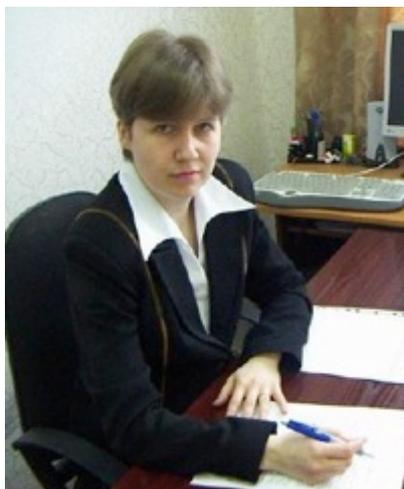


УДК 519.233.5

## Моделирование изменения климатических показателей Арктических регионов (на примере г. Архангельска)

### Modeling changes in climate indices of Arctic Regions (by the example of Arkhangelsk)



© **Зеленина** Лариса Ивановна, к.т.н, доцент кафедры Прикладной математики и высокопроизводительных вычислений Института математики, информационных и космических технологий Северного (Арктического) федерального университета им. М.В. Ломоносова, г. Архангельск. E-mail: l.zelenina@narfu.ru

© **Zelenina** Larisa Ivanovna, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor at the Chair of Applied Mathematics and Highly Productive Calculations of the Institute of Mathematics, Information and Space Technologies of the Northern (Arctic) Federal University named after M.V. Lomonosov, Arkhangelsk. E-mail: l.zelenina@narfu.ru



© **Федькушова** Светлана Ивановна, преподаватель информационных технологий Архангельского торгово-экономического колледжа. E-mail: sif-7@yandex.ru

© **Fedkushova** Svetlana Ivanovna, lecturer of information technologies at Arkhangelsk Trade and Economic College. E-mail: sif-7@yandex.ru

**Аннотация.** Проведён анализ изменения климатических показателей на примере г. Архангельска.

**Ключевые слова:** климатическая модель, климатический сценарий, прогноз климата, компьютерная модель, трендовая модель, адекватность модели, региональные климатические модели

**Abstract.** Changes in climate indices by the example of Arkhangelsk have been analyzed.

**Keywords:** climate model, climate scenario, climate forecast, computer model, trend model, the adequacy of the model, regional climate models

#### Введение

В результате изучения материалов метеорологических наблюдений, выполняемых во всех районах земного шара, установлено, что климат не является постоянным, а подвержен определённым изменениям. По оценкам разных авторов, основанным на данных наблюдений, с начала XX столетия увеличение средней годовой температуры воздуха в приповерхностном слое атмосферы в целом по территории России составило от 0,9°C до 1,1°C [1, с. 10].

### Климатические показатели региона

Для проверки данного факта для арктических регионов были собраны и проанализированы данные об изменении средней годовой температуры, базой исследования был выбран город Архангельск. В основу исследования положены архивные данные с сайтов Росгидромет и Метеоцентр<sup>3 4</sup>. Для сравнения были взяты данные по климату 2002 и 2013 г.

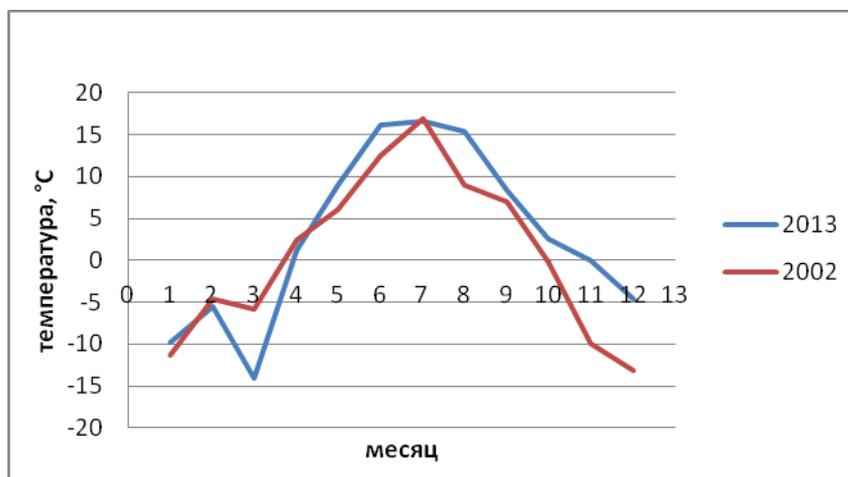


Рисунок 1. График хода среднемесячных температур г. Архангельск

Изменение средней месячной температуры приведено ниже (Таблица 1).

Таблица 1

### Изменение среднемесячных температур в городе Архангельск

год	месяц											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
2002	-11,4	-4,6	-5,8	2,4	6,0	12,5	16,9	8,9	7,0	-0,2	-10,0	-13,2
2013	-9,7	-5,5	-14,0	1,2	8,9	16,2	16,6	15,3	8,4	2,5	0,0	-4,6
Δ	1,6	-0,9	-8,2	-1,2	2,9	3,7	-0,2	6,4	1,3	2,7	10,0	8,6

По данным значениям температуры можно сделать вывод о потеплении климата, поскольку произошло повышение среднегодовой температуры почти на 2,2°C. Анализ графиков хода температур для города Архангельска позволяет сделать вывод о повышении среднемесячных температур от 1,3°C до 10°C. Причём, максимальное изменение показателей температуры наблюдается в декабре.

На основании анализа хода среднемесячной температуры было проведено помесечное ранжирование годов по температурным условиям. Температурными лидерами явились года преимущественно после 2005 г. В десятку самых тёплых вошли года из всего срока наблюде-

<sup>3</sup> Погода в России и мире // Метеоцентр: [сайт]. [2013]. URL: <http://meteocenter.net/> (дата обращения: 14.01.2014).

<sup>4</sup> ФГБУ Гидрометцентр России // Гидрометцентр России. О погоде из первых рук: [сайт]. [2013]. URL: <http://meteoinfo.ru/> (дата обращения: 14.01.2014).

ния. В 2010 г. наблюдалось наибольшее количество температурных максимумов: в апреле, мае, июле, декабре. Самыми холодными были определены года преимущественно до 2006 г., однако февраль 2011 г. как самый холодный февраль занимает 1 место.

На климат немалое влияние оказывает изменение влажности. Ниже представлены фактические значения средней относительной влажности для города Архангельск за 2002 и 2013 гг. Наибольшая относительная влажность воздуха наблюдается в зимний период и поздней осенью (81-92%), наименьшая в апреле — июне (63-69%).

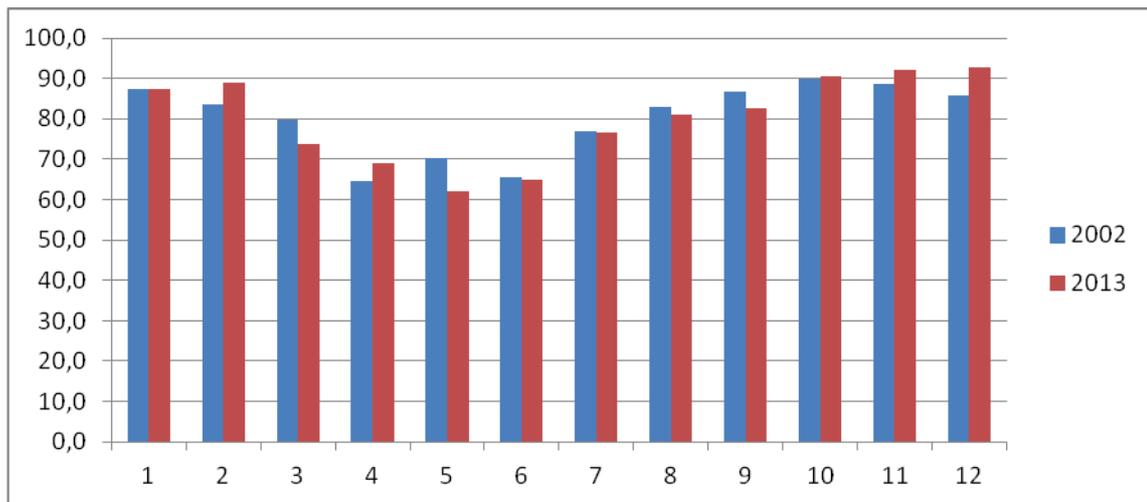


Рисунок 2. Изменение относительной влажности воздуха, город Архангельск

При этом помесечный анализ данных показал, что наименьшая влажность воздуха наблюдалась в мае 2013 г. (62 %), самая высокая (93 %) — в ноябре 2003 г.

Ранжирование среднемесячной влажности определило, что годов с влажностью выше нормы значительное количество: 10 лет по январю и октябрю. С количеством влажности меньше нормы 8 лет по февралю и 7 за март, апрель и декабрь.

Также было исследовано изменение содержания кислорода в воздухе (среднее за год).

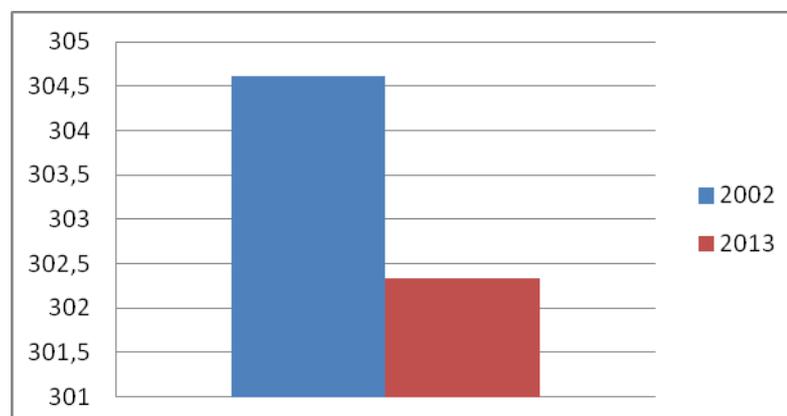


Рисунок 3. Содержание  $O_2$  в воздухе, г. Архангельск

По данным значениям можно сделать вывод о снижении содержания кислорода в воздухе почти на 0,7%. Таким образом, на территории города Архангельск наметились тенденции к потеплению и увлажнению климата.

На основе фактических данных изменения температуры города Архангельск за период с 2001 по 2013 г. были рассчитаны средние значения температур по месяцам (рис. 4).

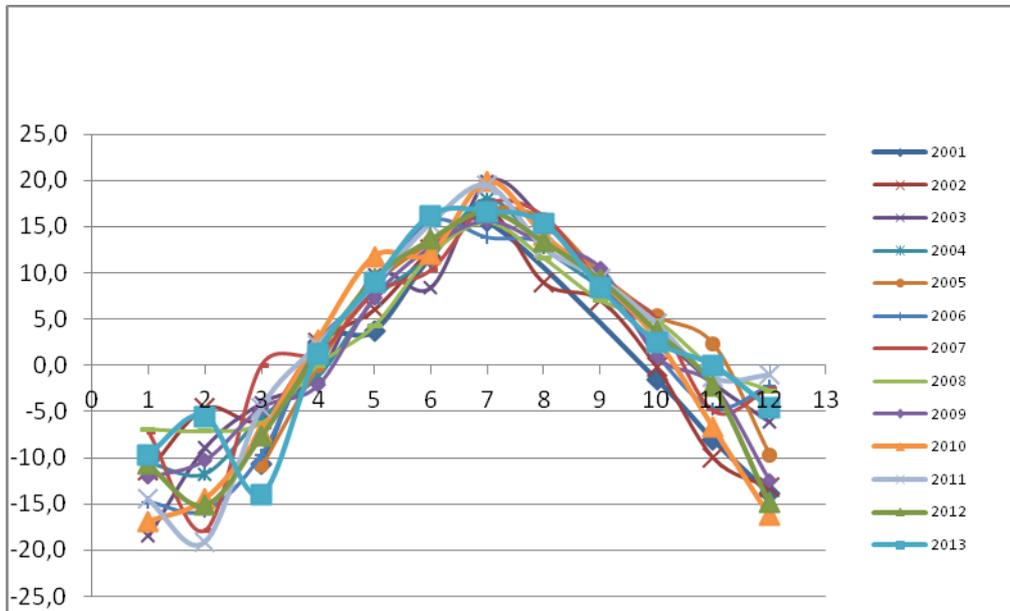


Рисунок 4. График хода среднемесячных температур, г. Архангельск

Чтобы выяснить изменения среднемесячной температуры города Архангельска, на данный график были наложены значения среднемесячных климатических данных с дневной и ночной температурой, взятые с сайта Росгидромета России.

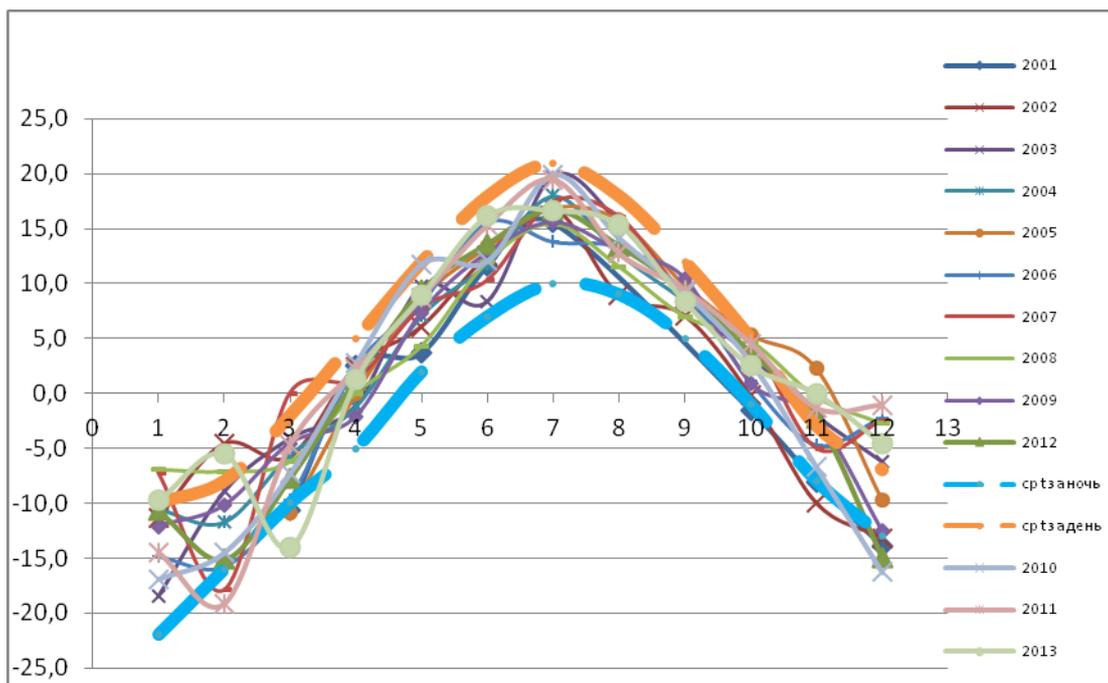


Рисунок 5. Отклонения среднемесячных температур от нормы

Таким образом, по рисунку 5 видно, что в период с 2001 по 2013 гг. средняя месячная температура в г. Архангельск изменялась в пределах установленного климатического значения, характерного для данного города. Исключение составили аномальные значения: январь 2007, 2008 г., февраль 2002, 2011, 2013 г., март 2002, 2013, ноябрь 2002, 2005, 2013, декабрь 2010, 2011, 2013 гг. В каждой из данных аномалий присутствовал 2013 год.

На рисунке 6 представлены сезонные изменения средней температуры.

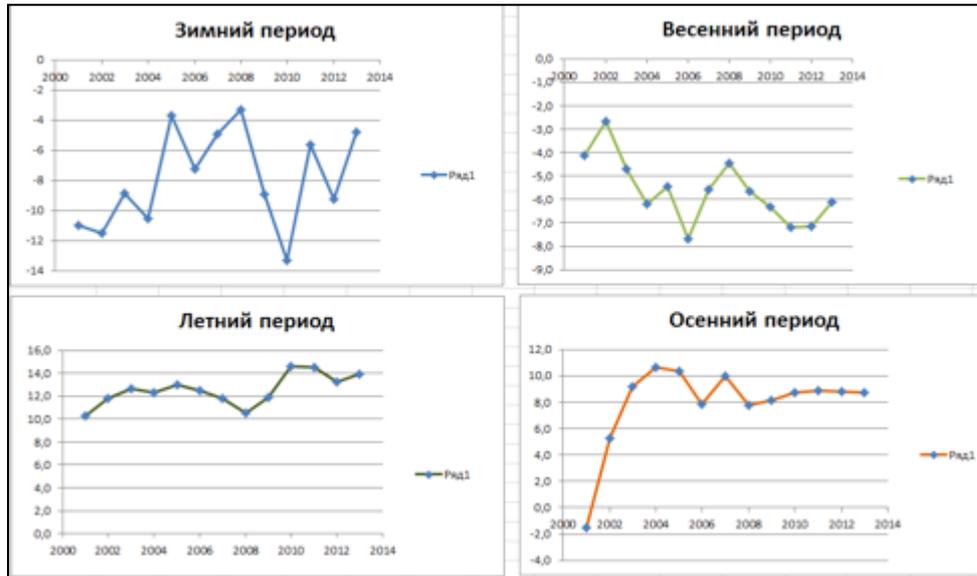


Рисунок 6. Сезонные изменения средней годовой температуры

Была рассчитана сводная таблица данных среднегодовых изменений температуры для г. Архангельска за период с 2001 по 2013 гг. Её результаты представлены на рисунке 7.

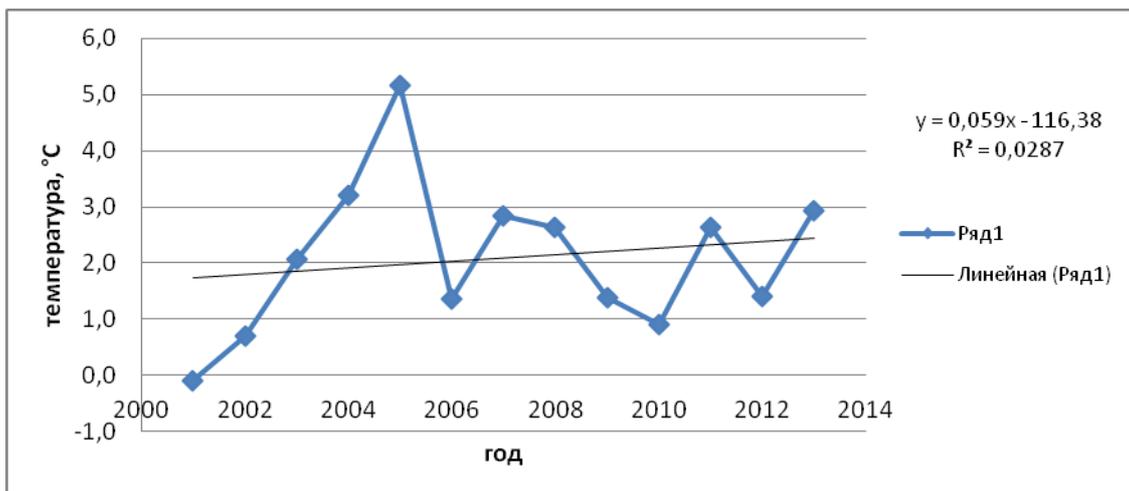


Рисунок 7. Изменение средней годовой температуры г. Архангельск

Линия тренда свидетельствует о тенденции повышения среднегодовой температуры воздуха.

На основе временных рядов была построена модель Брауна с адаптивными параметрами адаптации:

$$\hat{y}(t) = A_0(t-1) + A_1(t-1) \cdot k$$

$$\varepsilon(t) = y(t) - \hat{y}(t)$$

$$A_0(t) = A_0(t-1) + A_1(t-1) + (1 - \beta^2) \cdot \varepsilon(t)$$

$$A_1(t) = A_1(t-1) + (1 - \beta)^2 \cdot \varepsilon(t)$$

$$\alpha_t = |K_t|$$

$$K_t = \frac{\hat{\varepsilon}_t}{\tilde{\varepsilon}_t}, \text{ Если } K_t \rightarrow 0, \Rightarrow \text{система адекватна}$$

$$\hat{\varepsilon}_t = (1 - \gamma) \cdot \hat{\varepsilon}_{t-1} + \gamma \cdot \varepsilon_t$$

$$\tilde{\varepsilon}_t = (1 - \gamma) \cdot \tilde{\varepsilon}_{t-1} + \gamma \cdot |\varepsilon_t|$$

Были получены следующие значения параметров:  $A_0 = -1,69$ ,  $A_1 = 1,3$ . Модель является точной и адекватной:  $S\hat{y} = 2,28$ ,  $E = 14,6$ ,  $R^2 = 0,613$ .

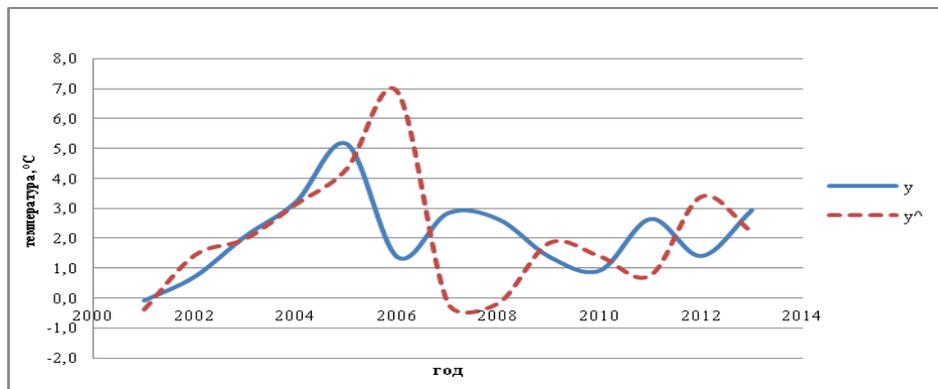


Рисунок 8. Изменение средней годовой температуры, г. Архангельск

Модель Брауна с адаптивными параметрами адаптации

На основе полученной модели построен интервальный и точечный прогнозы на 3 года вперед.



Рисунок 9. Точечные и интервальные прогнозы изменения средней годовой температуры для г. Архангельск

Результат расчёта среднегодовых изменений влажности для города Архангельска за период с 2001 по 2013 гг. представлен на рисунке 10.

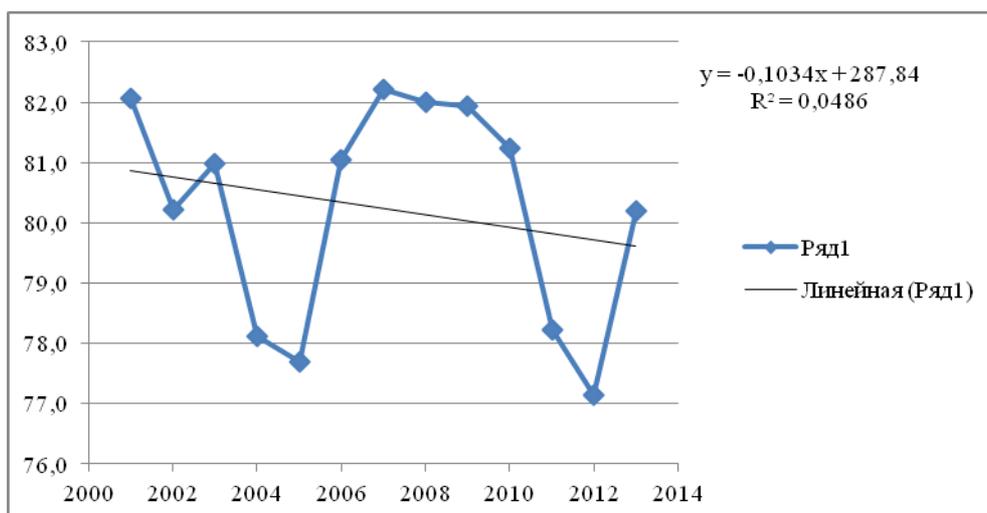


Рисунок 10. Изменение средней годовой влажности, г. Архангельск

Линия тренда свидетельствует о тенденции снижения среднегодовой влажности воздуха на 0,9% за рассматриваемый период времени (12 лет).

На основе методов стохастического моделирования построена мультипликативная модель для исходных фактических данных, по которой также выполнен прогноз изменения средней годовой влажности на 3 года вперёд:

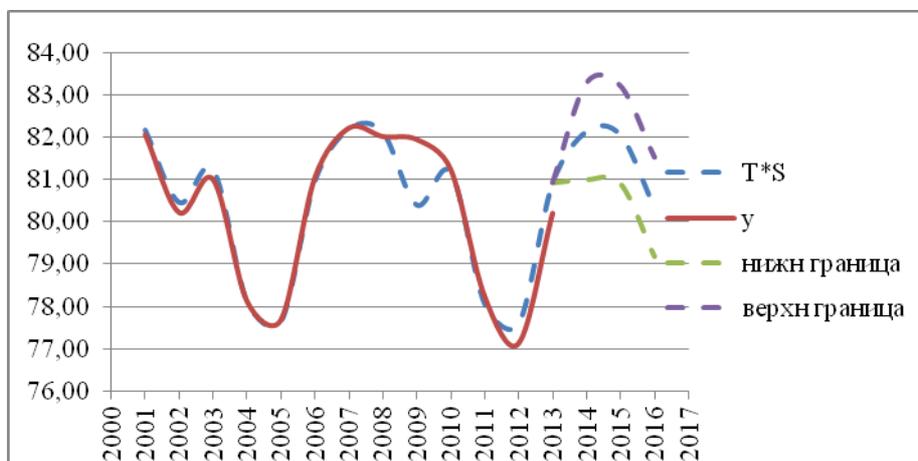


Рисунок 11. Точечные и интервальные прогнозы изменения среднегодовой влажности для г. Архангельска

Таким образом, к 2017 г. влажность воздуха для географического пространства города Архангельска уменьшится на 2% по сравнению с 2001 г.

Чтобы подтвердить полученные выводы о прогнозных изменениях климата с помощью сервиса web-сайта «ФГБУ Институт глобального климата и экологии (ИГКЭ) Росгидромета и РАН» был построен точечный прогноз изменения климатических показателей продолжительностью до 2025 года.

Вывод результатов расчета программы представлен на следующих рисунках:

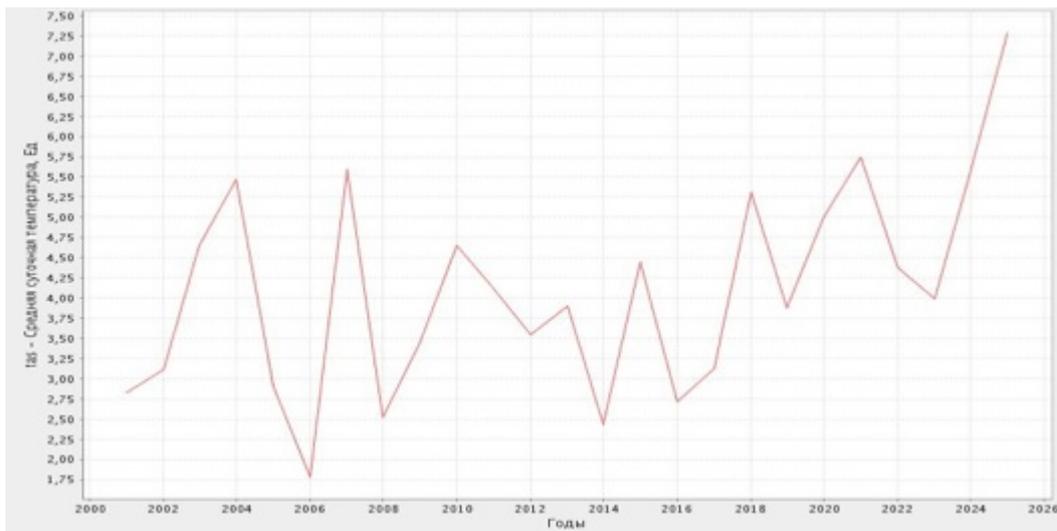


Рисунок 12. Модель: INM - ИВМ РАН, антропогенный сценарий: commit, климатическая переменная средняя суточная температура

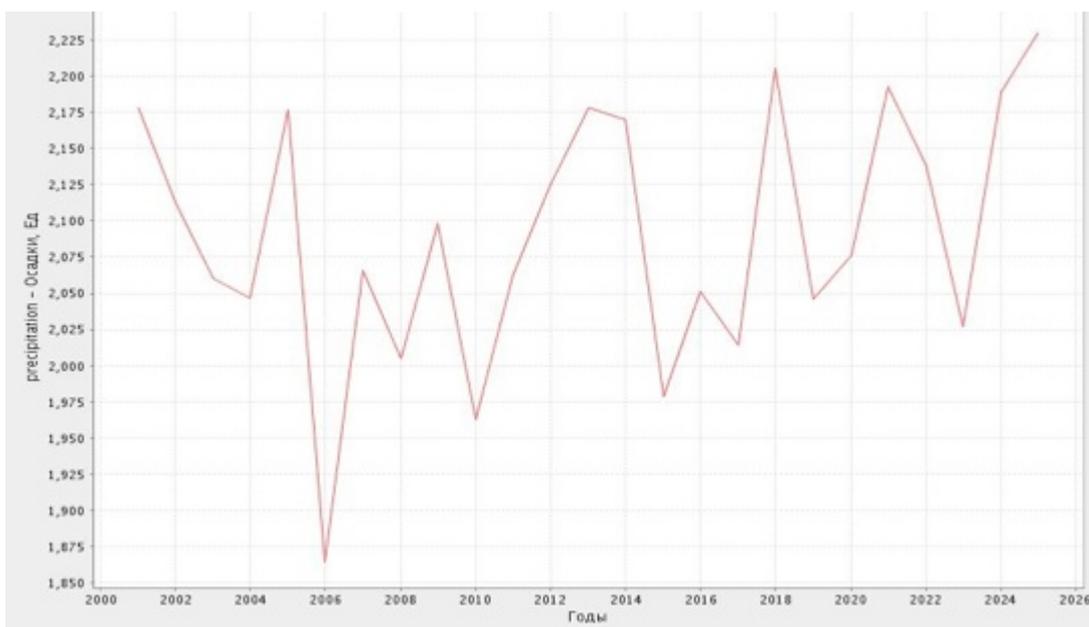


Рисунок 13. Модель: INM - ИВМ РАН, антропогенный сценарий: commit, климатическая переменная осадки

### **Заключение**

Таким образом, построенные нами модели изменения средней температуры в данном регионе и результаты региональной модели института глобального климата и экологии Росгидромета и РАН позволяют сделать вывод о росте среднесуточной годовой температуры воздуха (к 2025 году примет значение 7,29 °C) на 0,1 °C в год, об увеличении количества осадков на 0,002 мм и снижении атмосферного давления на 1,85 ед.

Следовательно, климат Европейского Севера, в частности Архангельской области меняется, и это, несомненно, окажет влияние на экономическую жизнь региона.

### *Литература*

1. Дымников В.П. Проблемы моделирования климата и его изменений / В.П. Дымников, В.Н. Лыкосов. М.: Институт вычислительной математики РАН, 2006. 27 с.
2. Зеленина Л.И., Федькушова С.И. Прогнозирование и последствия изменения климата Арктического региона // Арктика и Север. 2012. № 5. С. 109-113.

*Рецензент:* Тутыгин Андрей Геннадьевич,  
кандидат физико-математических наук, доцент



Полярные маки на мысе Флора / Фото. © Обоимов А.П. 2014 г.