

- шире и полнее использовать оборудование и приборы сторонних научных организаций как на территории Беларуси, так и за рубежом;
в области воспитательной и идеологической работы:
- всемерно способствовать формированию патриотизма, гордости за университет, приобретаемую специальность, при этом широко использовать личный пример профессорско-преподавательского состава, возможности сайта факультета и др.;
- практиковать согласованную с производством и спецификой объектов работ организацию студенческих стройотрядов, откорректировать график прохождения практик, тщательно подходить к формированию контингента отрядов, включая в состав бойцов лучших студентов, усилить в стройотрядовском движении роль БРСМ и других общественных организаций;
- включить в сферу профориентационной деятельности ведомственные организации, что позволит увеличить количество студентов, обучающихся по целевому заказу, и в дальнейшем более рационально распределять выпускников;
- на факультетском сайте расположить базу студентов-выпускников текущего года с краткими деловыми характеристиками, что позволит потенциальным заказчикам составить портрет своего будущего работника;
- для усиления роли и значимости общественной работы студентов использовать мониторинг, данные которого помогут при распределении молодых специалистов.

УДК 551.583

ОСОБЕННОСТИ ИЗМЕНЕНИЙ И НЕОПРЕДЕЛЕННОСТИ ОЦЕНОК ГЛОБАЛЬНОЙ И РЕГИОНАЛЬНОЙ ТЕМПЕРАТУРЫ

Логинов В.Ф., Микуцкий В.С.

ГНУ "Институт природопользования НАН Беларуси", г. Минск, Беларусь,
nature@ecology.basnet.by

The uncertainties of change of global temperature are analyzed. Change of a fraction of number of city meteorological stations in their total number can lead to overestimate of global temperature assessment. The features of changes of amplitude of a temperature diurnal course of Belarus, and also the minimum and maximum diurnal temperatures are considered.

Проблематика современных изменений климата, несмотря на огромное количество публикуемых работ, остаётся предметом острых дискуссий, особенно в части причинности изменений климата, их прогноза и последствий в различных отраслях экономики. Даже такой, казалось бы, очевидный вопрос, как оценка достоверности изменений климата нельзя признать окончательно решённым. Некоторым аспектам данного вопроса посвящена первая часть предлагаемой статьи. Во второй части на примере температуры Беларуси рассматриваются региональные особенности изменений климата на основе данных температуры суточного разрешения, включая изменения амплитуд суточного хода температуры, а также минимальных и максимальных температур.

1. Неопределенности оценок глобальной и региональной температуры.

Исследования показывают, что оценки влияния урбанизации на изменения климата существенно различаются. По работе Ф. Джонса и П. Гройсмана [1] урбанизация за период с 1901 по 1987 г. обеспечила в европейской части бывшего Советского Союза, восточной части Австралии, восточной части Китая и США повышение температуры не более чем на $0,05\text{ }^{\circ}\text{C}$. Это на порядок меньше, чем общий рост температуры за указанный период. В ряде других работ указывается, что тренд, связанный с «островом тепла» в городах локален и составляет менее чем $0,006\text{ }^{\circ}\text{C}$ за десятилетний период над сушей и нулевой – над океанами [2].

В работах, где используются результаты широкомасштабных исследований по описанию климата больших городов бывшего Советского Союза, выполненных в 1960–1980-е годы, показано, что большие мегаполисы – Москва, Санкт-Петербург, Новосибирск – «отеждают» атмосферу городов на $0,6\text{--}1,0\text{ }^{\circ}\text{C}$ по сравнению с пригородами. Общее повышение температуры за счет урбанизации может достигать $0,3\text{ }^{\circ}\text{C}$, если учесть мезоклиматическое влияние больших городов, которое распространяется на более существенную территорию, чем площадь города [3, 4].

Работы украинских и белорусских ученых также показали, что различие температуры в крупных городах и сельской местности составляет $0,2\text{--}0,7\text{ }^{\circ}\text{C}$ [2, 5–7]. Эти различия температуры «город – сельская местность» изменялись во времени и достигали наибольших значений в 1971–1980 гг., когда наблюдался активный рост промышленного производства в крупных городах. Однако если учесть то обстоятельство, что урбанизированные территории занимают менее 1 % бывшего Советского Союза, то влияние урбанизации на рост температуры на указанной территории в последние десятилетия составляет менее $0,1\text{ }^{\circ}\text{C}$. Совершенно очевидно, что урбанизационная «поправка» на густонаселенных территориях США, Европы, Японии существенно больше, но в среднем на Земном шаре рост температуры за счет урбанизации, вероятно, составляет менее $0,1\text{ }^{\circ}\text{C}$. Второй причиной, которая может оказать определенное влияние на точность вычисления пространственно-временных изменений температуры, является изменение числа метеорологических станций в глобальной системе климатического мониторинга.

Большое значение для оценок изменений глобального климата в силу огромной территории имеет изменение плотности метеорологической сети России. Она в 90-е годы прошлого столетия сильно уменьшилась: метеорологические станции закрывались в первую очередь по причине экономических соображений. Известно, что содержание метеорологических станций в труднодоступных районах (северные территории, Сибирь и Дальний Восток, высокогорные районы) экономически более затратное, чем в обжитых местностях. Подобные реалии характерны и для африканских стран, где в последние годы активно ведутся военные действия и экономика многих стран приходит в упадок. Сокращение плотности метеорологической сети характерно и для значительного числа азиатских стран.

По оценкам [8] с учётом требований к непрерывности наблюдений на станциях к базовому массиву мониторинга климата в лучшие годы (1950–1990) можно отнести 1383 метеорологические станции. Постсоветская территория при этом представлена 455 метеорологическими станциями, из них на территории России находилось 310 метеорологических станций (рисунок 1).

Однако, уже к 1994 г. на территории СНГ стабильная сеть, сформированная к 1950 г., сократилась до 64%. К 2005–2010 гг. она была восстановлена, но лишь частично, до 78,5%. Особенно много метеорологических станций было закрыто в северных широтах, в Сибири и на Дальнем Востоке. Число станций в мире существенно уменьшилось в 90-е годы прошлого столетия, а в отдельные годы оно составляло около 50% от их общего числа в лучшие годы. В текущем столетии наметился некоторый рост числа метеорологических станций, но их число ещё не достигло тысячи [8].

Следовательно, существенные изменения плотности глобальной сети наблюдений за климатом в 90-е годы прошлого столетия могли нарушить однородность рядов средних глобальных значений температуры. Это обстоятельство следует учитывать при интерпретации современных изменений климата и их причин.

Однако, сравнение рядов проектов реанализа Met Office Hadley Center and Climatic Research Unit (Had CRUT), NOAA National Climatic Data Center (NCDC) and NASA Goddard Institute for Space Studies (GISS) показало (Hansen et. al, 2010, Jones et. al, 2012), что расхождение данных практически не влияет на результаты для крупных регионов и на глобальные закономерности и оценки тенденций [8].

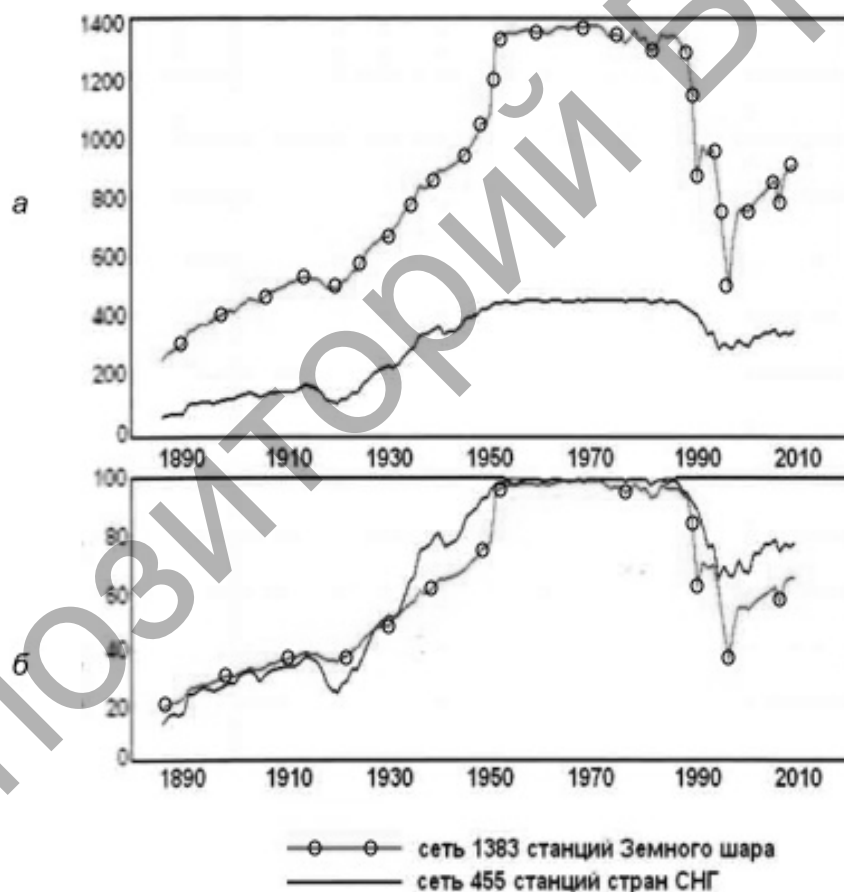


Рисунок 1 – Изменение полноты данных о температуре в базе данных мониторинга климата для глобальной сети станций ($n = 1383$) и для сети станций стран СНГ ($n = 455$):
а – число станций; б – процент станций [8]

Методы обработки данных при создании массивов реанализа, а также периоды, за которые вычисляются нормы, различаются. Так, число пятиградусных «боксов» (Had CRUT) составляет 2592, число всех используемых станций – более 2500, а после 1991 г. – всего 800–1000.

В качестве примера приведём сравнение американского (NOAA National Climatic Data Center) и британского (Met Office Hadley Centre and Climatic Research Unit) рядов глобальной температуры. Оно показало различие аномалий среднегодовых значений глобальной температуры в силу использования разных норм. Для американского ряда норма вычислялась за период с 1901 по 2000 гг., а для британского – за 1931–1990 гг. Однако величины разностей аномалий среднегодовой глобальной температуры, а точнее, осредненной приповерхностной температуры двух сопоставляемых рядов различаются от 0,07 до 0,22 °С (рисунок 2). Это связано с разными используемыми методами получения глобальных баз данных. Изменение величин разностей температуры во времени содержит как трендовую составляющую, так и циклы разной длительности.

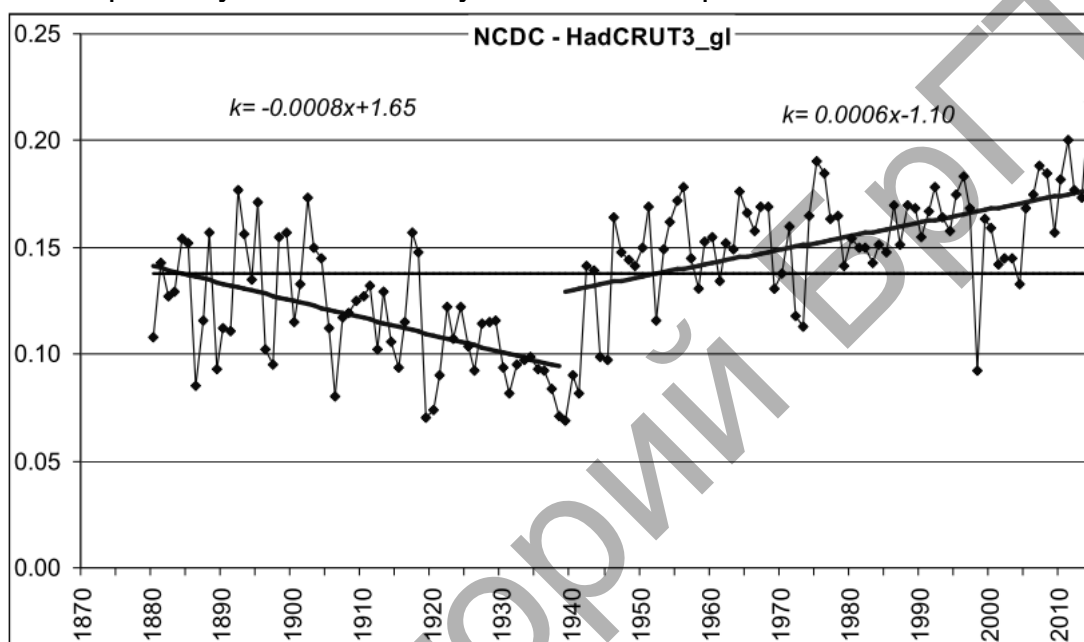


Рисунок 2 – Изменение разностей аномалий глобальной среднегодовой температуры американского (NCDC) и британского (HadCRUT3gl) рядов приповерхностной температуры с 1880 по 2014 г. (среднее значение приповерхностной температуры британского ряда в 2014 г. вычислено с использованием значений температуры за первые пять месяцев года)

Наиболее существенная положительная трендовая составляющая вычисленных разностей температуры характерна для последнего периода (1940–2014 гг.). Она дополнительно завышает величину роста глобальной среднегодовой температуры американского ряда на несколько сотых градуса. Причина такого завышения температуры может быть связана с неоднородностью ряда, обусловленной уменьшением плотности глобальной метеорологической сети в первую очередь в труднодоступных районах, где содержание метеорологических станций экономически невыгодно.

Это может привести к увеличению процентного соотношения числа станций на урбанизированных территориях по сравнению с сельскими территориями и, как следствие, росту урбанизационной «поправки», а также завышению значений глобальной температуры в последние два десятилетия (1994–2014 гг.). В свою очередь это может привести к небольшому увеличению положительной трендовой составляющей в изменении температуры в последнем столетии, учитывая еще и то, что температура в американском ряду оказалась заниженной в период с 1919 по 1941 г. (период потепления Арктики).

Рассмотрим характер изменения аномалий глобальной температуры с использованием данных NCDC США (рисунок 3). Предварительные результаты оценки изменений аномалий глобальной температуры представлены ранее в работе [9].

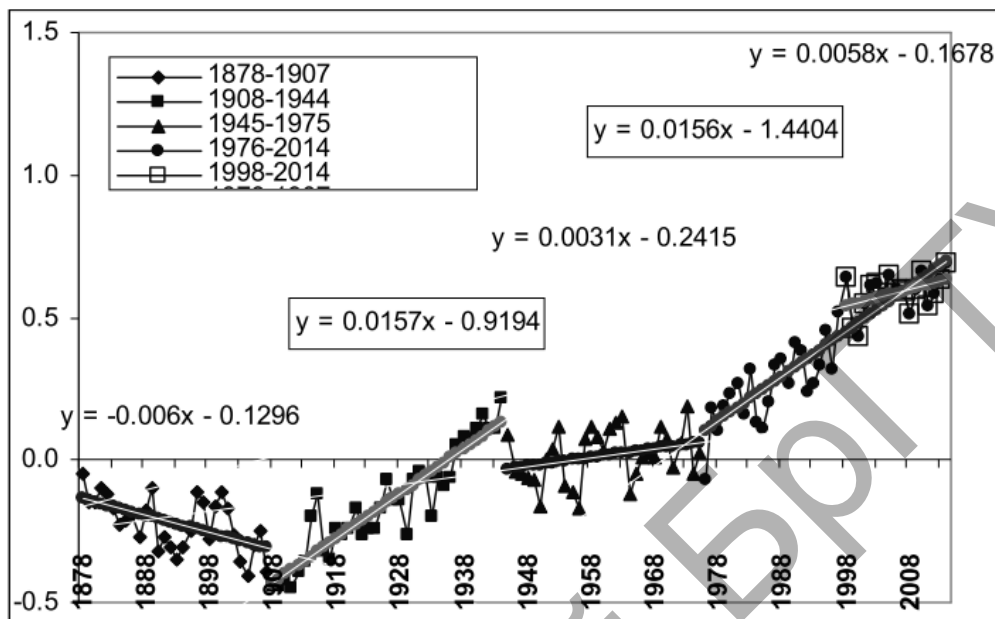


Рисунок 3 – Изменение среднегодовой приповерхностной глобальной температуры за период с 1878 по 2014 г. и величины линейных трендов для определенных подпериодов времени

На рисунке отчетливо выделяются четыре разных по величине и знаку подпериода длительностью 30–39 лет. Для двух из четырех подпериодов (1908–1944 и 1976–2014 гг.) характерна практически одинаковая величина трендов глобальной температуры, при этом для подпериода 1976–2014 гг. скорость роста содержания углекислого газа в атмосфере была выше как минимум в 5 раз, а среднее содержание углекислого газа было выше в среднем на 50 ppm (ppm – молекула CO_2 на миллион молекул атмосферного воздуха), чем для подпериода 1908–1944 гг.

В этой связи возникают логичные вопросы, на которые до сих пор не получено исчерпывающих ответов: какой естественный фактор (но абсолютно ясно, он был не антропогенным) обеспечил сопоставимую или даже несколько большую скорость роста глобальной температуры в подпериод с 1908 по 1944 г.? Не исключено, что для ответа на этот вопрос потребуется пересмотр существующих оценок роли внешних и особенно внутренних факторов в изменении климатической системы.

Второй вопрос, на который до сих пор не получено внятного ответа – это снижение скорости роста глобальной температуры в последние годы. Глобальная температура в 1998–2013 гг. оставалась самой высокой за период инструментальных наблюдений, но, тем не менее, она не увеличивалась – наступила пауза в изменении температуры.

Ниже (таблица 1) приводятся значения среднегодовых аномалий глобальной температуры самых тёплых лет в период максимальных значений температуры за период инструментальных наблюдений, полученных Национальным центром климатических данных США (NCDC) [10] и Отделом климатических исследований Университета Восточной Англии и Гадлеевского центра (CRU) [11].

Таблица 1 – Аномалии среднегодовой глобальной температуры по данным американского и английского климатических центров

NCDC		CRU	
год	значения аномалий глобальной температуры, °C	год	значения аномалий глобальной температуры, °C
2015	0,97	2015	0,745
2013	0,82	2014	0,567
2010	0,77	2013	0,499
2004	0,76	2012	0,47
2005	0,72	2011	0,422
2012	0,7	2010	0,559
2001	0,69	2009	0,506
2014	0,69	2008	0,395
2009	0,67	2007	0,493
2008	0,66	2006	0,505
Среднее значение	0,75		0,52

Среднее из максимальных значений аномалий глобальной среднегодовой температуры оказалась на 0,23 °C выше для ряда аномалий глобальной среднегодовой температуры, подготовленного Национальным центром климатических исследований США.

Различия максимальных значений аномалий среднегодовой глобальной температуры для каждого ряда находятся в пределах точности их вычислений, которая определяется методами создания баз данных и их полнотой.

Пока более распространенным остается мнение о дальнейшем повышении глобальной температуры в ближайшие годы, поскольку эпоха Ла-Нинья заканчивается и должна вновь наступить эпоха Эль-Ниньо. Как следствие, температура в тропиках повысится.

По последним оценкам одно из мощных событий Эль–Ниньо развивалось в 2014–2015 гг. На эти годы пришёлся существенный рост температуры, что может свидетельствовать о завершении паузы в её изменении. Однако, недавно произошло очередное ослабление Эль–Ниньо. Вопрос о том, как поведёт себя глобальная температура в 2016 г. пока остаётся открытым.

2. Оценка многолетних изменений амплитуд температуры в суточном и годовом ходе. Указанные амплитуды можно рассматривать как комплексные показатели изменений климата и как результат применения элементарного метода сжатия информации. Амплитуда годового хода температуры воздуха является также главным числовым компонентом при определении такого важного показателя, как континентальность климата.

Применение амплитуд колебаний температуры в климатических исследованиях является развитием точки зрения о целесообразности изучения изменений климата на основе не только средних значений, но и других комплексных характеристик климата.

Оценка многолетних изменений амплитуд и экстремумов суточного хода температуры. Приведём результаты анализа пространственно-временных вариаций амплитудных характеристик. Исходными материалами послужили данные по температуре воздуха суточного макета 54 пунктов наблюдения Республиканского центра по гидрометеорологии, контролю радиоактивного загрязнения и мониторингу окружающей среды РБ.

Анализ полноты и однородности данных по максимальной и минимальной суточным температурам показывает, что корректный анализ суточных амплитуд на территории Беларуси возможен только начиная с 1977 г.

Для анализа пространственного распределения амплитуд и степени их региональных различий на территории Беларуси были использованы возможности кластерного анализа (метод *K* средних) [12, 13]. Особенностью данного метода является включение в анализ только тех наблюдений (лет), которые наличествуют во всех пунктах. В случае отсутствия в каком-либо пункте наблюдений за конкретный год данные этого года исключаются из анализа независимо от их наличия в остальных пунктах.

Проведённая в 2014 г. необоснованная оптимизация метеорологической сети привела к тому, что такие достаточно длиннорядные метеостанции как Езерице, Лельчицы, Лепель остались вне нашего анализа.

Таким образом, кластерному анализу было подвергнуто 40 пунктов сети метеонаблюдений с 1977 по 2014 гг.

Очевидно деление территории Беларуси зимой на два меридиональных кластера – восточный (1-й кластер) и западный (2-й кластер) (рисунок 4). Для остальных сезонов характерен широтный тип кластеров, что хорошо коррелирует с известными физическими представлениями.

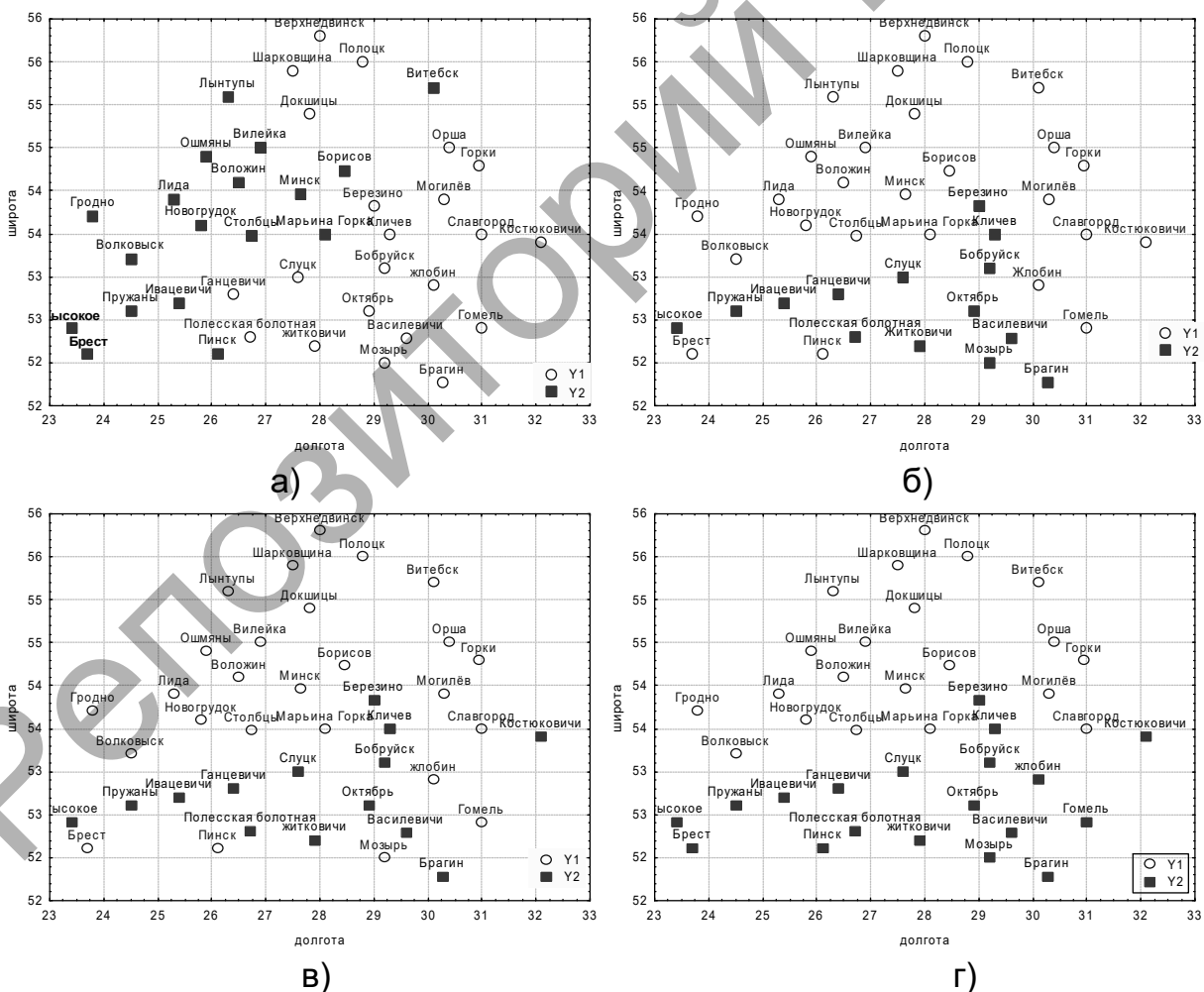


Рисунок 4 — Пространственное разбиение станций на отдельные кластеры для различных сезонов: зимы (а), весны (б), лета (в), осени (г); период 1977–2014 гг.

Как будет показано далее, южные кластеры характеризуются более высокими значениями амплитуд температур, чем северные. Достаточно ярким проявлением антропогенного влияния на климат является "выпадение" весной и летом из второго (южного) кластера наиболее крупных городов – Бреста, Пинска, Гомеля, а также Жлобина (весна) и Мозыря (лето). Именно весной и летом – как наименее облачные сезоны года, – уменьшение приходящей коротковолновой солнечной радиации ввиду большей аэрозольной загрязнённости атмосферы городов проявляет себя в наибольшей степени. Это приводит к падению дневных температур и, как следствие, уменьшению суточных амплитуд температур.

После выделения пространственных зон выполним оценки степени различия зональных среднесезонных амплитуд путём сравнения их средних значений. Распределения частот указанных выборок достаточно близки к нормальному, что позволяет использовать параметрические критерии (исключение – восточный кластер зимой).

t -критерий для зависимых выборок, а также непараметрические критерии знаков и Вилкоксона фиксируют **значимые на уровне $p=0,05$ различия между зональными амплитудами для всех сезонов.**

Динамика среднесезонных суточных амплитуд для различных кластеров за период современного потепления представлена на рисунке 5. Из рисунка следует межзональное согласие хода среднесезонных суточных амплитуд температуры. Для зимы величина суточных амплитуд больше на востоке (кластер 1), в то время как для всех остальных сезонов их величина больше на юге (кластер 2), что согласуется с широтным и меридиональным ходом суточных амплитуд температуры. Наличие зимой такого положительного восточного градиента суточных амплитуд позволяет сделать вывод о том, что соответствующее (ввиду континентальности) меридиональное понижение зимних суточных температур имеет различный характер ночью и днём: ночные температуры понижаются быстрее дневных. Это в очередной раз подчёркивает, что как анализ суточного макета данных, так и анализ амплитуд имеют определённые преимущества при диагностике климатических проявлений.

Второй особенностью изменения амплитуд суточного хода температуры является их падение зимой и рост весной (рисунок 5, а), б)).

В период современного потепления климата (1988–2014 гг.) амплитуда суточного хода температуры уменьшилась зимой почти на $1\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Спектральный анализ среднесезонных суточных амплитуд температуры выявляет в их изменении наличие квазициклических колебаний различной продолжительности в последние 35–40 лет. На высоких частотах преобладают колебания с периодами $\sim 3,5$ года (весна и лето), осенью выделяются квазиколебания $\sim 5,4$ года. В летний сезон присутствуют также колебания более низких частот (период $\sim 9,5$ лет), такие же квазиколебания суточных амплитуд свойственны и зимнему периоду (восточная зона). При этом, зимой наблюдается уменьшение периода колебаний при продвижении с востока на запад (до 7,6 года).

Природа квазициклическости продолжительностью 6–8 лет (осень и зима) может быть связана с существованием долгопериодных приливов в Мировом океане, которые определяются чандлеровскими движениями оси Земли. Средняя продолжительность чандлеровского цикла составляет около 14 месяцев. Суперпозиция этого периода с 12-месячным (годовым) колебанием может обеспечить квазициклические изменения в климатической системе продолжительностью 6–8 лет. Такие колебания отмечались в работах И.В. Максимова и его учеников [14].

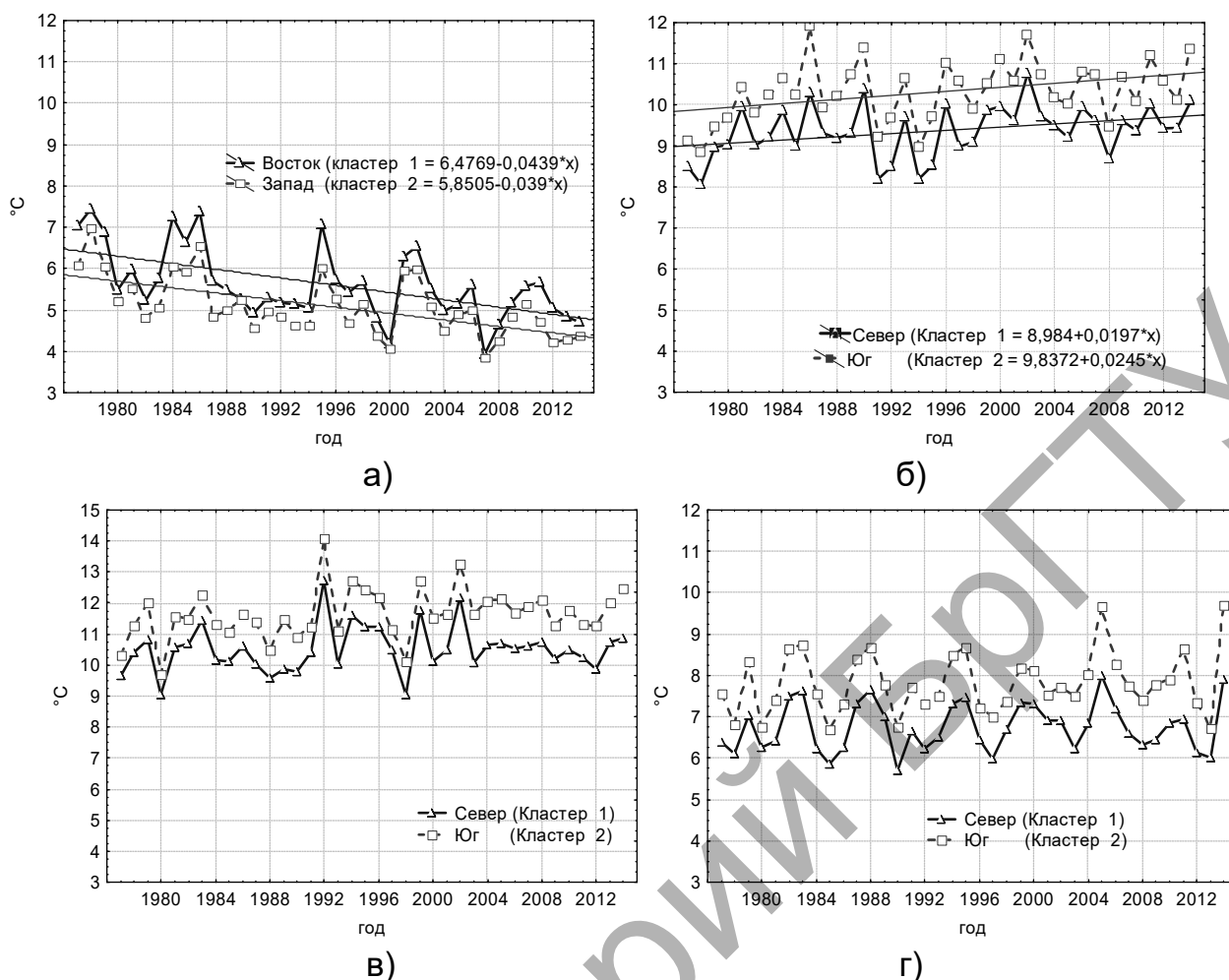


Рисунок 5 – Динамика среднесезонных суточных амплитуд для различных зон (кластеров): зима (а), весна (б), лето (в), осень (г); период 1977–2014 гг.

При этом следует отметить, что приведённые оценки частотного анализа нельзя отнести к достоверным ввиду малых длин выборок. Формально, однако, с точки зрения применимости спектрального анализа они достаточно корректны, поскольку стандартное тестирование значений полученных периодограмм на соответствие экспоненциальному распределению свидетельствует об отличии исходных рядов от белого шума [15].

Изменчивость суточных амплитуд температуры, оцениваемая величиной среднеквадратического отклонения (σ), особенно существенна для равноденственных сезонов года – весной и осенью. Зимой с конца 1970-х годов отмечается уменьшение изменчивости величины суточных амплитуд температуры, а весной – наоборот, её рост. Летом изменчивость суточных амплитуд температуры минимальная. 11-летние сглаженные величины амплитуд суточного хода температуры и их изменчивости (σ) представлены на рисунке 6. Из этого рисунка следует, что для юга Беларуси (кластер 2) для всех тёплых сезонов года (весна, лето, осень) амплитуда суточного хода температуры выше, чем для севера. В период современного потепления летом величина амплитуд суточного хода температуры практически не изменяется. Некоторый рост величин амплитуд суточного хода заметен в равноденственные сезоны года (весна, осень), а наиболее заметное падение амплитуд в последние 35–40 лет произошло зимой. Незначительное падение величин амплитуд суточного хода для всего доступного ряда отмечается летом и зимой (рисунок 6, а, в). В последнем случае эта картина в какой-то мере затушёвывается максимальным ростом амплитуд суточного хода температуры в 60-70 годы прошлого столетия.

Если исключить слабообеспеченный наблюдениями период начала потепления Арктики (1905–1915 гг.), то наибольшие значения суточных зимних амплитуд приходится на начало текущего роста температуры в Северном полушарии, начавшегося в середине 70-х – начале 80-х годов прошлого столетия. В другие сезоны года (лето, осень) какого-либо выраженного тренда в изменении амплитуд суточного хода температур за последние 80–90 лет не отмечалось. Общей для всех сезонов особенностью изменения амплитуды суточного хода температуры является наличие их максимальных значений в начале XX столетия. Если учесть небольшое количество станций в это время, то указанная особенность, возможно, связана с этим обстоятельством. Строго говоря, малое количество метеорологических пунктов в конце XIX – первой половине XX столетия не позволяет говорить о достоверности представленных на рисунке 6 изменений в этот период.

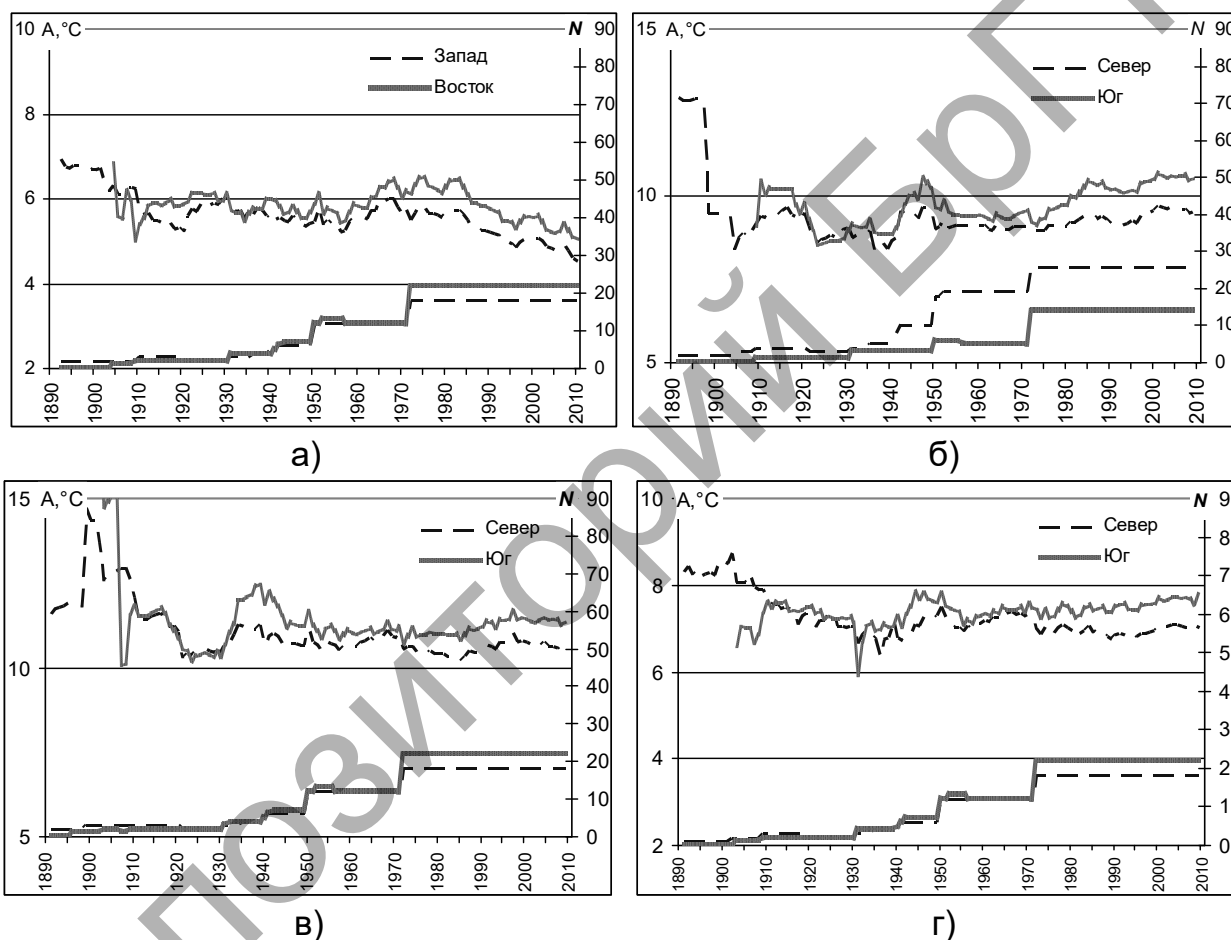


Рисунок 6 – Сглаженные по 11 годам среднесезонные суточные амплитуды температуры (вверху) и количество пунктов метеонаблюдений (внизу), зима (а), весна (б), лето (в), осень (г) на территории Беларуси за период с 1886 по 2014 гг.

Изменение суточных амплитуд на территории Беларуси и период современных глобальных изменений климата. Рассмотрим более детально изменение суточных амплитуд за последние несколько десятилетий, когда потепление климата оказалось более выраженным. Имеются различные оценки начала последнего потепления. Будем исходить из оценок [16, 17], связывающих начало глобального потепления с т.н. "Тихоокеанским сдвигом климата" 1978 года. Наши ранее выполненные исследования говорят о преимущественно зимнем характере этого потепления и о его паузе, установившейся на границе

прошлого и нынешнего столетий [18]. Исходя из этих ранее полученных результатов¹⁾, рассмотрим два 15-летних периода: 1977–1991 и 2000–2014 гг., – первый промежуток времени – период потепления, а второй – наступившая пауза в увеличении температуры. При переходе от периода потепления (1977–1991 гг.) к паузе в изменении климата (2000–2014 гг.) среднесезонные суточные амплитуды температур тёплых сезонов (весна, лето, осень) демонстрируют тенденцию к увеличению для всех выделенных регионов, в то время, как зимние суточные амплитуды температуры уменьшаются. При этом тестирование различия средних по *t*-критерию для независимых выборок показывает, что в половине случаев (обе зоны зимой, северная зона весной и южная – летом) эти изменения **статистически значимы**.

Наиболее вероятная причина такого увеличения суточных амплитуд температуры тёплых сезонов заключается, в первую очередь, в повышении прозрачности атмосферы. Отмеченный факт согласуется с небольшим повышением летних температур, происходящим на фоне упомянутой паузы зимнего потепления, связанной, вероятно, с Тихоокеанским многолетним колебанием (ТМК), на холодную фазу которого пришлась наибольшая повторяемость событий Ла-Нинья. В 2014–2015 гг. начал наблюдаться возврат к тёплой фазе ТМК и большей повторяемости событий Эль-Ниньо. Как следствие, опять началось повышение глобальной температуры. Это свидетельствует о том, что автоколебания в системе "океан–атмосфера–криосфера" являются естественными модуляторами современных изменений климата.

Изменение средних летних минимальных и максимальных суточных температур в Беларуси. Минимальные (ночные), и максимальные (дневные) суточные температуры играют важную роль в жизни растительного и животного мира. Особенно следует подчеркнуть роль минимальных температур, непосредственно влияющих на темновое дыхание растений. Интенсивность их дыхания возрастает с ростом ночных (минимальных суточных) температур. Тем самым увеличиваются затраты на темновое дыхание, что приводит к замедлению роста растений.

Влияние роста содержания углекислого газа на темновое дыхание и интенсивность фотосинтеза широко обсуждается в литературе [6, 19, 20].

Широкое развитие получили также работы, где рассматривается причины нарушения углеродного цикла [19, 21]. Согласно доступным данным, нарушения углеродного цикла приводят к тому, что на фотосинтез расходуется на 3 гига-тонны/год углерода меньше, чем в последнем десятилетии. Это грубо соответствует количеству углерода, поглощаемого земной поверхностью в год в прошлом десятилетии. Как минимум 80% этих нарушений углеродного цикла связаны с климатическими экстремумами и их эффектами – засухами, волнами тепла, холодными периодами, ливнями и пожарами. При этом засухи являются наиболее важным фактором таких нарушений. Поскольку возрастает частота, интенсивность или продолжительности климатических экстремумов, следует ожидать существенного уменьшения количества диоксида углерода, поглощенного при фотосинтезе. В [21] отмечается, что ежегодные изменения в количестве поглощенного углерода происходят больше за счёт фотосинтеза, чем за счёт дыхания. Это означает появление положительной обратной связи, ведущей к уменьшению поглощения углерода, усилению климатических изменений (включая климатические экстремумы). Высокие концентрации диоксида углерода в будущем, скорее всего, приведут к более эффективному использованию воды растениями, что могло бы помочь облегчить последствия засух.

¹⁾ с учётом имеющихся данных и уравнивания объёмов выборок

Таким образом, экстремальные явления могут влиять на ежегодные изменения скорости увеличения концентрации диоксида углерода в атмосфере, хотя эти оценки в значительной степени неопределённые.

Более понятным является влияние увеличения углекислого газа в атмосфере на интенсивность фотосинтеза [20]. С химической точки зрения процесс фотосинтеза включает запасание части энергии солнечного света в виде потенциальной или «связанной», энергии пищи.

Следует иметь в виду, что концентрация двуокиси углерода CO_2 за последние 20–25 лет увеличилась, как минимум, на 60 ppm (1 ppm \approx 8 млрд. т углекислого газа!), что должно было привести к интенсификации фотосинтеза. Многие работы подтверждают это, однако, выделить эффект углекислого газа как эффект дополнительного "удобрения" крайне трудно на фоне влияния на продуктивность растений других факторов. Эти работы ещё раз подчёркивают необходимость развития исследований баланса углекислого газа и его роли в изменении параметров биосферы в климатической системе. Такие показатели климатической системы, как суточный и годовой ход температуры, могут быть связаны с особенностями баланса углекислого газа в климатической системе.

Максимальные суточные температуры также являются важным показателем изменения климата. Они повышаются в эпохи слабой мутности атмосферы. Наиболее яркий пример влияния аэрозолей на климат – потепление Арктики 1930-х годов, являвшееся потеплением летнего типа и происходившее при минимальной вулканической аэрозольной загрязнённости [2]. Здесь можно отметить, что аэрозольные частицы не только поглощают проходящую коротковолновую радиацию, тем самым приводя к охлаждению земной поверхности, но, являясь ядрами конденсации, приводят к образованию дополнительной облачности [22]. Последняя может вносить дополнительный вклад в охлаждение атмосферы. Количество облачных капель увеличивается с ростом концентрации аэрозоля, но их размер при этом уменьшается. Чем больше облачных капель, тем больше облако отражает солнечных лучей, приводя к охлаждению земной поверхности.

В данной работе мы рассмотрели погодичную динамику осреднённых за летний сезон минимальных (ночных) и максимальных (дневных) суточных температур. Для двух близко расположенных пунктов метеонаблюдений Минск (крупный город) и Марьино Горка (сельская местность) было выделено два 16-летних периода: 1977–1992 и 1999–2014 гг. как период интенсивного потепления и период паузы в потеплении климата, соответственно. На рисунке 7 верхние кривые представляют максимальные температуры и их линейные тренды, а нижние, соответственно, минимальные.

Из рисунка 7 следует, что дневные температуры в Марьино Горке остаются выше, чем в Минске как в первый (1977–1992 гг.), так и во второй (1999–2014 гг.) периоды. Это связано с тем обстоятельством, что аэрозольное загрязнение в большом городе (Минск) выше, чем в сельской местности (Марьино Горка). Эти различия стали особо заметны в последнее десятилетие.

Что касается ночных температур, то и в первый, и во второй периоды в городе они остаются выше, чем в сельской местности, поскольку городской "остров тепла" наиболее выражен в холодное время суток и холодное время года, когда тепловые выбросы в атмосферу максимальны [6].

Хотя приведённые на рисунке оценки трендов не являются статистически значимыми (см. также малые значения коэффициентов детерминации R^2), анализ тенденций изменения температуры в дневное и ночное время представляет

определённый интерес. Так, скорость роста ночных температур изменилась очень слабо (особенно это касается сельской местности), следовательно, потери на темновое дыхание растений увеличивались в одинаковом темпе на протяжении обоих периодов. Скорость потепления днём в последний период (1999–2014 гг.) существенно замедлилась, а ночью сохранилась практически без изменений на протяжении обоих периодов.

Из рисунка 7 также видно, что если в первый период и в городе, и в сельской местности скорость роста дневных температур в 1,5–2 раза превышала скорость роста ночных температур, то во второй период для сельской местности можно говорить об обратном соотношении скорости роста ночных и дневных температур, в то время как в городе рост дневных температур практически прекратился.

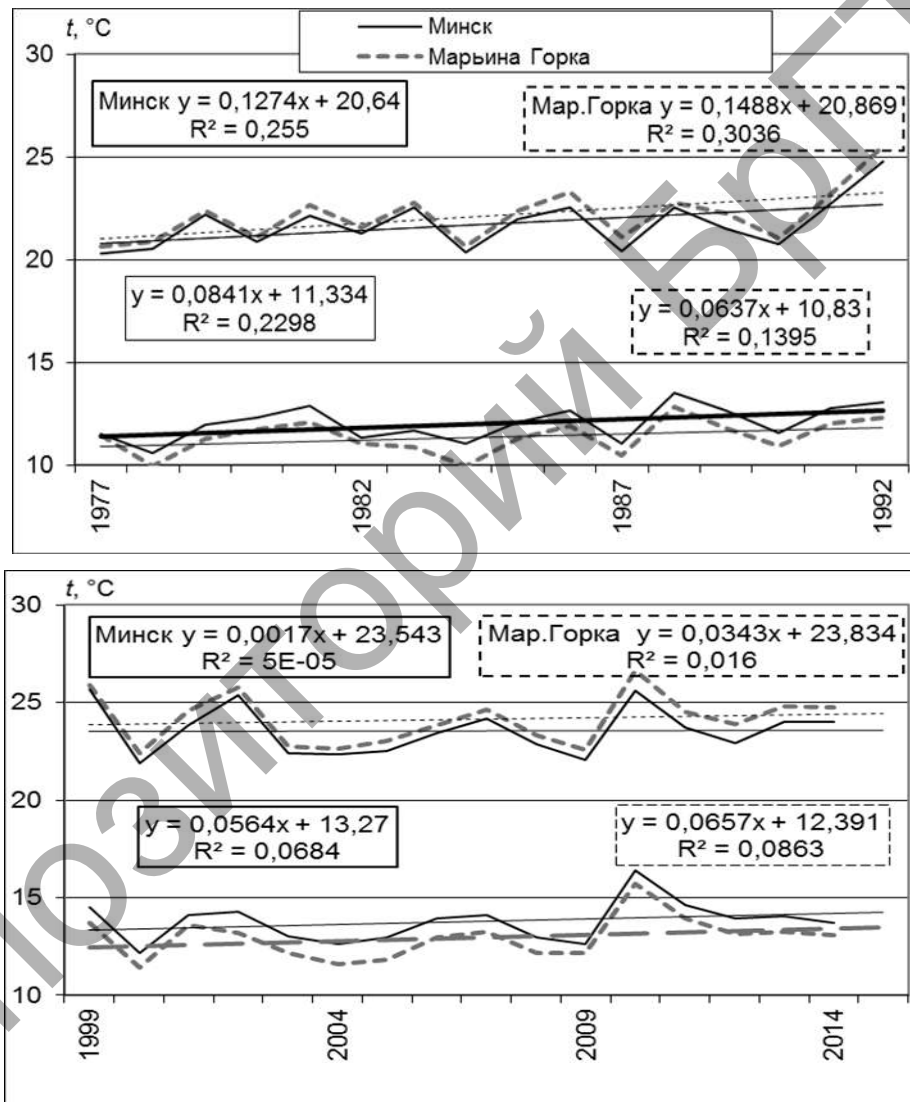


Рисунок 7 – Динамика летних минимальных (ночных) и максимальных (дневных) суточных температур за периоды 1977–1992 и 1999–2014 гг., ст. Минск и Марьяна Горка

Сопоставление коэффициентов трендов минимальных и максимальных суточных температур в городе и сельской местности (рисунок 7) даёт представление о динамике их различий для двух рассмотренных интервалов (1977–1992 и 1999–2014 гг.). При общем росте экстремальных суточных температур, как в Минске, так и Марьиной Горке, в оба периода можно говорить о наличии небольших различий между этими пунктами в скорости роста температур. В Марьиной Горке скорость роста максимальных температур выше, чем в Минске, как в

первом, так и во втором периоде. Эту особенность в изменении максимальных температур в городе и пригороде, вероятно, можно связать с меньшим компенсирующим воздействием аэрозоля на потепление климата, связанное с парниковыми газами, в сельской местности. При переходе от периода к периоду "разбежка" в росте дневных температур между Минском и Марьиной Горкой сохраняется: разности коэффициентов трендов дневных температур "Минск–Марьиная Горка" составляют $-0,02$ ²⁾ для первого и $-0,03$ ³⁾ для второго периода.

Что касается ночных температур, то скорость их роста оказалась практически одинаковой в обоих пунктах в оба периода. При этом, если в первый период они росли в Минске быстрее, чем в Марьиной Горке, то во второй период ситуация поменялась: для ночных температур разности коэффициентов трендов составляют $0,02$ ⁴⁾ и $-0,01$ ⁵⁾ для первого и для второго периода, соответственно.

В разностях дневных температур обозначаются две волны "разбежки" между Минском и Марьиной Горкой — окончание первой приходится на начало 90-х годов прошлого столетия, затем, после приблизительно 10-летней паузы, начинается вторая волна. Обе волны объясняются увеличением антропогенного аэрозольного загрязнения атмосферы и соответствующим снижением дневных летних температур в городе. Период отмеченной выше паузы совпадает с периодом падения промышленного производства в постсоветский период, сопровождавшегося очищением атмосферы над городом от антропогенных аэрозолей и соответствующим уменьшением дневных температур в Минске.

Как отмечалось выше, летние дневные температуры в Минске ниже температур в Марьиной Горке ввиду более высокого аэрозольного загрязнения в большом городе. Многолетний рост дневных температур согласуется с изменением прозрачности атмосферы [2]. На рисунке 8 представлены диаграммы сглаженных (1,2,1)-фильтром скользящих средневзвешенных значений максимальных суточных температур на ст. Минск и ст. Марьиная Горка, а также коэффициента мутности Линке T_2 .

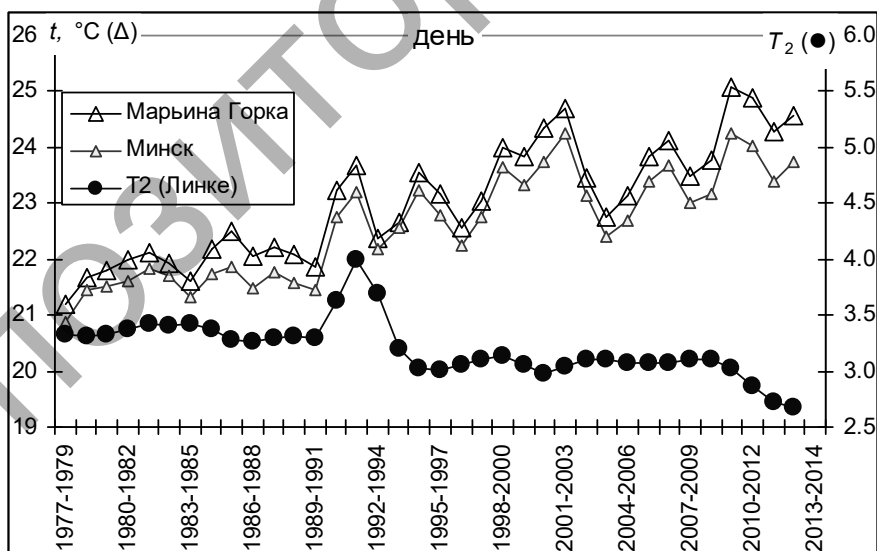


Рисунок 8 – 3-летние (1,2,1)-взвешенные средние значения летних максимальных суточных температур и коэффициента мутности Линке T_2 , 1977–2014 гг.

²⁾ = 0,127–0,149

³⁾ = 0,0017–0,0343

⁴⁾ = 0,0841 – 0,064

⁵⁾ = 0,0564 – 0,0657

Коэффициенты корреляции сглаженных рядов летних максимальных суточных температур с коэффициентом мутности Линке T_2 составляют -0.56 и -0.66 для ст. Минск и ст. Марына Горка, соответственно.

Заключение

Проанализированы неопределенности в изменении глобальной температуры, связанные с изменением плотности мировой метеорологической сети, а также различием оценок урбанизационной «поправки». Установлены систематические различия рядов изменений глобальной температуры, полученных различными авторами. Обращено внимание на определенные различия оценок глобальной температуры, опубликованных в разных источниках в разное время, связанные, в первую очередь, с различиями в величинах аномалий температуры. Отмечается, что причины обнаруженных завышений температуры в ряду данных, подготовленных Национальным центром климатических данных Национального агентства по океану и атмосфере (NOAA National Climatic Data Center), по сравнению с рядом отдела климатических исследований Университета Восточной Англии и Гадлеевского центра, могут быть связаны с неоднородностью ряда, обусловленной уменьшением плотности глобальной метеорологической сети в первую очередь в труднодоступных районах. Такое изменение пропорции числа городских и общего числа метеостанций приводит к увеличению вклада больших городов в общую оценку глобальной температуры и, как правило, завышению последней.

Установлено, что ввиду неполноты и сильной неоднородности данных начального периода наблюдений (после 1881 г.) корректный анализ суточных амплитуд на территории Беларуси возможен только начиная с 1977 г.

Выделены регионы статистически значимых региональных различий среднесезонных амплитуд суточной температуры. Для зимы это – восток и запад Беларуси, для остальных сезонов – север и юг.

Южные регионы в тёплые периоды (весна, лето, осень) характеризуются более высокими амплитудами, чем северные, что соответствует широтному ходу суточных амплитуд. Это правило не соблюдается для крупных городов юга Беларуси весной и летом ввиду минимальной облачности в эти сезоны, что способствует более яркому проявлению большего аэрозольного загрязнения в этих городах с падением дневных температур и, соответственно, уменьшением суточных амплитуд температуры.

Зимой в первом (восточном) кластере наблюдаются максимальные амплитуды, что связано увеличением континентальности климата при продвижении с запада на восток. Выявлен противофазный квазициклический характер динамики зимних и весенних среднесезонных суточных амплитуд температуры. Для периода современного потепления, начиная с конца 1970-х гг., характерно уменьшение зимних суточных амплитуд (почти на $1\text{ }^{\circ}\text{C}$ за 1988–2014 гг.) и соответствующее увеличение весенних амплитуд. Квазициклическость аналогичного характера установлена и для разброса сезонных амплитуд, максимальная изменчивость свойственна переходным сезонам.

Многолетняя изменчивость суточных амплитуд температуры содержит как трендовую, так и циклическую составляющие, характер их изменения зависит от сезона года. Полученные результаты могут служить предпосылкой для сверхдолгосрочного прогнозирования погоды и изменения климата. Так, например, уменьшение изменчивости зимних суточных амплитуд температуры позволяет учесть эту особенность при прогнозировании погоды и мониторинге климата.

Анализ средних летних минимальных и максимальных суточных температур двух близко расположенных пунктов метеонаблюдений: Минск (крупный город) и Марьина Горка (сельская местность) за два 16-летних периода (1977–1992 и 1999–2014 гг.) показал, что разности температур "Минск–Марьина Горка" положительны ночью ("остров тепла" в большом городе) и отрицательны днём ввиду меньшей мутности атмосферы в сельской местности по сравнению с городом.

Рост максимальных суточных летних температур указывает на очищение атмосферы от вулканического аэрозоля и наступление периода слабой мутности атмосферы (1996–2014 гг.). Снижение мутности атмосферы привело к интенсификации фотосинтеза в результате увеличения притока коротковолновой радиации и повышения дневных температур. С другой стороны, небольшая положительная скорость роста ночных температур сохранилась практически без изменений (особенно это касается сельской местности), ввиду этого потери на темновое дыхание растений продолжили свой прежний рост.

Список литературы

1. Jones, P. D. Assessment of urbanization effects in time series of surface air temperature over land / P. D. Jones [et al.] // *Nature*. 13. Sep. – 1990. – Vol. 347. – P. 169–172.
2. Логинов, В. Ф. Радиационные факторы и доказательная база современных изменений климата / В. Ф. Логинов. Минск: Беларуская навука, 2012. 266 с.
3. Прокачева, В. Г. Зоны хронического загрязнения вокруг городских поселений и вдоль дорог по республикам, краям и областям Российской Федерации : справ. / В.Г. Прокачева, В. Ф. Усачев, Н. П. Чмутова. – СПб., 1992.
4. Хайруллин, К. Ш. Климатические тренды и моделирование регулирующей роли биосферы / К. Ш. Хайруллин, Ю. А. Пичугин, М. З. Образцова // *Изв. РАН. Сер. геогр.* – 2009. – № 2. – С. 52–56.
5. Гребенюк, Н. П. Про зміни температури повітря в містах України у процесі урбанізації / Н. П. Гребенюк, М. Б. Барабаш // *Наук. праці УкрНДГМІ*. 2004. – Вип. 253. – С. 148–154.
6. Логинов В.Ф. Причины и следствия климатических изменений. Мн. 1992. 320 с.
7. Логинов, В.Ф. Глобальные и региональные изменения климата: причины и следствия / В.Ф. Логинов. – Минск, 2008.
8. Груза, Г.В. Наблюдаемые и ожидаемые изменения климата России: температура воздуха / Г.В. Груза, Э. Я. Ранькова. – М., 2012.
9. Логинов, В.Ф. Глобальные и региональные изменения климата и их доказательная база / В.Ф. Логинов // Докл. на Междунар. науч. конф. «Глобальные и региональные изменения климата». 16–19 ноября 2010 г., Киев, Украина. – Киев, 2011. – С. 23–37.
10. Climate at a Glance. National Climatic Data Center. Mode access: <http://www.ncdc.noaa.gov/cag/time-series/global>. Дата доступа: 13.01.2016.
11. Morice, C.P., Kennedy, J.J., Rayner, N.A. and Jones, P.D., 2012: Quantifying uncertainties in global and regional temperature change using an ensemble of observational estimates: the HadCRUT4 dataset. *Journal of Geophysical Research*, 117, D08101, doi:10.1029/2011JD017187
12. Боровиков, В. П. STATISTICA. Искусство анализа данных на компьютере: Для профессионалов. СПб, 2003. 688 с.
13. Тюрин, Ю.Н., Макаров, А.А. Статистический анализ данных на компьютере / под В Э. Фигурнова – М.: НФРА-М. 1998. – 528 с.
14. Максимов, И.В., Саруханян, Э.И., Смирнов, Н.П. Океан и космос. Л.: Гидрометеоиздат, 1970. 214 с.
15. Халафян, А.А. STATISTICA 6. Статистический анализ данных. – М.: Бином-Пресс, 2007. – 512 с.
16. МакКитрик, Р. Тренды в данных о температуре воздуха, полученные с учетом внутренне обусловленной корреляции // *Известия РГО.* – 2002. – Т. 134.– Вып. 3. – С. 16–24.

17. Ebbesmeyer, C.C., Cayan, D.R., McKelvin, D.R., Nichols, F.H., Peterson, D.H., and Redmond, K.T. 1976 step in Pacific climate: Forty environmental changes between 1968–1975 and 1977–1984 // J. L. Betancourt and V. L. Tharp (eds). Proceedings of the 1th Annual Pacific Climate (PACCLIM) Workshop, April 1990. California Department of Water Resources. Interagency Ecological Study Program Technical Report 26. – 1991. – P. 115–126.

18. Логинов, В.Ф. Тренды и паузы в изменении глобального климата в различные сезоны года / Логинов, В.Ф. Микуцкий, В.С., Бровка Ю.А. // Природопользование. – 2014. – Вып. 25. – С. 10–18.

19. Семёнов, С.М. Парниковые газы и современный климат Земли. – Изд. центр "Метеорология и гидрология". – М. 2004. – 175 с.

20. Idso, S.B. Carbon dioxide, – friend or foe? Mempe, Arisona. IBR Press. 1982.

21. Reichstein, M. Climate extremes and the carbon cycle // Global Change. 2014. Issue 82, May. Pp. 17–18.

22. Ekman, A. The little things matter // Global Change. Issue 82. May 2014. 16–17 pp.

УДК 631.6

РЕЖИМЫ КОМПЛЕКСНОЙ МЕЛИОРАЦИИ ПО ВОССТАНОВЛЕНИЮ ПЛОДОРОДИЯ ДЕГРАДИРОВАННЫХ И ЗАГРЯЗНЕННЫХ ПОЧВ

Мажайский Ю.А.¹, Гусева Т.М.²

¹ФГБНУ ВНИИГиМ Мещерский филиал, г. Рязань, Россия, mail@mntc.pro

²Рязанский медицинский университет им. академика И.П. Павлова, г. Рязань, Россия, guseva.tm@bk.ru

We have carried out a research to determine the content of heavy metals in the soils of the Ryazan region and analyzed the level of their pollution. We have proposed the methods and systems for control, protection and detoxification of technogenically contaminated soils in order to provide ecologically clean agricultural products.

Введение

При значительных техногенных геохимических нагрузках на агроландшафты особое значение приобретает вопрос экологического прогнозирования природопользования. Научные исследования этой проблемы направлены на установления критических значений для компонентов экосистемы, классификацию техногенных источников вредных веществ, уровней загрязнения почв.

Необходимость определения предельно допустимых показателей (Y), которые базируются на концепции устойчивости экосистемы, характеризующие ее устойчивость, соответствуют антропогенной нагрузке (X) на эту систему в зависимости $Y = f(x)$. В природопользовании это положение известно как закон максимума урожайности. Из рисунка 1 видно, что эта связь не линейна. Если дифференциальную производную приравнять к нулю, то это дает возможность установить оптимальное соотношение преобразованных и естественных площадей экосистемы, при котором достигается максимальный эколого-социально-экономический эффект.

Переходя от концептуальной к расширенной трактовке, можно предположить, что высокие техногенные нагрузки на агроландшафты способствуют загрязнению окружающей среды, что ведет к снижению продуктивности агроцено-