

случаев не учитывают вопросы рационального природопользования и охраны недр и не обеспечивают потребности планирования комплексного использования минеральных ресурсов, сокращение потерь и отходов; уменьшение вредного влияния работ, связанных с использованием недрами, не отражают техногенных изменений окружающей среды и не обеспечивают планирование и проведение мероприятий по рекультивации нарушенных земель.

Создание природоохранных карт является необходимым и обязательным условием разработки мероприятий по улучшению экологического состояния и устойчивого развития территорий.

Источники и литература

1. Николаев В.А., Горбунов В.И., Синельников Д.А. и др. Природоохранное картографирование и его теоретические основы. / В кн. Географические проблемы при перераспределении водных ресурсов Сибири. – Новосибирск: «Наука», 1982.
2. Боков В.А.. Экологическое картографирование. – Симферополь, 2006.

Холопцев А.В., Никифорова М.П.

УДК 551.582

ОЦЕНКА ТОЧНОСТИ МОДЕЛИРОВАНИЯ И ПРОГНОЗИРОВАНИЯ МЕЖГОДОВЫХ ИЗМЕНЕНИЙ СРЕДНЕГОДОВЫХ ЗНАЧЕНИЙ ОБЩЕГО СОДЕРЖАНИЯ ОЗОНА НАД ЦЕНТРАЛЬНОЙ ЕВРОПОЙ С УЧЕТОМ ИХ НЕСТАЦИОНАРНОСТИ И МНОГОМОДОВОСТИ

Изменения среднегодовых значений общего содержания озона (ОСО) над различными регионами планеты являются одним из основных факторов динамики потоков, поступающей в них за год ультрафиолетовой радиации, существенно влияющей на здоровье населения, а также развитие прочих компонентов их биоценозов. Поэтому совершенствование методов моделирования и прогнозирования этих процессов над наиболее населенными регионами планеты является актуальной проблемой физической географии и экологии.

Согласно современным представлениям об особенностях межгодовых изменений ОСО над многими регионами планеты [1-3], тенденции этих процессов во второй половине XX века существенно изменялись. До середины 90-х годов преобладали тенденции к уменьшению ОСО, которые в последующий период сменились тенденциями к их росту. Это свидетельствует о том, что рассматриваемый процесс является нестационарным.

Методика моделирования межгодовых изменений ОСО, учитывающая нестационарность этого процесса, изложена в [4]. Такой процесс предполагается описывать математической моделью:

$$K(t) = \sum_{k=1}^N A_k(t) \sin[\omega_k(t) + \varphi_k] \quad (1)$$

где $A_k(t)$ – амплитуда k -моды изучаемого процесса ($k = 0, 1, 2, \dots$);

$\omega_k(t)$ – текущая фаза, соответствующая этой моде;

φ_k – начальная фаза k -моды, неизвестная действительная константа.

$$A_k(t) = a_{k_0} (1 + a_{k_1} t + a_{k_2} t^2); \quad (2)$$

$$\omega_k(t) = \omega_{k_0} (1 + \omega_{k_1}) t, \quad (3)$$

где $\omega_{k_0}, \omega_{k_1}, a_{k_0}, a_{k_1}, a_{k_2}, N$ – действительные константы, определяемые с использованием предложенной численной процедуры по имеющемуся временному ряду наблюдений за изучаемым процессом (N – целое, положительное число; $\omega_{k_0} > 0, a_{k_0} > 0$).

При этом абсолютные погрешности моделирования рассматриваемого процесса, обеспечиваемые этой методикой, а также возможности ее применения при его прогнозировании рассмотрены не были. Это существенно ограничивает возможности ее применения в задачах мониторинга ОСО над различными регионами планеты, а также повышения экологической безопасности их населения.

Одним из регионов планеты, для которых совершенствование технологий, используемых при решении этих задач наиболее актуально, является Центральная Европа, характеризующаяся высокой плотностью своего населения, а также достаточно высоким уровнем развития культуры и экономики. Поэтому межгодовые изменения ОСО над этим регионом и были выбраны в качестве объекта данного исследования. Его предметом являлись абсолютные погрешности моделирования и прогнозирования указанного процесса, обеспечиваемые упомянутой методикой. Целью данной работы является оценка их значений над Центральной Европой с использованием результатов наблюдения за межгодовыми изменениями ОСО над этим регионом во второй половине XX века.

**ОЦЕНКА ТОЧНОСТИ МОДЕЛИРОВАНИЯ И ПРОГНОЗИРОВАНИЯ МЕЖГОДОВЫХ ИЗМЕНЕНИЙ
СРЕДНЕГОДОВЫХ ЗНАЧЕНИЙ ОБЩЕГО СОДЕРЖАНИЯ ОЗОНА НАД ЦЕНТРАЛЬНОЙ ЕВРОПОЙ
С УЧЕТОМ ИХ НЕСТАЦИОНАРНОСТИ И МНОГОМОДОВОСТИ**

Методика и фактический материал

Для достижения данной цели наблюдения за межгодовыми изменениями ОСО рассматривались как случайный процесс $x(t)$, представляющий собой аддитивную смесь истинных изменений ОСО $X(t)$ и белого, гауссового шума измерений $z(t)$, характеризующегося нулевым средним и среднеквадратическим отклонением S .

Любая математическая модель такого процесса, верифицированная по результатам его наблюдения, представленных временным рядом ограниченной длины, не может учесть всех его особенностей. Поэтому результаты его моделирования – $y(t)$ отличаются от $X(t)$ на величину $Z(t)$, которая также является случайным процессом. По той же причине результаты прогнозирования рассматриваемого процесса с упреждением на k -лет – $p(k,t)$, отличаются от соответствующих значений X на случайную величину $Zp(k,t)$, свойства которой в общем случае могут зависеть от k .

Предполагается, что процессы $Z(t)$ и $Zp(k, t)$ являются нормальными, а также характеризуются некоторыми средними значениями mz , $mzp(k)$ и среднеквадратическими отклонениями Sz , $Szp(k)$.

Абсолютные погрешности моделирования и прогнозирования рассматриваемого процесса при доверительной вероятности 95% соответствуют значениям Sz и $Szp(k,t)$ [5]. Для достижения цели, поставленной в данной работе, значения указанных параметров оценивались для одного из пунктов Центральной Европы, где временной ряд наблюдений за межгодовыми изменениями ОСО обладает наибольшей длиной.

В качестве подобного пункта был выбран г. Ароза, Швейцария (Arosa, Switzerland, 46.8N-9.68E), для которого имеется наиболее длинный известный в мире ряд общего содержания озона над этим пунктом. Такие измерения начались в 1926 г. Ф.В.П. Гетцем (F.W.P. Götz), а затем продолжались Г. Перлом (G. Perl) и Х.У. Датчем (H. U. Dütsch). Исследования проводятся при помощи четырех наземных инструментов, которые регулярно сравниваются с международными стандартами для подтверждения достоверности данных (Institute for atmospheric and climate science: Total ozone series in Arosa, Switzerland, <http://www.iac.ethz.ch/en/research/chemie/tpeter/totozon.html>).

При оценке значений Sz и $Szp(k)$ применялась следующая методика.

Из общего ряда наблюдений $x(t)$ формировались все возможные его фрагменты длиной 32 года, отличающиеся годом своего начала. По каждому фрагменту с помощью методики [4], верифицировались соот-

ветствующие параметры $\omega_{k_0}, \omega_{k_1}, a_{k_0}, a_{k_1}, a_{k_2}, N$ модели (1-3) и рассчитывались значения $Z(t)$ и $Zp(k,t)$. Для этого члены ряда $x(t)$, образующие рассматриваемый его фрагмент, вычитались из соответствующих результатов их моделирования и прогнозирования с тем или иным упреждением.

Нетрудно видеть, что по фрагменту, начало которого совпадает с началом ряда может быть оценено значение $Zp(k)$ с упреждением $k < M-31$, где M – число членов ряда. По фрагменту, начало которого отстает от начала ряда на m лет может быть оценено значение $Zp(k)$ с упреждением $k < M-31-m$. Поэтому для каждого i рассматривавшегося фрагмента вышеописанная процедура позволяет получить временной ряд $Z_i(t)$, содержащий 32 члена, по которому могут быть рассчитаны соответствующие mz_i и Sz_i .

Абсолютная и систематическая погрешность моделирования рассчитывались соответственно как:

$$Sz = \frac{1}{M-32} \sum_{i=1}^{M-32} Sz_i \quad (4)$$

$$mz = \frac{1}{M-32} \sum_{i=1}^{M-32} mz_i \quad (5)$$

Получаемое при использовании рассмотренной процедуры количество значений ошибок прогноза с упреждением на m -лет определяется как $M-32-m$. Поэтому абсолютная и систематическая погрешность прогнозирования с тем или иным упреждением соответственно рассчитывалась как:

$$Szp(k) = \frac{1}{M-32} \sum_{i=1}^{M-32-k} Zp(k) \quad (6)$$

$$mzp(k) = \frac{1}{M-32} \sum_{i=1}^{M-32-k} mz_i \quad (7)$$

Учитывая значение M для пункта Ароза, а также уменьшение точности оценки среднего по ограниченной выборке при сокращении ее длины [6], было признано целесообразным оценивать $Szp(k)$ и $mzp(k)$ при упреждениях прогноза от 1 до 13 лет.

Результаты и их анализ

Расчет с использованием рассмотренной методики среднеквадратического отклонения результатов моделирования ОСО над п. Ароза, показал, что его значение составляет $Sz = 5,4645$ DU.

Анализ исходного временного ряда показал, что среднеквадратическое отклонение межгодовых изменений ОСО в рассматриваемом пункте, определяемых, как $x(t)-x(t-1)$, составляет 16,1805 DU. При этом зависимость Sz_i от номера фрагмента i , по которому оно оценивалось, приведена на рисунке 1.

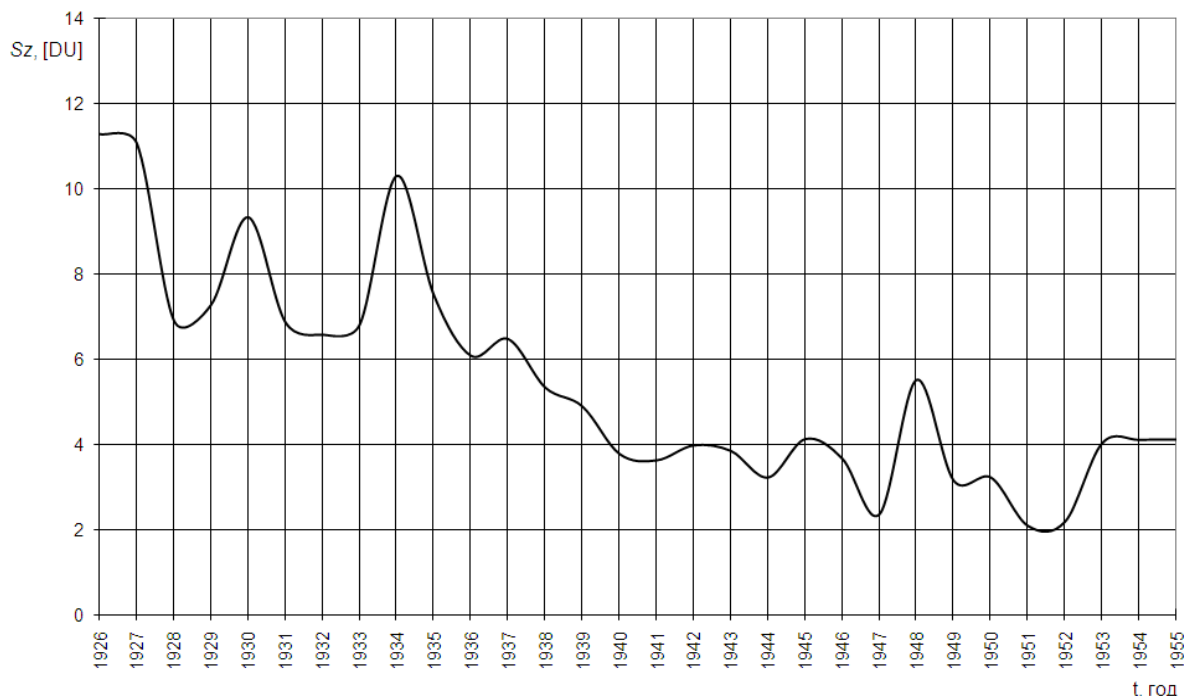


Рис.1 Зависимость среднеквадратического отклонения результатов моделирования ОСО над п. Ароза согласно (1), (2) от номера фрагмента по которому осуществлялась верификация

Как следует из рассмотренной выше методики, год начала первого фрагмента соответствует году начала всего ряда (1926), а год завершения последнего фрагмента – году окончания ряда (2005). Из рисунка 1 нетрудно видеть, что статистические свойства моделируемого процесса с течением времени изменялись так, что точность моделирования возрастала, а значение Sz стремилось к 4,12 DU.

Учитывая это точность моделирования данного процесса с использованием модели (1), (2) может быть признана удовлетворительной.

Зависимость от величины упреждения систематической ошибки прогнозирования межгодовых изменений ОСО в п. Ароза, оцененной в соответствии с изложенной методикой, представлена на рисунке 2.

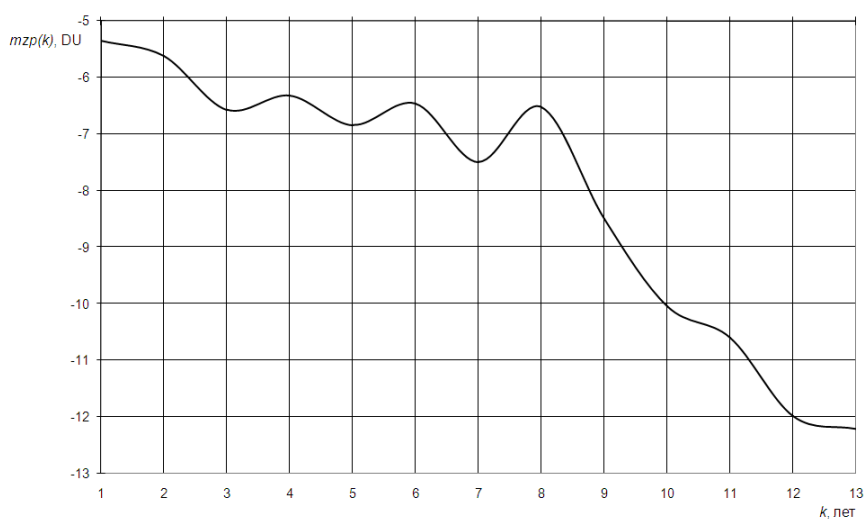


Рис.2. Зависимость от упреждения прогноза k ОСО в п. Ароза величины его систематической ошибки $mzp(k)$

**ОЦЕНКА ТОЧНОСТИ МОДЕЛИРОВАНИЯ И ПРОГНОЗИРОВАНИЯ МЕЖГОДОВЫХ ИЗМЕНЕНИЙ
СРЕДНЕГОДОВЫХ ЗНАЧЕНИЙ ОБЩЕГО СОДЕРЖАНИЯ ОЗОНА НАД ЦЕНТРАЛЬНОЙ ЕВРОПОЙ
С УЧЕТОМ ИХ НЕСТАЦИОНАРНОСТИ И МНОГОМОДОВОСТИ**

Как видим из рисунка 2, прогнозирование межгодовых изменений ОСО по модели (1), (2) при любом упреждении дает результаты, несколько заниженные по сравнению с фактическими значениями этой величины.

На рисунке 3 приведена зависимость от упреждения прогноза ОСО в п. Ароза величины его среднеквадратического отклонения, оцененного в соответствии с рассмотренной методикой.

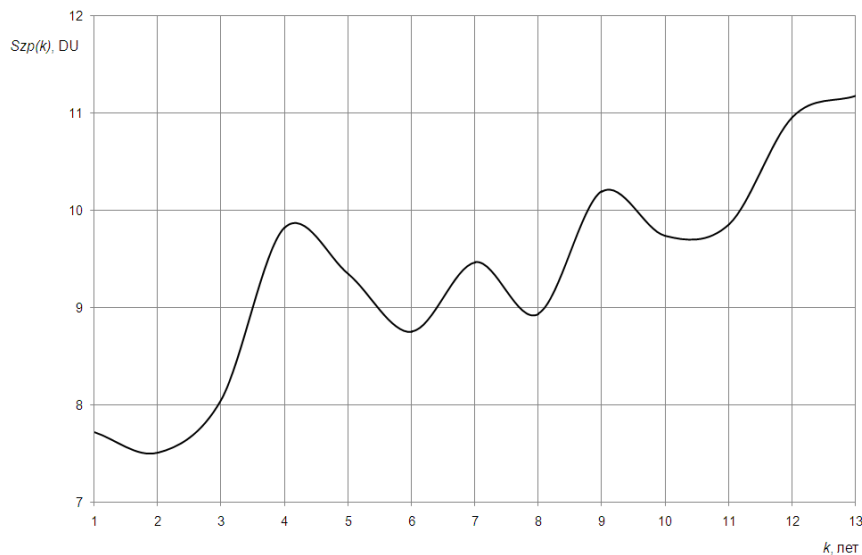


Рис.3. Зависимость от упреждения прогноза k ОСО в п. Ароза величины его систематической ошибки $Szp(k)$

Как видим из рисунка 3, значения Szp , характеризующие точность прогнозов, при упреждениях от 1 до 3 лет не превосходят 0,5 среднеквадратического отклонения межгодовых изменений ОСО в рассматриваемом пункте, $(x(t)-x(t-1))$, составляющего 16,1805, а при упреждениях, не превышающих 13 лет, они меньше указанного значения. Это свидетельствует о пригодности модели (1), (2) не только для моделирования межгодовых изменений ОСО в п. Ароза, но и для их прогнозирования.

Учитывая это, была верифицирована модель рассматриваемого процесса, параметры которой приведены в таблице 1.

Таблица 1. Верифицированные параметры модели межгодовых изменений ОСО над п. Ароза

Номер моды	$T = \frac{6,283}{\omega_{k_0}}$ (год)	ω_{k_1}	a_{k_1}	a_{k_2}	φ_k (радиан)	a_{k_0} , (DU)
1	10	-0,0125	-4,40E-18	-8,63E-20	5,9565	12,4749
2	3	0,02346	-2,14E-17	-4,19E-19	3,7071	26,8063
3	4	0,0071	9,29E-16	-9,11E-18	0,3770	25,9196
4	7	-0,0172	-1,08E-17	-2,12E-19	0,3204	19,6699

С использованием упомянутой модели было осуществлено прогнозирование рассматриваемого процесса на период с 2006 по 2018 годы. Полученный результат приведен на рисунке 4.

Как видим из рисунка 4, между результатами моделирования рассматриваемого процесса и результатами наблюдений за его динамикой имеется удовлетворительное соответствие. Из рисунка 4 следует, что в период до 2011 г. над рассматриваемым пунктом значение ОСО снизится по сравнению со значением в 2005 году на 4 DU. Сопоставляя это значение с соответствующим значением Szp (рисунок 3), равным 8,7544, нетрудно воспользовавшись соответствующим законом нормального распределения установить, что вероятность снижения ОСО над п. Ароза составляет 0,676. Учитывая это, вероятность существенных изменений ОСО над рассматриваемым пунктом в ближайшие годы не велика.

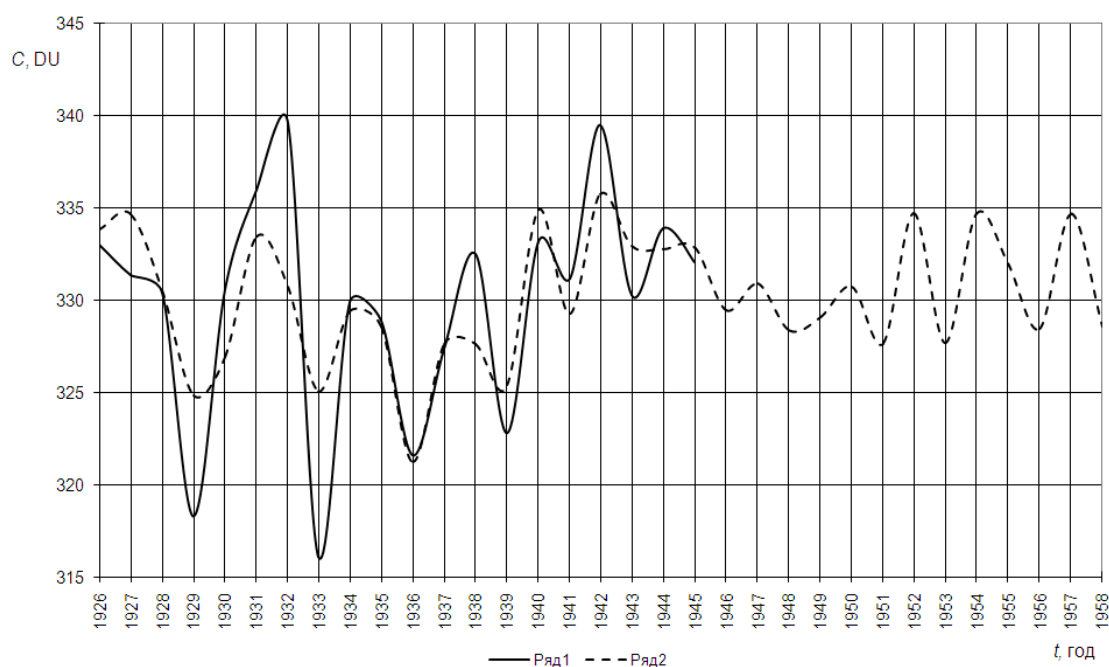


Рис. 4. Межгодовые изменений ОСО над п. Ароза в период с 1926 по 2005 г. (ряд 1) и результат их моделирования и прогнозирования в соответствии с моделью (1), (2) в период с 1986 по 2018 гг. (ряд 2)

Выводы

Таким образом, установлено, что модель (1), (2), идентифицированная с использованием методики [4], удовлетворительно описывает межгодовые изменения ОСО над п. Ароза в период с 1926 по 2005 г. и может быть использована для их прогнозирования на ближайшие годы. Полученный результат позволяет предполагать применимость упомянутой модели при моделировании и прогнозировании межгодовых изменений ОСО и над другими пунктами Центральной Европы. Предложенная методика может быть использована при оценке систематических и абсолютных погрешностей моделирования прогнозирования рассматриваемого процесса и над другими регионами мира.

Источники и литература

1. Александров Э.Л. Озонный щит Земли и его изменения / Э.Л.Александров, Ю.А.Израэль, И.Л.Кароль, А.Х.Хргиан. – СПб.: Гидрометеоздат, 1992. – 288 с.
2. Холопцев А.В. О связи изменений значений аномалии средней температуры поверхности северного полушария Земли с изменениями среднемесячных значений общего содержания озона в атмосфере над его умеренными широтами, проявляющиеся в интервале климатической изменчивости / А.В.Холопцев // Культура народов Причерноморья. – 2006. – № 74. – С.128 – 132.
3. Холопцев А.В. О тенденциях изменения распределения общего содержания озона в атмосфере над территорией Украины в период с 1979 по 2006 г. / А.В.Холопцев, А.Н.Одинцов // Вісник Одеського національного університету. – 2008. – Т. 13. – Вып. 6. – С.238 – 247.
4. Холопцев А. В. Особенности энергетических спектров межгодовой изменчивости общего содержания озона над территорией Украины в период с 1979 по 2006 г./ А. В.Холопцев, М.П.Никифорова // Причорноморський екологічний бюлетень. – 2009. – №1(31). – С.186-197.
5. Основы научных исследований/ Под ред. В.И.Крутова, В.В.Попова.– М.: Высшая школа, 1989. – 400 с.
6. Крамер Г. Математические методы статистики / Г.Крамер. – М.: ИЛ, 1948. – 480 с.