

ЕКОЛОГІЧНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ГЕОСИСТЕМ

УДК УДК 911.9

А. В. ХОЛОПЦЕВ, д-р геогр. наук, проф., **Н. В. БУРЛАЙ**

Севастопольская морская академия

kholoptsev@mail.ru

ПРОГНОЗ ИЗМЕНЕНИЙ СРЕДНИХ ТЕМПЕРАТУР ЛЕТНЕГО СЕЗОНА В г. ХАРЬКОВЕ С УЧЕТОМ СУБОПТИМАЛЬНОГО НАБОРА ФАКТОРОВ

Предложена методика поиска факторов, использование которых в качестве аргументов множественно-регрессионной модели изменений средних температур приземного слоя атмосферы летнего сезона в г. Харьков, позволяет получить прогнозы данных характеристик, обладающие наибольшей точностью при упреждениях 1-4 года, при условии, что в будущем статистические связи между ними сохраняются неизменными. Разработан прогноз до 2032 года.

Ключевые слова: прогнозирование, средняя температура, летний сезон, г. Харьков, множественно-регрессионная модель, значимые факторы

Kholoptsev A. V., Burlay N. V. THE FORECAST OF AVERAGE TEMPERATURES CHANGES IN SUMMER SEASON IN THE CITY OF KHARKOV WITH ACCOUNT OF THE SUBOPTIMAL SET OF FACTORS

The put forward technique of search for factors, the use of which as arguments of the multiple-regression model of changes in average temperatures of the surface layer of the atmosphere in summer season in the city of Kharkov makes possible the forecast of these characteristics with the greatest accuracy in advance of 1-4 years, provided that in the future statistical relationships between them remain unchanged. The forecast for the period to 2032 has been set up.

Keywords: forecasting, climatic normals, the city of Kharkov, the average temperatures in summer season, suboptimal set of factors, optimization

Холопцев О. В., Бурлай Н. В. ПРОГНОЗ ЗМІН СЕРЕДНІХ ТЕМПЕРАТУР ЛІТНЬОГО СЕЗОНУ У М. ХАРКОВІ З УРАХУВАННЯМ СУБОПТИМАЛЬНОГО НАБОРУ ЧИННИКІВ.

Запропоновано методику пошуку чинників, використання яких, як аргументів множинно-регресійної моделі змін середніх температур приземного шару атмосфери для літнього сезону у м. Харків, дозволяє отримати прогнози цих характеристик, що є найбільш точними при запередженнях 1-4 роки, за умов, коли у майбутньому статистичні зв'язки між ними залишаться незмінними. Розроблено прогноз до 2032 р.

Ключові слова: прогнозування, середні температури літнього сезону, м. Харків, множинно-регресіона модель, суттєві чинники

Введение

Изменения средних температур приземного слоя атмосферы в летний сезон на территориях ландшафтных комплексов умеренного климатического пояса нашей планеты во многом определяют условия жизни их населения, развития растений, почв и водных ресурсов, а также значимо влияют на водно-эрозионные и экзогенные геологические процессы, изменяющие их рельеф. Поэтому совершенствование методик их прогнозирования является актуальной проблемой климатологии, физической географии

и геофизики ландшафтов, а также экологии.

Наибольший интерес решение рассматриваемой проблемы представляет для территорий, подвергающихся интенсивному воздействию техногенных факторов, одной которых является такой регион Украины, как Харьковская область [1].

Изменения температурного режима, характерного для рассматриваемой территории в летние месяцы, непосредственно связаны с происходящими в регионе изменениями климата. Тем не менее, применить для их прогнозирования те же подходы, которые ныне используются при разработке

долгосрочных прогнозов изменений глобального климата, весьма непросто.

Главной методологической основой долгосрочного прогнозирования указанного процесса является численное моделирование динамики климатической системы нашей планеты с помощью глобальных моделей общей циркуляции атмосферы и океана [2-4]. Подобные модели наиболее эффективны при решении рассматриваемой задачи в отношении глобального климата. Вместе с тем, чем меньше размеры территории и чем «эксклюзивней» ее ландшафты, тем большее влияние на изменения ее климата оказывают местные факторы. Поэтому при использовании для прогнозирования изменений их местного климата тех же моделей адекватность получаемых результатов является не всегда удовлетворительной. Еще сложнее получить таким путем практически значимые результаты при прогнозировании изменений их средних температур, которые усреднены за столь короткий промежуток времени как летний сезон.

В полной мере это относится и к территории Харьковской области, которая расположена на северо-востоке Украины и представляет собой волнистую равнину, северо-восточную часть которой образует склон Среднерусской возвышенности, а ее южную часть – отрог Донецкого кряжа. Северная часть региона расположена в лесостепной, а его южная часть в степной ландшафтной зоне.

Харьковская область является одним из наиболее экономически развитых регионов Украины, а на ее территории размещены многие ее крупнейшие промышленные предприятия. Вследствие этого ландшафтные комплексы данного региона Украины уже более столетия подвергаются мощному техногенному воздействию [1].

Так как многие из местных факторов, вызывающих изменения температурного режима на территории Харьковской области, являются ненаблюдаемыми, при разработке прогнозов этих процессов альтернативой упомянутому подходу могут служить статистические методы [5,6]. Подобные методы основаны на анализе тех или иных временных рядов, отражающих изменения каких-либо характеристик изучаемой местности, вследствие чего проблем с регионализацией его результатов не существует. Более того

имеет место обратная проблема – корректность попыток обобщения точечных результатов на некоторую территорию всегда вызывает немалые сомнения.

Прогнозам, разработанным с использованием статистических подходов, свойственен и еще один существенный недостаток – они адекватными являются далеко не всегда.

Соответствие таких прогнозов действительности возможно лишь в случае, если в наборе аргументов соответствующей прогностической модели присутствуют все факторы, которые в будущем, для которого они разрабатываются, будут действительно значимо влиять на состояние изучаемого процесса. Предугадать такие факторы удастся далеко не всегда, вследствие чего статистические прогнозы всегда вызывают вполне обоснованные сомнения практиков.

Вместе с тем, факторы, которые в прошлом вызвали происходившие изменения любых рассматриваемых характеристик метеоусловий, обычно могут быть установлены. Из этого следует, что наверняка существуют также наборы факторов, которые вызовут их изменения в будущем, весь вопрос в том – как их найти.

Прогнозы, учитывающие всю совокупность таких факторов, гарантировано являются наиболее адекватными. Поэтому в дальнейшем будем называть подобную совокупность факторов – оптимальным набором.

Выявление оптимального набора факторов представляет собой главную проблему при разработке любых статистических прогнозов. В строгой постановке задача их выявления является практически не разрешимой, так как все факторы, которые вызовут изменения состояния прогнозируемого процесса в будущем, ведомы одному лишь Богу.

Разрешимой является задача поиска наилучшего, в смысле некоторого критерия, набора факторов среди заданного их исходного множества (в котором некоторые значимые факторы изучаемого процесса в принципе могут отсутствовать). Такой набор в дальнейшем будем называть субоптимальным.

Поскольку будущее всегда многовариантно, каждому его сценарию и каждому исходному множеству факторов изучаемого процесса соответствует тот или иной субоптимальный их набор.

К числу наиболее вероятных, как правило, относится сценарий будущего, при котором статистические связи изучаемого процесса и его факторов, которые имели место в прошлом, не изменятся. Последнее означает, что математическая модель этого процесса, которая была идентифицирована с использованием результатов его наблюдений, соответствующих одному отрезку его предыстории, будет столь же адекватно описывать изменения его состояний и на других отрезках времени, в том числе, относящихся и к будущему.

Очевидно, что на отрезках времени, для которых адекватным является допущение, согласно которому, мир развивается по данному сценарию, выявление субоптимального набора аргументов прогностических моделей возможно путем анализа предыстории изучаемого процесса и его факторов.

На территории Харьковской области наблюдения за изменениями температур приземного слоя атмосферы впервые начались на метеорологической обсерватории г. Харьков, которая была создана профессором М. Косичем в 1891 г., в университетском саду. В 1914 г. на территории Харьковской губернии функционировало 37 метеостанций. Самые высокие темпы развития сети метеорологических наблюдений в регионе пришлось на 50-е-60-е годы. Ныне многие из созданных тогда метеостанций продолжают свою работу, однако среди полученных на них временных рядов результатов наблюдений самым длинным и непрерывным является ряд, соответствующий метеорологической обсерватории г. Харьков. Он не содержит пропусков в период с января 1951 г.. Учитывая расположение данной обсерватории, наблюдения за изменениями темпера-

туры воздуха, которые осуществляются на ней, могут в начальном приближении рассматриваться как репрезентативные для всей территории Харьковской области.

Многие факторы, которые могли влиять на подобные изменения, установлены. Тем не менее, особенности соответствующих упомянутому сценарию будущего прогнозов изменений средних температур летнего сезона на территории, где она расположена, которые получены с учетом субоптимального набора факторов, до сих пор изучены недостаточно.

Поэтому объектом исследования в данной работе являлись изменения средних температур летнего сезона, характерных для территории Харьковской области.

Предметом исследования являлись прогнозы изменений средних температур летнего сезона на территории, где расположена метеорологическая обсерватория г. Харьков, которые получены с использованием субоптимальных наборов факторов.

Целью данной работы является выявление особенностей прогнозов изменения средних температур летнего сезона в приземном слое атмосферы над указанной территорией, разработанных с учетом субоптимального набора их факторов.

Для достижения указанной цели решены следующие задачи:

1. Выявление набора факторов межгодовых изменений средних температур воздуха в летний сезон, являющегося субоптимальным при прогнозировании этого процесса по наблюдениям на метеорологической обсерватории г. Харьков.

2. Определение параметров прогностической модели изучаемого процесса и особенностей его прогнозов.

Материалы и методы

Согласно современным представлениям о причинах изменений средних температур приземного слоя атмосферы над регионами Восточной Европы, характерных для летнего сезона, к числу наиболее существенных для территории Харьковской области, принято относить факторы, влияющие на ее тепловой режим и циркуляцию [4, 7].

По мнению Международной группы экспертов по проблемам изменений климата, наиболее существенным их фактором является увеличение средней концентрации в земной атмосфере углекислого газа, которое вызвано разбалансированностью биогеохимического круговорота углерода [4]. Последнее обусловлено все более интенсивным потреблением человечеством ископаемых угле-

водородов, приводящим к росту техногенных выбросов упомянутого газа в атмосферу.

Возможно, в какой-то мере способен влиять на температуру воздуха на рассматриваемой территории и такой глобальный фактор, как вариации солнечной активности [8].

Впервые наличие статистическую связь между «возмущениями климата» и солнечной активностью выявил в 1902 году М. А. Боголепов [9]. Это фактор считали первопричиной климатических изменений К. К.Марков [10], П.П. Предтеченский [11], А. В. Шнитников [12], М. С.Эйгенсон [13]. Того же мнения придерживаются и такие современные ученые, как Д. Эдди [14], Е.П. Борисенков[15], Х. Абдулсаматов [16], К. Моханакумар[17] и др.

Согласно прогнозам солнечной активности на первую половину XXI века [16], средний уровень соответствующих этому времени циклов солнечной активности может быть заметно ниже, чем в XX веке. Вследствие этого, по мнению упомянутого автора, в первой половине нынешнего столетия, несмотря на продолжающееся увеличение содержания в атмосфере парниковых газов, возможно существенное похолодание глобального климата. Последнее позволяет предполагать, что в указанный период могут снижаться значения средних температур воздуха в летний период также на территории Харьковской области.

Существование причинной связи изменений климата с вариациями солнечной активности отнюдь не является общепризнанным. По мнению [18, 19], даже если такая связь и существует, то значимой она скорее всего не является, поскольку наряду с ней на тот же процесс влияет и такой мощнейший фактор как взаимодействие океана и атмосферы. Даже если правы они, из этого вовсе не следует, что при определенных условиях между вариациями солнечной активности и изменениями температур летнего сезона на территории Харьковской области не могут проявляться значимые статистические связи, а их учет при прогнозировании изучаемого процесса может способствовать повышению эффективности его результатов.

Наряду с упомянутыми глобальными факторами, на температурный режим рассматриваемой территории способны значи-

мо влиять многие крупномасштабные процессы в системе Океан-Атмосфера, которые способны влиять на вариации характеристик атмосферной циркуляции. В летние месяцы над ней, как правило, доминируют воздушные массы, которые сформировались над Северной Атлантикой [20]. Поэтому их средние температуры определяются значениями средней поверхностной температуры данного океанического региона.

Межгодовые изменения указанной характеристики носят осциллирующий характер, вследствие чего они носят название Атлантическая мультидекадная осцилляция (далее АМО)[21].

АМО представляет собой сложное колебание, доминирующая мода которого имеет период близкий к 40 годам. Как количественная характеристика состояния этого процесса рассматривается глобальный климатический индекс АМО. Его значение вычисляют как аномалию средней поверхностной температуры Северной Атлантики, со скользящим осреднением 10 лет и выражают в градусах Цельсия. Временные ряды, отражающие межгодовые изменения среднемесячного значения индекса АМО, в [22] представлены для каждого месяца за период 1856-2014 гг.

К числу значимых факторов изучаемого процесса могут относиться также вариации аномалий средних поверхностных температур акваторий Тихого океана, расположенных в северном полушарии, а также всей тропической зоны нашей планеты, мониторинг которых осуществляют NOAA (США) [23] и метеорологический центр Гадлея (Великобритания) [24].

Основой современных представлений об изменениях характеристик общей циркуляции атмосферы являются работы Г. Я. Вангейма [25], А. А. Гирса [26], Б. Л. Дзердиевского [27], в которых показано, что рассматриваемые процессы носят характер сложных колебаний. Наиболее существенным их проявлением является непрерывно происходящая смена доминирующих типов общей циркуляции атмосферы, которые различаются количеством и направлением блокирующих процессов, а также выходов южных циклонов.

В соответствии с типизацией циркуляции атмосферы Северного полушария, предложенной в [27, 28], различные ее разновидности предложено относить к 13 типам. Выделен также 41 элементарный циркуляционный механизм (ЭЦМ), для которого составлена характерная схема перемещения циклонов и антициклонов. Подобные механизмы делятся на 4 группы:

-зональную (антициклон над полюсом, блокирующие процессы отсутствуют, выходов южных циклонов –два, три);

-с нарушением зональности (антициклон над полюсом, одним блокирующим процессом и одним-тремя выходами южных циклонов);

-меридиональную северную (антициклон над полюсом, два-четыре как блокирующих процесса, так и выхода южных циклонов);

- меридиональную южную (циклон над полюсом, блокирующие процессы отсутствуют, три-четыре выхода южных циклонов).

Далее будем обозначать их как З, НЗ, МС МЮ соответственно.

ЭЦМ, относящиеся к одной и той же , либо различным группам, в течение каждого года многократно сменяют друг друга. Продолжительность существования каждого из них составляет не менее суток[28]. Последовательности подобных смен в разные годы, между собой существенно различаются. При этом в каждом году преобладающими являются ЭЦМ, относящиеся к какой либо одной из перечисленных групп.

Установлено, что доминирование на протяжении года ЭЦМ, которые относятся к некоторой группе, может продолжаться нескольких десятилетий. Такие периоды Б. Л. Дзердиевский назвал циркуляционными эпохами [27].

Временные рамки тех или иных циркуляционных эпох определяются по превышениям суммарных продолжительностей за год периодов преобладания ЭЦМ, относящихся к соответствующей группе, их среднего уровня (оцененного за весь период наблюдений).

Учитывая это, как фактический материал в данной работе использованы представленные в метеорологическом архиве

Украины временные ряды среднемесячных значений температур воздуха, зафиксированных на метеорологической обсерватории г. Харьков за весь период проводимых на ней наблюдений. Также использованы:

- временные ряды средних концентраций в атмосфере диоксида углерода, содержащиеся в [29, 30];

- среднемесячных значений индекса АМО за 1856-2003гг. [22];

- средних поверхностных температур всех акваторий Мирового океана, расположенных в северном полушарии за 1880-2013 гг. [23];

- всех акваторий тропической зоны нашей планеты за 1850-2013 гг. [24];

- чисел Вольфа за 1749-2013 гг., представленные в [31];

- суммарных продолжительностей в том или ином году периодов преобладания над северным полушарием ЭЦМ, относящихся к той или иной их группе[32].

Среднее значение любой рассматриваемой характеристики, соответствующее летнему периоду некоторого года, вычислено как среднее арифметическое ее среднемесячных значений за относящиеся к нему месяцы май – сентябрь.

Одним из наиболее универсальных методом моделирования процессов, заданных своими временными рядами, является метод множественной регрессии[5].

Если статистические связи изучаемого процесса и его факторов, учитываемых в качестве аргументов математической модели, достаточно сильны и устойчивы к временным сдвигам соответствующих временных рядов, данный метод может быть применен и для его прогнозирования. Возможности прогнозирования изменений средних температур летнего сезона на территории, где расположена метеорологическая обсерватория г. Харьков, с использованием метода множественной регрессии, а также субоптимального набора аргументов, состоящего из различных фрагментов временных рядов, описывающих изменения состояний перечисленных выше факторов, ранее не рассматривались.

Как прогностическая модель изменений средних температур воздуха для летнего сезона на рассматриваемой территории ис-

пользовано уравнение линейной множественной регрессии:

$$Y_i = c_0 + \sum_{k=1}^{N_1} c_i x_{ik} + \sum_{k=N_1+1}^{N_2} c_i x_{ik} + \sum_{k=N_2+1}^{N_3} c_i x_{ik} + \dots + \sum_{k=N_7+1}^{N_8} c_i x_{ik} \quad (1)$$

Здесь Y_i – значение прогнозируемой характеристики в i году;

N_8 – количество аргументов рассматриваемой модели, которое выбрано равным 20;

N_1 – количество аргументов данной модели, которыми являются входящие в состав их субоптимального набора, фрагменты ряда предыстории изменений прогнозируемой характеристики, различающиеся годом своего начала;

N_2-N_1 – количество входящих в тот же набор аргументов данной модели, являющихся выбранными фрагментами ряда средних за зимний сезон значений чисел Вольфа;

N_3-N_2 – количество аргументов той же модели, являющихся выбранными фрагментами ряда средних за зимний сезон значений концентраций диоксида углерода в приземном слое атмосферы;

N_4-N_3 – количество аргументов данной модели, являющихся выбранными фрагментами ряда средних за летний сезон значений индекса АМО;

N_5-N_4 – количество аргументов данной модели, являющихся выбранными фрагментами ряда средних за летний сезон значений средних поверхностных температур северной части Тихого океана;

N_6-N_5 – количество аргументов данной модели, являющихся выбранными фрагментами ряда средних за летний сезон значений суммарной продолжительности периодов преобладания ЭЦМ, относящихся к группе МЮ;

N_7-N_6 – количество аргументов данной модели, являющихся выбранными фрагментами ряда средних за летний сезон значений суммарной продолжительности периодов преобладания ЭЦМ, относящихся к группам З и НЗ;

N_8-N_7 – количество аргументов данной модели, являющихся выбранными фрагментами ряда средних за летний сезон

значений суммарной продолжительности периодов преобладания ЭЦМ, относящихся к группе МС.

x_{ik} – значение k – аргумента модели, соответствующего i – году;

c_k – значение k коэффициента рассматриваемой модели рассчитанное по методу наименьших квадратов и соответствующих i году.

При вычислении значений c_k предполагалось, что они образуют компоненты $N+1$ мерного вектора C , который находится из соотношения:

$$C = A^{-1}B \quad (2)$$

Где A квадратная матрица ранга $N+1$, размерами $(N+1) \times (N+1)$, определяемая,

как

$$A = \begin{Bmatrix} M & \sum_{i=1}^M x_{i,1} & \sum_{i=1}^M x_{i,2} & \dots & \sum_{i=1}^M x_{i,N} \\ \sum_{i=1}^M x_{i,1} & \sum_{i=1}^M x_{i,1}x_{i,1} & \sum_{i=1}^M x_{i,2}x_{i,1} & \dots & \sum_{i=1}^M x_{i,N}x_{i,1} \\ \sum_{i=1}^M x_{i,2} & \sum_{i=1}^M x_{i,1}x_{i,2} & \sum_{i=1}^M x_{i,2}x_{i,2} & \dots & \sum_{i=1}^M x_{i,N}x_{i,2} \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ \sum_{i=1}^M x_{i,N} & \sum_{i=1}^M x_{i,1}x_{i,N} & \sum_{i=1}^M x_{i,2}x_{i,N} & \dots & \sum_{i=1}^M x_{i,N}x_{i,N} \end{Bmatrix}$$

B – $N+1$ мерный вектор столбец, определяемый соотношением:

$$B = \begin{Bmatrix} \sum_{i=1}^M y_i \\ \sum_{i=1}^M y_i x_{i,1} \\ \dots \\ \sum_{i=1}^M y_i x_{i,N} \end{Bmatrix}$$

A^{-1} – матрица, обратная по отношению к A ;

M – длина фрагментов временных рядов изучаемого процесса и его факторов, учитываемых при вычислении коэффициентов c_k . Значение M выбрано равным 40.

При вычислении значений c_k использованы фрагменты предыстории Y_i , которые начинаются с 1972 гг.

Как уже упоминалось выше, качество прогнозов изучаемого процесса, получаемых с помощью рассматриваемой модели, определяется тем, какие именно фрагменты

временных рядов его факторов выбраны в качестве ее аргументов.

Для выбора фрагментов временных рядов факторов изучаемого процесса, использование которых в качестве аргументов модели (1) получает получить наиболее адекватные его прогнозы, применена процедура безусловной оптимизации их набора. В исходное множество наборов факторов, среди которых осуществлялся поиск наилучшего, включены все возможные наборы фрагментов временных рядов факторов изучаемого процесса, которые начинаются не позже 1960 года. При оптимизации как критерий качества выявляемого набора подобных фрагментов, использовано соотношение:

$$\rho = \min \sum_{i=1}^4 \sigma_i \quad (3)$$

здесь σ_i – среднеквадратическое отклонение прогноза состояния рассматриваемого процесса с упреждением i , значение которого лежит в пределах от 1 до 4 лет, который получен при использовании данного набора факторов в качестве аргументов x_{ik} модели (1).

Значения σ_i рассчитывались для каждого прогнозируемого процесса, с использованием в качестве фактических, значений средних за летние сезоны 1997-2013 гг. температур воздуха на территории, где расположена метеорологическая обсерватории г. Харьков. При вычислении σ_i за тот же период оценивались и значения систематических погрешностей прогнозов m_i , которые скомпенсированы.

На первом этапе процедуры прогнозирования значений рассматриваемой характеристики, соответствующих указанной территории, осуществлен поиск набора аргументов модели (1), которому соответствует минимальное значение критерия ρ .

Результаты и их анализ

В соответствии с изложенной методикой, для временного ряда, отражающего изменения средних температур летнего сезона на метеорологической обсерватории г. Харьков, определены годы начала фрагментов временных рядов рассматриваемых факторов этого процесса, которые образуют

При этом использован такой мощный метод поиска безусловного глобального экстремума, как метод случайного поиска [33].

На втором ее этапе, используя в качестве x_{ik} - значения аргументов модели (1), входящих в выявленный субоптимальный набор факторов, а в качестве Y_i – члены изучаемого временного ряда за 1972-2013 гг., с помощью (2) определены коэффициенты прогностической модели s_k .

На третьем этапе, вычислены значения прогнозов средних за зимний сезон температур воздуха на метеорологической обсерватории г. Харьков, которые соответствуют тому или иному году, опережающий 2013 на время T .

Очевидно, что прогноз, получаемый в соответствии с описанной методикой, может являться адекватным, лишь в случае, если в будущем, для которого он построен, осуществится учитываемый сценарий. Гарантировать последнее при любом упреждении прогноза невозможно, вместе с тем, очевидно, что его вероятность тем больше, чем меньше упреждение.

Учитывая особенности критерия (3), понятно, что предложенная методика позволяет получить прогнозы изменений средних температур летнего сезона на метеорологической обсерватории г. Харьков, которые с наибольшей вероятностью явятся адекватными при упреждениях 1-4 года. Эти прогнозы являются наиболее точными из всех возможных прогнозов, которые могут быть построены с использованием любых других наборов тех же факторов (отличающихся от факторов, образующих субоптимальный набор, годом начала соответствующего фрагмента их временного ряда). Адекватными разработанные прогнозы могут оказаться также и при некоторых других временных сдвигах, превышающих 4 года.

субоптимальные наборы аргументов модели (1). Выявленные значения годов начала таких фрагментов представлены в табл. 1. Как видно из таблицы 1, состав субоптимального набора аргументов модели (1), которые обеспечивает наиболее точное прогнозирование изменений средних за

летний сезон температур воздуха на метеорологической обсерватории г. Харьков, включает фрагменты временных рядов далеко не всех факторов, способных значимо влиять на них.

Для установленного таким образом субоптимального набора факторов рассчитаны значения коэффициентов модели 1, которые представлены в таблице 2.

На рисунке 1 представлены зависимости от времени фактических значений средних за летний сезон температур воздуха на метеорологической обсерватории г. Харьков в период 1972-2013 гг., результатов моделирования (ряд 2), прогнозирования на период 2015-2032 гг. (ряд 3), а также границы доверительного интервала [+ ρ ; - ρ].

Таблица 1

Выявленные значения годов начала фрагментов всех рассматриваемых временных рядов, образующих субоптимальный набор при прогнозировании изменений средних за летний сезон температур в г. Харьков

№	Фактор	Год начала	№	Фактор	Год начала
1	amo	1886	11	Нар зон	1933
2	amo	1901	12	Нар зон	1937
3	amo	1902	13	Мер сев	1900
4	amo	1935	14	Мер сев	1951
5	amo	1936	15	Мер южн	1927
6	amo	1937	16	Мер южн	1929
7	amo	1939	17	Мер южн	1932
8	amo	1940	18	Мер южн	1933
9	Нар зон	1927	19	Мер южн	1954
10	Нар зон	1930	20	W	1776

Таблица 2

Значения коэффициентов модели (1) изменений средних за летний сезон температур воздуха на метеорологической обсерватории г. Харьков

K	c _k	K	c _k	k	c _k	k	c _k
0	21.87803	6	0.119613	12	-0.01414	18	-0.01374
1	-2.15573	7	1.35176	13	0.004455	19	0.010259
2	2.23288	8	0.351071	14	-0.01973	20	-0.00432
3	0.184159	9	-0.00207	15	-0.00426	-	-
4	-0.15973	10	-0.00064	16	-0.00721	-	-
5	-1.42488	11	0.008841	17	0.002928	-	-

Из рисунка 1 следует, что в ближайшие годы снижение средних температур летнего сезона в г. Харьков, начавшееся здесь в 2010 г., продолжится. Данный результат лишь на первый взгляд представляется парадоксальным и противо-

речащим существующим представлениям о глобальном потеплении климата. В действительности полученные результаты полностью согласуются с результатами мониторинга изменений в XXI веке

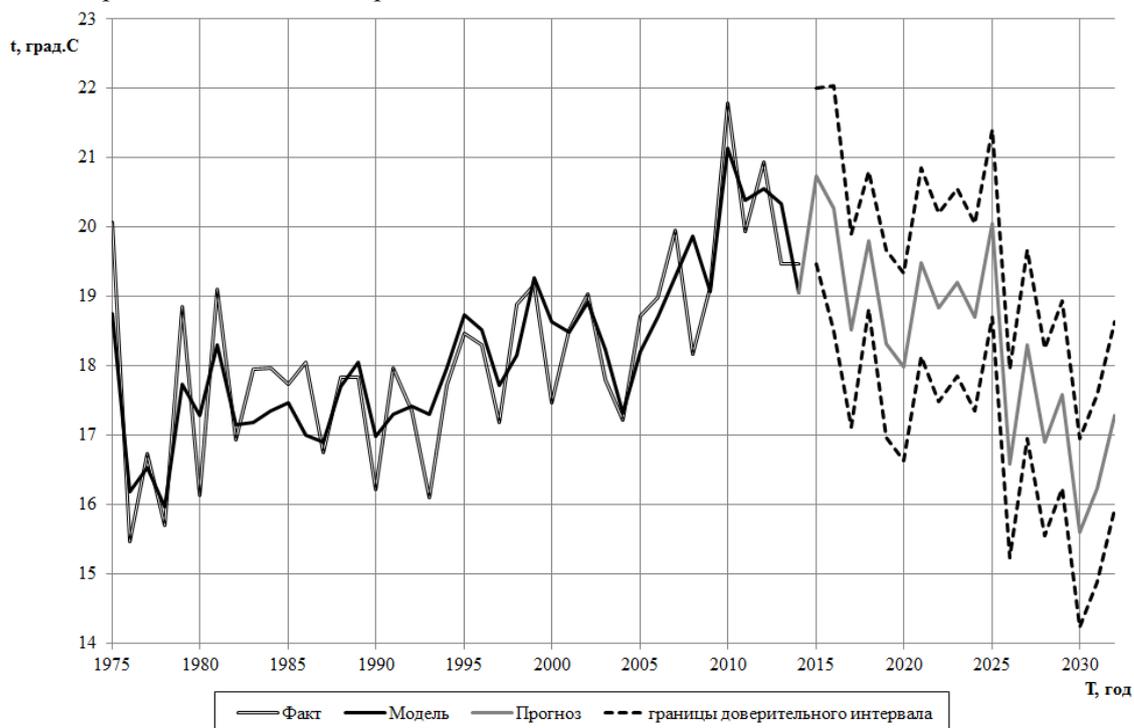


Рис. 1 – Зависимости от времени фактических значений средних за летний сезон температур воздуха на метеорологической обсерватории г. Харьков в период 1972-2013 гг. (ряд1), результата ее моделирования (ряд 2), прогнозирования на период 2015-2032 гг. (ряд 3), а также положение границ доверительного интервала $[+r; -r]$. (ряды 4 и 5)

состояний многих крупномасштабных процессы, которые определяют характер изменений климата в Восточной Европе. В этом нетрудно убедиться, рассмотрев рисунок 2, где представлены изменения средней продолжительности периодов преобладания в северном полушарии ЭЦМ СМ, средних температур северных частей Атлантического и Тихого океанов, а также всей тропической зоны нашей планеты, построенные по данным [22-24, 32].

Как видим из рисунка 2А, в XXI веке количество дней в году, в течение которых в северном полушарии преобладают ЭЦМ СМ, а над многими его регионами воздушные массы двигаются с севера, устойчиво возрастает и уже ощутимо превышает суммарную продолжительность периодов преобладания всех прочих ЭЦМ.

Динамика рассматриваемого показателя в последние 20 лет свидетельствует о том, что и в ближайшие 10-20 лет данный тип ЭЦМ в северном полушарии будет преобладать, способствуя похолоданию климата.

Из рисунка 2Б следует, что в XXI веке достигла максимума в текущем цикле своего изменения и среднегодовая температура всей поверхности Северной Атлантики, которая определяет начальную температуру воздушной массы, преобладающей в течение летнего сезона над всей Европой и Северной Америкой. Далее, учитывая характер динамики данного показателя в XIX и XX веке, представляется вероятным постепенное снижение его значений, несмотря на продолжающееся увеличение содержания в атмосфере парниковых газов, не может вызывать

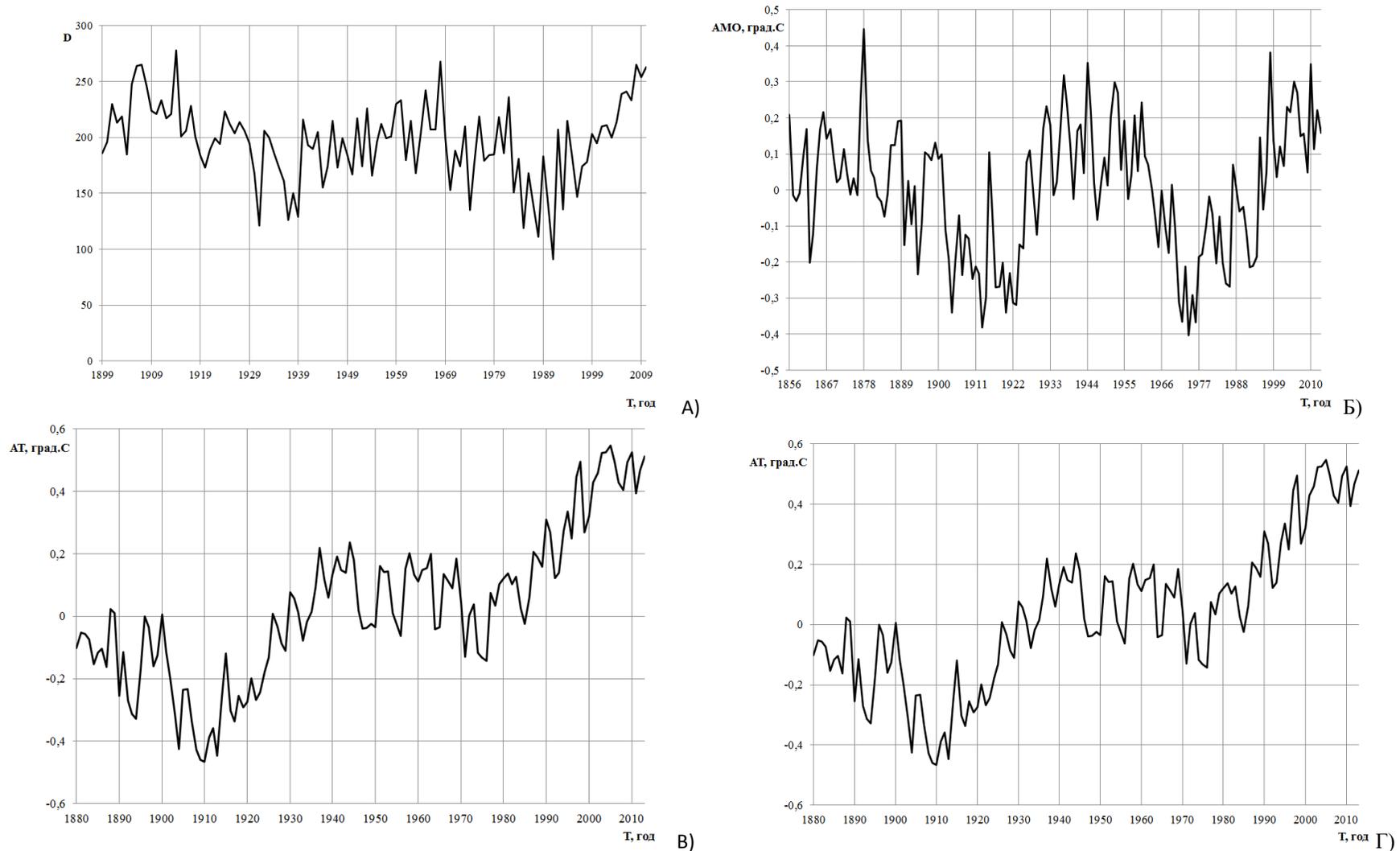


Рис. 2 – Зависимости от времени средней продолжительности периодов преобладания в северном полушарии ЭЦМ СМ (А), аномалий средних температур северных частей Атлантического(Б) и Тихого океанов (В), а также всей тропической зоны нашей планеты (Г), построенные по данным [22-24, 32]

потепления в рассматриваемом регионе. Поскольку, как видно из данного рисунка, продолжительность фазы снижения среднегодовых значений индекса АМО, в прошлом была приблизительно равна продолжительности фазы их увеличения, очевидно, что в ближайшие несколько десятилетий Европе и Северной Америке о потеплении своего климата останется лишь мечтать.

Рисунки 2В и 2Г показывают, что процесс потепления, происходивший в конце XX века в таких значительных по площади регионах, как северная часть Тихого океана и вся тропическая зона нашей планеты, в XXI веке уже прекратился. Ныне потоки тепла и водяного пара от этих источников, которые значительно влияют на парниковый эффект в земной атмосфере, уже снижаются, что способно

компенсировать последствия увеличения содержания в ней парниковых газов.

Учитывая это, представленный на рисунке 1 прогноз изменений средних температур летнего сезона на метеорологической обсерватории г. Харьков, удивления не вызывает и представляется вполне умеренным. Факторы, принимавшиеся во внимание при его разработке, в той или иной мере действуют на все регионы северного полушария нашей планеты, одним из которых является Харьковская область, а осуществление рассматриваемого сценария будущего вполне вероятно. Поэтому представляется вполне адекватным предположение, согласно которому, как минимум в ближайшее десятилетие, снижение температур летнего сезона будет происходить также на всей ее территории

Выводы

1. Использованная методика позволяет выявлять субоптимальный набор факторов межгодовых изменений средних за летний сезон температур приземного слоя атмосферы на метеорологической обсерватории г. Харьков, позволяющие осуществить разработку прогнозов этого процесса, обладающих наибольшей точностью, при условии, что в будущем реализуется рассматриваемый его сценарий.

2. Особенности методики выявления указанного набора факторов обеспечивают возможность достижения максимальной точности этих прогнозов, при упреждениях 1-4 года. При упреждениях, превышающих указанные значения, возможно качественное соответствие прогнозируемых зависимостей фактическим вариациям состояний изучаемого процесса (возможные погрешности прогнозов не оценивались).

3. Характер прогнозируемых вариаций состояния изучаемого процесса соответствует современным представлениям о вероятных последствиях изменений повторяемости ЭЦМ СМ, среднегодовых значений индекса АМО и солнечной активности, которые могут произойти в первой половине XXI века.

4. Из разработанных прогнозов следует, что до 2032 г. средние температуры летних сезонов на территории Харьковской области могут оказаться заметно ниже уровней, имевших место в 2010г.. Резкое и устойчивое похолодание здесь вероятно уже с 2016 года, что может проявиться в замедлении темпов развития растительности (в том числе агрофитоценозов), а также изменениях состояния водных ресурсов.

Литература

1. Атлас Харьковской области / Главное управление геодезии, картографии и кадастра при кабинете министров в Украине. – К., 1993.
2. Дымников В. П. Моделирование климата и его изменений [Текст]. / В. П. Дымников, В. Н. Лыкосов, Е. М. Володин и др. /Современные проблемы вычислительной математики и математического моделирования – М.: Наука. – 2005. Т.2. – С 38-175.

3. Володин Е. М. Отклик совместной модели общей циркуляции атмосферы и океана на увеличение содержания углекислого газа [Текст]. / Е. М. Володин, Н. А. Дианский. // Известия РАН, Физика атмосферы и океана. –2003. – Т.39. – С. 193-210.

4. Climate Change 2007 – Impacts, adaptation and vulnerability. Contribution of Working Group II to Assessment Report Four of the Intergovernmental

Panels of Climate Change (IPCC). [Text]/Cambridge University Press. – Cambridge, UK, 2007. – 973p.

5. Айвазян С. А. Прикладная статистика и основы эконометрики. [Текст] / С. А. Айвазян, В. С. Мхитарян. – М.:Юнити, 1998. – 1022 с.

6. Бокс Дж. Анализ временных рядов. Прогноз и управление [Текст] / Дж. Бокс, Г. Дженкинс; пер. с англ. Л.Л.Левшина; под ред. Писаренко В.Ф. – М.: Мир, 1974. – 197 с.

7. Барабанов В. С. Глобальная и региональная климатическая изменчивость [Текст] / В. С. Барабанов и др. // Развитие морских наук и технологий в Морском гидрофизическом институте за 75 лет. – Севастополь: МГИ НАН Украины, 2004. – С.442 – 468.

8. Федоров Е. Е. Влияние солнечных пятен на температуру и давление воздуха [Текст] / Е. Е. Федоров. // Изв. Главной физической обсерватории Х. – 1921. – № 3. – С.64 – 72.

9. Боголепов М. А. Возмущения климата и жизнь Земли, и народов [Текст] / М. А. Боголепов. – Берлин, 1923. – 24 с.

10. Марков К. К. О связи между изменениями солнечной активности и климата Земли [Текст] / К. К. Марков. // Вопросы географии. – 1949. – №12. – С.15-26.

11. Предтеченский П. П. Цикличность в колебаниях солнечной деятельности [Текст] / П. П. Предтеченский. // Труды ГГО. – 1948. – Вып. 8(70).

12. Шнитников А. В. Изменчивость солнечной активности за историческую эпоху на основе некоторых ее земных проявлений [Текст] / А. В. Шнитников. // Бюллетень комиссии по исследованию Солнца. – 1951. – №7.

13. Эйгенсон М.С. Очерки физико-географических проявлений солнечной активности. [Текст] / М. С. Эйгенсон. – Львов, 1957. – 252 с.

14. Eddy J.A. The Maunder Minimum [Text] / J. A. Eddy. // Science. – 1976. – 192. – P. 1189-1202.

15. Борисенков Е. П. Колебания климата за последнее тысячелетие. [Текст] / Е. П. Борисенков. – Л.: Гидрометеиздат. – 1988. – 275 с.

16. Абдулсаматов Х. И. Солнце диктует климат Земли. [Текст] / Х. И. Абдулсаматов. – СПб.: Логос, 2009. – 197с.

17. Моханакумар К. Взаимодействие стратосферы и тропосферы [Текст] / К. Моханакумар; пер. с англ. Р. Ю. Лукьяновой; под ред. Г. В. Алексеева. – М.: ФИЗМАТЛИТ, 2011. – 451с

18. Монин А. С. Климат как проблема физики [Текст]. / А. С. Монин. – М. Наука, 1969. – 184с.

19. Полонский А. Б. Роль океана в изменениях климата. [Текст] / А. Б. Полонский. – К.: Наукова думка. – 2008. – 184 с.

20. Клімат України [Текст] / Під ред. Ліпінського В.М., Дячука В.А., Бабіченко В.М. – К.: Видавництво Раєвського, 2003. – 343 с.

21. Enfield, D.B. The Atlantic multidecadal oscillation and its relation to rainfall and river flows in the continental U.S. [Text] / D.B. Enfield, A. M. Mestas-Nunez, P.J. Trimble. // Geophysical Research Letters. – 2001. – Vol. 28. – P.2077-2080.

22. http://www.aoml.noaa.gov/phod/amo_fag.php

23. База данных средних температур акваторий северного полушария: <http://www.ncdc.noaa.gov/>

24. База данных средних температур акваторий тропической зоны <http://www.metoffice.gov.uk/hadobs/index.html>

25. Вангейм Г. Я. О колебаниях атмосферной циркуляции над Северным полушарием / Г. Я. Вангейм. // Известия АН СССР. Сер. Географ. и Геофиз. – 1946. – №5.

26. Гирс А. А. Макроциркуляционный метод долгосрочных метеорологических прогнозов. / А. А. Гирс. – Л. Гидрометеиздат. 1974. – 488 с.

27. Дзердиевский Б. Л. Типизация циркуляционных механизмов в северном полушарии и характеристика синоптических сезонов. / Б. Л. Дзердиевский, В. М. Курганская, З. М. Витвицкая // Тр. Н.-И. учреждений Гл. упр. Гидрометеорол. Службы при Совете Министров СССР. Сер.2 Синоптическая метеорология. – Вып. 21. Центральный институт прогнозов. – М., Л.: Гидрометеиздат, 1946. – 80 с.

28. Дзердиевский Б. Л. Общая циркуляция атмосферы и климат. Избранные труды. / Б. Л. Дзердиевский. – М.: Наука, 1975. – 286 с.

29. <http://www.iiasa.ac.at/web-apps/tnt/RcpDb>".

30. M. Meinshausen, S. Smith et al. The RCP GHG concentrations and their extension from 1765 to 2500 [Text], in prep., Climatic Change.

31. <http://www.gao.spb.ru/database/esai.html>

32. База данных об изменениях в 1899-2011 гг. суммарных продолжительностей периодов, в течение которых ЭЦМ различных групп преобладали в северном полушарии. Доступ: [www. Atmospheric-circulation.ru](http://www.Atmospheric-circulation.ru).

33. Цыпкин Я. З. Адаптация и обучение в автоматических системах. [Текст] / Я. З. Цыпкин. – М.: Наука, 1968. – 400с.

Надійшла до редколегії 02.12.2014