфортности, то в последующий период до 2050 г. комфорт сменяется на условный комфорт. Менее комфортными становятся условия на Дальнем Востоке и в Сибири, а на территории Саха (Якутии) — дискомфортными.

Заключение

1. В результате выполненных исследований сформулирован методический подход к оценке тенденций дальнего загрязнения атмосферы для заданных экологически значимых зон с учетом прогнозируемых климатических изменений.

Введены индексы загрязнения, характеризующие количество переносимой примеси в широтном и меридиональном направлениях, и выполнены расчеты для января, апреля, июля, октября и года за период времени 1980—2050 гг.

Полученные результаты расчетов указывают в целом на вполне определенные тенденции дальнего загрязнения атмосферы: на некоторое усиление в 2015—2050 гг. по сравнению с периодом 1980—2015 гг. вклада западно-восточного переноса примеси в загрязнение атмосферы над

северо-западной частью ЕТР, центром Западной и Восточной Сибири, большей частью территории Дальнего Востока и Арктической зоной РФ выше 70° с.ш. и вклада южного переноса примеси в загрязнение атмосферы над центром и южной частью ЕТР и юго-восточными территориями Дальнего Востока.

2. Территория России по погоднo-климатической комфортности характеризуется значительной неоднородностью, благоприятные условия наблюдаются лишь на ограниченной территории. Это обусловлено в большой степени значительными изменениями температуры воздуха, которая является определяющим параметром в расчете примененного биометеорологического индекса.

Полученные с использованием данных по сценарию RCP8.5 результаты позволяют предположить, что в районах с резко континентальным климатом ожидаются повышение комфортности в зимнее время и снижение в летнее. При этом также наблюдается тенденция к сглаживанию и практически полному отсутствию сезонного хода комфортности. В регионах с умеренно континентальным климатом наблюдаются тенденция к повышению комфортности зимой, понижению в переходные сезоны и практически отсутствие изменений в летнее время. В районах с морским типом климата ожидается снижение комфортности в зимнее время, а также осенью и весной. Эти особенности могут быть связаны с изменением влажностного режима, поскольку именно увеличение влажности воздуха в холодное время года способствует снижению комфортности по рассчитанным значениям индекса эффективной температуры.

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

Азии. Результаты важны для территориального планирования развития МЧС России, планирования готовности к новым угрозам.

Разработаны предложения о необходимости учета этих обстоятельств при планировании пространственного развития страны в проекте Стратегии пространственного развития Российской Федерации на расширенном заседании Секции по проблемам стратегического планирования Научного совета при Совете Безопасности Российской Федерации 2 июля 2018 г.

Литература [References]

- Исаев А.А. Экологическая климатология. М.: Научный мир. 2001. 456 с. [Isaev A.A. Ecological Climatology. M.: Nauchniy mir. 2003. P. 456.]
- Кац А.Л. Сезонные изменения общей циркуляции атмосферы и долгосрочные прогнозы. Л.: ГИМИЗ. 1960. 270 с. [Katz A.L. Seasonal changes in general atmospheric circulation and long-term forecasts. Leningrad: GIMIZ. 1960. P. 270.]
- Макоско А.А., Матешева А.В. Долгосрочный прогноз риска для здоровья вследствие техногенного и биогенного загрязнения атмосферы в условиях изменяющегося климата // Здоровье населения России: влияние окружающей среды в условиях изменяющегося климата / Под общей ред. А.И. Григорьева; РАН. М.: Наука. 2014. С. 251—267. [Makosko A.A., Matesheva A.V. Health of the Russian population: the impact of the environment in a changing climate / Ed A.I. Grigoriev. M.: Nauka. 2014. P. 251—267.]
- Макоско А.А., Матешева А.В. Опыт идентификации источников химического загрязнения атмосферы в Московском регионе // Рос. хим. ж. 2016. Т. LX. №3. С. 113—120 (ISSN 1024-6215). [Experience in identifying the sources of chemical pollution of the atmosphere in the Moscow region // Russian Chem. J. 2016. T. LX. №3. P. 113—120.]
- Макоско А.А., Матешева А.В. Оценки тенденций дальнего загрязнения атмосферы регионов Российской Арктики в XXI веке // Арктика: экология и экономика. 2017. №4 (28). С. 59—71. [Makosko A.A., Matesheva A.V. Evaluations of the frequency pollution trends of the atmosphere of the regions of the Russian Arctic in the 21st century // Arctic: Ecology and Economy. 2017. № 4. P. 59—71.]
- Макоско А.А., Матешева А.В. Методика индексирования динамики загрязнения атмосферы для оценки экологической безопасности при стратегическом планировании развития регионов // Инновации. 2017. №10. С. 76—80. [Makosko A.A., Matesheva A.V. Methodology of indexing the dynamics of atmospheric pollution for estimation of environmental safety in strategic planning of regional development // Innovations. 2017. № 10. P. 76—80.]
- Марчук Г.И. Математическое моделирование в проблеме окружающей среды. М.: Наука. 1982. 320 с. [Marchuk G.I. Mathematical modeling in the environmental problem // M.: Nauka. 1982. P. 320.]
- De Freitas C. Tourism climatology: evaluating environmental information for decision making and business planning in the recreation and tourism sector. Int J. Biometeorol, 2003 (48). P. 45—54.
- Missenard A. L'Homme et le climat / Paris. 1937. P. 186.
- 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 Lab. URL: <https://doi.org/10.5065/D6M043C6>.
- Saha S. 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 Lab. URL: <https://doi.org/10.5065/D6513W89>.
- Volodin E., Diansky N. INMCM4 model output prepared for CMIP5 RCP8.5, served by ESGF / World Data Center for Climate (WDCC) at DKRZ. [S. l.], 2013. URL: <https://doi.org/10.1594/WDCC/CMIP5.INC4r8>.
- World Health Organisation (WHO) (2011) Regional consultation on health of the urban, Proceedings of the 2010 Regional consultation of Mumbai, India, Regional Office for South East Asia, UNFPA. P. 82.

Сведения об авторах

Макоско Александр Аркадьевич: доктор технических наук, профессор, член-корреспондент РАН, заместитель главного ученого секретаря президиума Российской академии наук (РАН)

Количество публикаций: более 300

Область научных интересов: динамическая метеорология, диагноз климата, атмосферные примеси, экологическая безопасность, гравитационное поле Земли, геомедицина

Контактная информация:

Адрес: 119991, г. Москва, Ленинский проспект, д. 14

Тел.: +7 (499) 237-27-21, (499) 237-69-10

E-mail: aam@pran.ru

Матешева Анна Владимировна: кандидат технических наук, старший научный сотрудник Института физики атмосферы им. А.М. Обухова РАН

Количество публикаций: 50

Область научных интересов: экологическая безопасность, атмосферные примеси, геомедицина, охрана труда

Контактная информация:

Адрес: 119017, г. Москва, Пыжевский пер., д. 3

Тел.: +7 (495) 951-13-47

E-mail: matesheva@rambler.ru

Емелина Светлана Валерьевна: младший научный сотрудник Гидрометцентра России

Количество публикаций: более 20

Область научных интересов: атмосферные примеси, экологическая безопасность, биометеорологические индексы

Контактная информация:

Адрес: 123242, г. Москва, Большой Предтеченский пер., д. 11—13

Тел.: +7 (499) 755-21-39

E-mail: tkachukzn@gmail.com