

УДК 692:574:911

DOI: 10.15587/2313-8416.2014.28595

## ОРИЕНТИРОВОЧНЫЙ ПРОГНОЗ ЗИМНИХ ТЕМПЕРАТУР В ГОРНОМ КРЫМУ С УЧЕТОМ СУБОПТИМАЛЬНОГО НАБОРА ФАКТОРОВ

©А. В. Холопцев

*Предложена методика поиска факторов, использование которых в качестве аргументов множественно-регрессионной модели изменений средних температур приземного слоя атмосферы зимнего сезона в Горном Крыму, позволяет получить ориентировочные прогнозы данных характеристик, обладающие наибольшей точностью при упреждениях 1–4 года, при условии, что в будущем статистические связи между ними сохранятся неизменными. Разработан прогноз до 2020 года.*

*Ключевые слова: прогнозирование, средние температуры зимнего сезона, Ай Петри, множественно-регрессионная модель.*

*It is proposed the technique of factor search, the use of which as arguments of the multiple-regression model of average temperature changes of the surface layer of atmosphere in winter season in Crimean Mountains provides the approximate forecast of these characteristics with the highest accuracy in advance of 1–4 years at condition that the statistical relationships between them in the future will remain the same. The forecast on period to 2020 is carried out.*

*Keywords: forecasting, winter season average temperatures, Ai-Petri, multiple-regression model.*

### 1. Введение

Изменения средних температур приземного слоя атмосферы в зимний сезон, во многом определяют условия формирования на территориях ландшафтных комплексов умеренного климатического пояса нашей планеты снежного покрова, развития их биотических компонентов, почв, водных ресурсов, а также значимо влияют на водно-эрозионные и экзогенные геологические процессы, изменяющие их рельеф. Поэтому совершенствование методик разработок их ориентировочных прогнозов является актуальной проблемой климатологии, физической географии и геофизики ландшафтов, а также экологии.

### 2. Постановка проблемы

Наибольший интерес решение рассматриваемой проблемы представляет для территорий, где таяние накапливающегося за зиму снега является основным источником водного питания их рек, озер, болот и подземных вод. Одной из таких территорий является Главная горно-лугово-лесная гряда Горного Крыма, на которой расположены истоки и значительные части водосборных бассейнов всех рек Крымского полуострова [1].

Изменения температурного режима, характерного для рассматриваемой территории в зимние месяцы непосредственно связаны с

происходящими в регионе изменениями климата. Тем не менее, применить для их ориентировочного прогнозирования те же подходы, которые ныне используются при разработке долгосрочных прогнозов изменений климата весьма непросто.

Главной методологической основой долгосрочного прогнозирования изменений климата является численное моделирование динамики климатической системы 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 климата тех же моделей адекватность получаемых результатов является не всегда удовлетворительной. Еще сложнее получить таким путем практически значимые результаты при разработке ориентировочных прогнозов изменений их средних температур, усредненных за столь короткие промежутки времени как год или зимний сезон.

В полной мере это относится и к рассматриваемой ландшафтной области Горного Крыма, территория которой представляет собой протянувшуюся с юго-запада на северо-восток систему плоскогорий (яйл), с высотами от 500 до

1545 м, имеющих относительно пологие и поросшие лесом северные склоны, и обрывающихся на юг крутыми скальными стенами.

Так как многие из местных факторов, вызывающих изменения температурного режима на крымских яйлах, являются ненаблюдаемыми, при разработке ориентировочных 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.

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

Соответствие ориентировочных 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.

Ориентировочные 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, адекватно описывает 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 рассматриваемой ландшафтной области Горного Крыма функционируют несколько метеостанций. Наиболее продолжительный ряд наблюдений за изменениями температур приземного слоя атмосферы получен на метеостанции Ай Петри. Этот ряд соответствует периоду 1896–2014 гг., поскольку данная метеостанция основана Главной геофизической Пулковской обсерваторией в 1895 г. Она находится непосредственно на плато Ай Петри, у скалы Шишко.

Учитывая расположение метеостанции Ай Петри, осуществляемые на ней наблюдения за изменениями температуры воздуха принято рассматриваться как репрезентативные для всей Главной горно-лугово-лесной гряды Горного Крыма.

Полученные на данной метеостанции результаты, в виде соответствующих временных рядов среднемесячных температур, за период до мая 2014 г. хранятся в метеорологическом архиве Украины. За исключением годов Гражданской и Великой отечественной войны, упомянутые ряды не содержат пропусков. С использованием подобных результатов для рассматриваемой метеостанции могут быть сформированы достаточно протяженные временные ряды значений средних температур зимнего сезона. Установлены и многие факторы, которые вызывали изменения этих характеристик. Тем не менее, особенности ориентировочных прогнозов изменений средних температур зимнего сезона на Главной горно-лугово-лесной гряде Горного Крыма, соответствующих упомянутому сценарию будущего, которые получены с учетом факторов, образующие субоптимальный набор, до сих пор изучены недостаточно.

Поэтому объектом исследования в данной работе являлись изменения средних температур зимнего сезона, характерных для Главной горно-лугово-лесной гряды Горного Крыма.

Предметом исследования являлись ориентировочные прогнозы этого процесса, полученные с использованием субоптимальных наборов аргументов.

Целью данной работы является выявление

особенностей ориентировочных прогнозов изменения средних температур зимнего сезона в приземном слое атмосферы над Главной горно-лугово-лесной грядой Горного Крыма, разработанных с учетом субоптимального набора их факторов.

Для достижения указанной цели решены следующие задачи:

1. Выявление наборов факторов межгодовых изменений средних температур воздуха в зимний сезон, являющихся субоптимальными при прогнозировании этих процессов по наблюдениям на метеостанции Ай Петри.

2. Определение параметров прогностической модели изучаемого процесса.

3. Оценка значений упреждения прогноза, при которых рассматриваемый сценарий будущего может рассматриваться как адекватный.

### 3. Литературный обзор

Согласно современным представлениям о причинах изменения средних температур зимнего сезона в приземном слое атмосферы над Главной горно-лугово-лесной грядой Горного Крыма, к числу наиболее существенных принято относить глобальные факторы [4, 7]. Важнейшим из них являются усиление парникового эффекта в земной атмосфере.

По мнению Международной группы экспертов по проблемам изменений климата, главной причиной этого явления служит увеличение средних концентраций в земной атмосфере диоксида углерода, которое вызвано разбалансированностью биогеохимического круговорота углерода [4]. Последнее обусловлено все более интенсивным потреблением человечеством ископаемых углеводородов, приводящим к росту техногенных выбросов упомянутого газа в атмосферу.

Возможно, в какой-то мере способен влиять на температуры воздуха в городе Севастополе 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 столетия, несмотря на продолжающееся увеличение содержания в атмосфере парниковых газов, возможно существенное похолодание глобального климата. Последнее позволяет предполагать, что в указанный период могут снижаться также значения средних температур

воздуха в зимний период и в рассматриваемой ландшафтной области Крыма.

С другой стороны существование причинной связи изменений климата с вариациями солнечной активности многие ученые не признают [18, 19]. Их сомнения в значимости подобной связи между этими процессами основаны на том, что амплитуда изменений солнечной постоянной на протяжении цикла солнечной активности не превышает 0.1 % [17]. К тому же данный внешний фактор влияет на климатическую систему планеты совместно с таким мощнейшим внутренним фактором, как взаимодействие океана и атмосферы. Вследствие этого на фоне реакций климатической системы на последнее, ее отклики на изменения состояния солнечной активности могут быть неразличимы. Правы ли они, – покажет будущее.

Даже если они правы, и существенной причинной связи между вариациями солнечной активности, а также изменениями рассматриваемой характеристики температурного режима Главной горно-лугово-лесной гряды Горного Крыма, нет, при определенных условиях между ними могут проявляться значимые статистические связи. Их учет при прогнозировании изучаемого процесса может способствовать повышению эффективности его результатов, и потому целесообразен.

Наряду с упомянутыми глобальными факторами, на температурный режим рассматриваемой территории Горного Крыма способны значимо влиять многие крупномасштабные процессы в системе Океан-Атмосфера. В зимние месяцы над Крымским полуостровом могут доминировать воздушные массы, сформировавшиеся как над Северной Атлантикой и Средиземным морем, так и над Арктикой, и внутренними районами Евразии [20].

Средние температуры воздушных масс, сформировавшихся над Северной Атлантикой, определяются значениями ее средней поверхностной температуры. Межгодовые изменения этой 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.

Аналогичная характеристика воздуха, образовавшегося над Средиземным морем, также определяется его средней поверхностной температурой. Информация об изменениях последних в период 1926–2024 гг. может быть получена из временных рядов аномалий среднемесячных

поверхностных температур всех районов Средиземного моря, которые ограничены квадратами координатной сетки размерами 5×5 [23].

Изменения средних температур воздушных масс, которые приходят в Горный Крым зимой с севера и с востока, практически подобны изменениям средних температуры воздуха, которые зафиксированы в тот же сезон на метеостанциях Москва и Астана (Казахстан) [24].

Учитывая это как фактический материал в данной работе использованы представленные в метеорологическом архиве Украины временные ряды среднемесячных значений температур воздуха, зафиксированных на метеостанции Ай Петри за весь период проводимых на них наблюдений. Также использованы временные ряды средних концентраций в атмосфере диоксида углерода, содержащиеся в [25, 26], среднемесячных значений индекса АМО за 1856–2003гг., полученные из [22], чисел Вольфа за 1749–2013 гг., представленные в [27], средних температур поверхности Средиземного моря [23], а также средних температур зимнего сезона в г. Москва и Астана [24].

Средние значения любой рассматриваемой характеристики, соответствующие зимнему или летнему периоду некоторого года, вычислены как среднее арифметическое ее среднемесячных значений за ноябрь, декабрь предыдущего года, а также январь-март текущего года, либо за май – сентябрь текущего года.

**4. Методика исследования**

Одним из наиболее универсальных методом моделирования случайных 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 тенденций изменения средних температур зимнего сезона на Главной горно-лугово-лесной гряде Горного Крыма, с использованием метода множественной регрессии, а также субоптимального набора аргументов прогностической модели, состоящего из различных фрагментов временных рядов, описывающих изменения состояний перечисленных выше факторов, ранее не рассматривались.

Как прогностическая модель изменений средних температур воздуха в зимний сезон на каждой репрезентативной метеостанции изучаемой ландшафтной области в данной работе рассматривалось уравнение линейной множественной регрессии:

$$Y_i = C_0 + \sum_{k=1}^{N_1} c_k x_{ik} + \sum_{k=N_1+1}^{N_2} c_k x_{ik} + \sum_{k=N_2+1}^{N_3} c_k x_{ik} + \dots + \sum_{k=N_7+1}^{N_8} c_k x_{ik} \quad (1)$$

где  $Y_i$  – значение прогнозируемой характеристики в  $i$  году;  $N_8$  – количество аргументов рассматриваемой модели, которое выбрано равным 21;  $N_1$  – 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 зимний сезон значений индекса АМО;  $N_5-N_4$  – количество аргументов данной модели, являющихся выбранными фрагментами ряда средних за летний сезон значений индекса АМО;  $N_6-N_5$  – количество аргументов данной модели, являющихся выбранными фрагментами ряда средних за зимний сезон поверхностных температур Средиземного моря;  $N_7-N_6$  – количество аргументов данной модели, являющихся выбранными фрагментами ряда средних за зимний сезон значений температур воздуха в г. Москва;  $N_8-N_7$  – количество аргументов данной модели, являющихся выбранными фрагментами ряда средних за зимний сезон значений температур воздуха в г. Астана;  $x_{ik}$  – 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

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

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

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

$A^{-1}$  – 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 42.

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 наиболее адекватные его прогнозы, применялась 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. Это позволяет, используя рассматриваемую методику прогнозирования, построить ориентировочные прогнозы изучаемого процесса с упреждениями от 1 до 12 лет.

При этом как критерий качества выявляемого набора подобных фрагментов, рассматривалось соотношение:

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

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

Значения  $\sigma_i$  рассчитывались для каждого прогнозируемого процесса, с использованием в качестве фактических значений средних за зимний сезон температур воздуха на метеостанции Ай Петри в 1997–2013 гг.

При вычислении  $\sigma_i$  за тот же период оценивались и значения систематических погрешностей прогнозов  $m_i$ .

На первом этапе процедуры прогнозирования значений рассматриваемой характеристики, соответствующих метеостанции Ай Петри, осуществлен поиск набора аргументов модели (1), которому соответствует минимальное значение критерия  $\rho$ . При этом использован такой мощный метод поиска безусловного глобального экстремума, как метод случайного поиска [28].

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 ее временного ряда за 1972–2013 гг., с помощью (2) определены коэффициенты прогностической модели  $c_k$ .

На третьем этапе, вычисляем значения прогнозов средних за зимний сезон температур воздуха на метеостанции Ай Петри, которые

соответствуют тому или иному году, опережающий 2013 на время  $T$ . Учитывая особенности рассматриваемого сценария будущего для этого в модель (1), параметры которой  $c_k$  определены для периода 1972–2013 гг, подставляем значения аргументов, сдвинутых в будущее на то же время  $T$ , после чего компенсируем систематические ошибки  $m_i$ .

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

Учитывая особенности критерия (3), понятно, что предложенная методика позволяет получить прогнозы изменений средних температур зимнего сезона на метеостанции Ай Петри, которые с наибольшей вероятностью являются адекватными при упреждениях 1–4 года. Эти прогнозы являются наиболее точными из всех прогнозов, которые построены с использованием любых других наборов тех же факторов (отличающихся от факторов, образующих субоптимальный набор, годом начала соответствующего фрагмента их временного ряда). Помимо их адекватными могут оказаться также разработанные прогнозы и при некоторых других временных сдвигах. Для выявления значений упреждения  $T$ , при которых подобное может иметь место, решена задача 3.

При этом предполагалось, что по своему влиянию на качество моделирования изучаемого процесса сдвиги в прошлое эквивалентны сдвигам в будущее. Также предполагалось, что статистические связи изучаемого процесса и его факторов инвариантны к некоторому временному сдвигу  $T$ , если значение коэффициента парной корреляции сдвинутого на  $T$  фрагмента временного ряда изучаемого процесса, а также результата его моделирования с использованием (1), при условии, что его коэффициенты определены с учетом несдвинутого фрагмента того же ряда, превышает уровень 99 % порога достоверной корреляции по критерию Стьюдента.

С учетом этих допущений выявлены значения  $T$ , при которых статистические связи изучаемого процесса и его факторов могут быть признаны инвариантными к соответствующим временным сдвигам. При расчетах учитывались наборы аргументов модели (1) и ее коэффициентов, соответствующие фрагменту ряда изучаемого процесса, начинающемуся в 1972 г.

Значение 99 % порога достоверной корреляции по критерию Стьюдента вычислено с учетом количества степеней свободы рассматриваемых временных рядов. Для определения этого количества рассчитаны автокорреляционные функции всех рассматриваемых процессов и определены соответствующие значения интервалов корреляции.

**5. Результаты исследования и их анализ**

В соответствии с изложенной методикой, для временных рядов, отражающих изменения средних температур зимнего сезона на метеостанции Ай Петри, определены годы начала фрагментов временных рядов их рассматриваемых факторов, которые образуют субоптимальные наборы аргументов модели (1).

Выявленные значения годов начала оптимальных фрагментов всех рассматриваемых временных рядов представлены в табл. 1

Как видно из табл. 1, состав субоптимального набора аргументов модели (1), которые обеспечивает наиболее эффективное прогнозирование изменений средних за зимний сезон температур воздуха на метеостанции Ай Петри, включает фрагменты временных рядов не всех факторов, способных значимо влиять на них.

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

Таблица 1

Выявленные значения годов начала фрагментов всех рассматриваемых временных рядов, образующих субоптимальный набор при прогнозировании изменений средних за зимний сезон температур на метеостанции Ай Петри

№	Год начала	Фактор	№	Год начала	Фактор
1	1876	АМО (ноябрь-март)	12	1932	Концентрации CO <sub>2</sub>
2	1877	АМО (ноябрь-март)	13	1876	АМО (май-сентябрь)
3	1879	АМО (ноябрь-март)	14	1877	АМО (май-сентябрь)
4	1901	АМО (ноябрь-март)	15	1902	АМО (май-сентябрь)
5	1904	АМО (ноябрь-март)	16	1904	АМО (май-сентябрь)
6	1930	АМО (ноябрь-март)	17	1930	АМО (май-сентябрь)
7	1935	АМО (ноябрь-март)	18	1939	АМО (май-сентябрь)
8	1936	АМО (ноябрь-март)	19	1941	АМО (май-сентябрь)
9	1796	Числа Вольфа	20	1934	АМО (май-сентябрь)
10	1960	Средние температуры Средиземного моря	21	1937	АМО (май-сентябрь)
11	1912	Температуры воздуха зимой в г. Астана	–	–	–

Таблица 2

Значения коэффициентов модели (1) изменений средних за зимний сезон температур воздуха на метеостанции Ай Петри

К	c <sub>к</sub>	К	c <sub>к</sub>	К	c <sub>к</sub>	К	c <sub>к</sub>
0	90.08822	6	-1.1277	12	-0.29638	18	-1.77092
1	2.660169	7	-1.43403	13	-2.1607	19	-0.39442
2	-1.5471	8	-1.79469	14	0.765134	20	-0.45663
3	-0.84919	9	0.012086	15	-0.21454	21	0.754873
4	1.129718	10	1.593384	16	-0.06976	–	–
5	3.582633	11	-0.1913	17	-2.54456	–	–

Зависимости от величины сдвига (S) начала моделируемого фрагмента временного ряда средних за зимний сезон температур воздуха на метеостанции Ай Петри по отношению к началу его фрагмента учитываемого при идентификации модели (1), значения коэффициента их парной корреляции (r), а также систематической (m) и среднеквадратической (σ) ошибки моделирования приведены на рис. 1.

Из рис. 1, а следует, что при сдвигах начал фрагментов временных рядов изучаемого процесса и его факторов в прошлое, максимальное значение T, при котором рассматриваемый сценарий может быть признан адекватным составляет 8 лет, но наиболее достоверным подобный статистический вывод является для сдвигов от 1 до 4 лет. Это подтверждают также зависимости от T систематической и среднеквадратической ошибки моделирования, представленные на рис. 1, б, в.

Полученный результат использован для оценки значений систематической ошибки (m) и среднеквадратического отклонения (σ) прогнозов с различными упреждениями (S) средних за зимний сезон температур воздуха на метеостанции Ай Петри. Их зависимости от величины упреждения прогноза (T) представлены на рис. 2.

Из рис. 2, а видно, что зависимости систематической ошибки прогнозов рассматриваемого процесса, от их упреждения носят монотонно возрастающий характер. Последнее позволило предположить, что изменения значений систематической ошибки прогнозов, что при упреждениях более 8 лет могут описываться соотношением:

$$m_i = m_8 + A(i-8), \tag{4}$$

где m<sub>8</sub> – значение систематической ошибки прогноза с упреждением 8 лет; А – значение углового

коэффициента линейного тренда систематических ошибок прогноза с упреждениями 2–8 лет.

При вычислении прогнозируемых значений средних за зимний сезон температур воздуха на метеостанции Ай Петри рассчитанные значения систематических ошибок скомпенсированы.

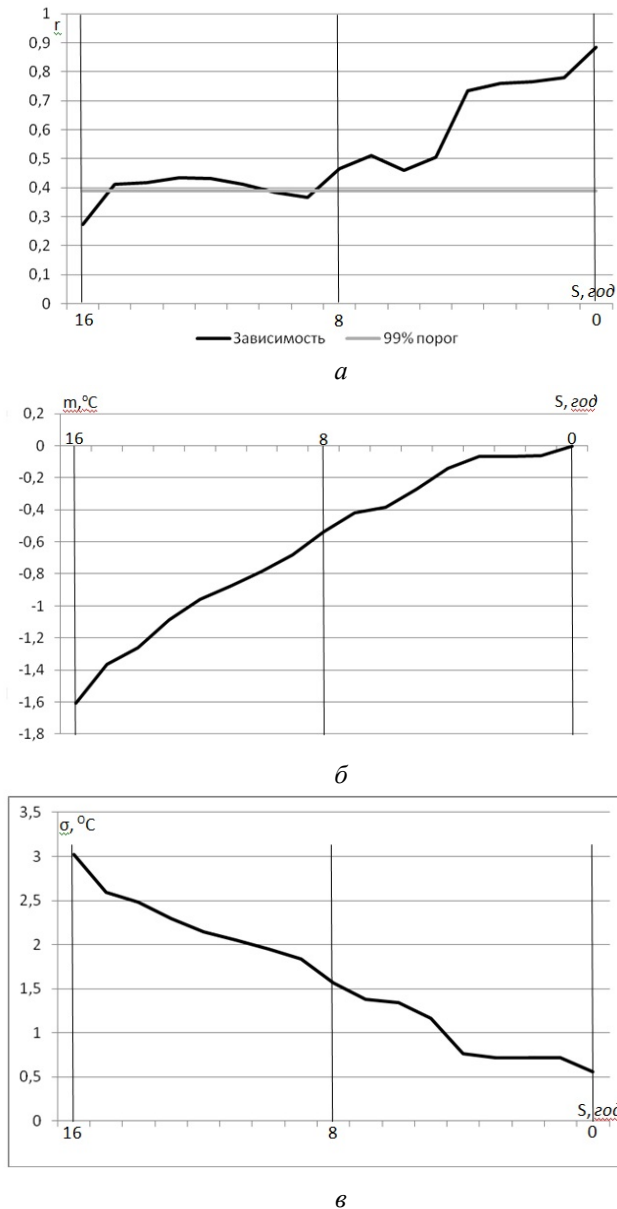


Рис. 1. Зависимости от сдвига по времени S начала моделируемого фрагмента временного ряда средних за зимний сезон температур воздуха на метеостанции Ай Петри, по отношению к началу его фрагмента, учитываемого при идентификации модели (1) следующих характеристик: а – значения коэффициента их парной корреляции; б – систематической ошибки моделирования; в – среднеквадратической ошибки моделирования

Из рис. 2, б следует, что среднеквадратические отклонения разработанных прогнозов средних за зимний сезон температур воздуха на метеостанции Ай Петри при значениях упреждения 1–8 лет сопоставимы. Это позволило, предположить что при

упреждениях более 8 лет значения средне-квадратической ошибки прогнозов равны средним арифметическим их значений с упреждениями 1–8 лет.

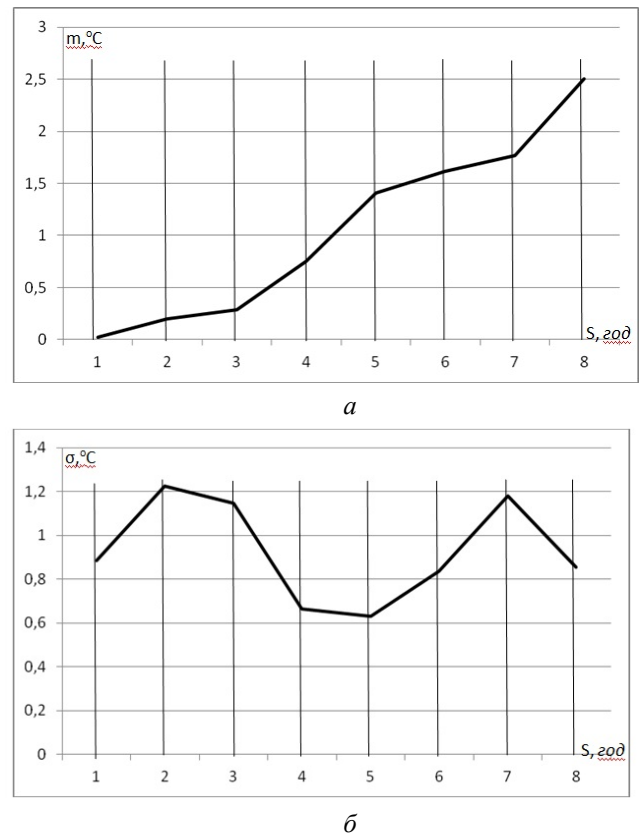


Рис. 2. Зависимости от упреждения прогнозов (S) следующих характеристик прогнозов средних за зимний сезон температур воздуха на метеостанции Ай Петри: а – систематической ошибки (m, °C); б – среднеквадратического отклонения (σ, °C)

Как известно, необходимым условием адекватности прогнозов любого природного процесса является существование некоторого интервала значений их упреждения, в котором имеет место инвариантность прогнозируемых тенденций изменений его состояния к значениям этой характеристики. Для проверки наличия этого свойства у ориентировочных прогнозов, разработанных с использованием рассмотренной методики, последние, характеризующиеся упреждениями 1–12 лет, построены для фрагментов ряда изучаемого процесса, которые соответствуют периодам времени не только 1972–2013 гг., но также 1971–2012 гг. и 1970–2011 гг.

При этом установлено, что начала фрагментов временных рядов факторов изучаемого процесса, образующих субоптимальные наборы, соответствующие двум последним примерам, сдвинуты по отношению к временам начала фрагментов рядов, из которых состоит субоптимальный набор факторов для первого примера (в табл. 1), также на 1 и 2 года. Построенные с использованием описанной методики ориентировочные прогнозы изменений в периоды 2014–2025 гг., 2013–2024 гг. и 2012–2023 гг. средних за зимний сезон температур воздуха на метео-



станции Ай Петри, а также их фактических и модельных значений, представлены на рис. 3.

Как видно из рис. 3, на отрезке времени 2014–2023 гг., прогнозы изучаемого процесса, построенные с учетом различных фрагментов его предыстории, качественно соответствуют друг другу. При прочих равных условиях, чем больше упреждение прогноза, тем больше его положительное смещение, что подтверждает адекватность соотношения (4). Из рис. 3 следует, что в ближайшие годы средние температуры воздуха на яйлах Горного Крыма будут снижаться до минимума, который соответствует по времени 2019 и 2020 гг. При этом соответствующее этому минимуму значение будет несколько выше уровня, имевшего место зимой 2011 года. Прогнозы с упреждениями, превышающими 8 лет, вряд ли можно рассматривать как адекватные (о чем свидетельствует рис. 1), тем не менее, качественно они соответствуют представлениям [4] о возможных последствиях увеличения содержания в земной атмосфере парниковых газов.

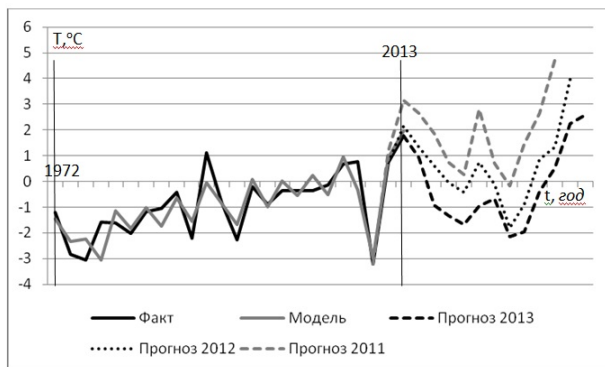


Рис. 3. Зависимость от времени фактических значений средних за зимний сезон температур воздуха на метеостанции Ай Петри в период 1972–2013 гг. (ряд 1), результата ее моделирования (ряд 2), а также прогнозы на период 2014–2025 гг. (ряд 3), на период 2013–2024 гг. (ряд 4) и на период 2012–2023 гг. (ряд 5)

Полученные результаты позволяют предполагать, что разработанные ориентировочные прогнозы с упреждениями менее 8 лет, и в особенности – менее 4-х лет, могут оправдаться с высокой вероятностью. Из них следует, что в ближайшие годы условия для накопления в зимний период снега на Главной горно-лугово-лесной гряде Горного Крыма будут благоприятными, чем в 2013 г. Если твердых атмосферных осадков в данном районе будет выпадать не меньше, чем в прежние годы, в весенние месяцы наполняемость водой водохранилищ Крыма и его рек будет несколько выше.

Благоприятный для формирования в крымских горах снежного покрова период продлится до 2021 года, после чего в них возможно резкое потепление. Эти перспективы целесообразно учитывать при планировании развития водохозяйственного комплекса Крыма.

## 5. Выводы

Таким образом установлено, что использованная методика позволяет выявлять субоптимальный набор факторов межгодовых изменений средних за зимний сезон температур приземного слоя атмосферы на метеостанции Ай Петри, учет которых в качестве аргументов модели (1), позволяет разрабатывать их ориентировочные прогнозы, способные оказаться адекватными, если осуществится соответствующий им сценарий будущего.

Особенности методики выявления указанного набора факторов обеспечивают возможность достижения максимальной точности этих прогнозов, при упреждениях 1–4 года. При упреждениях до 8 лет возможно качественное соответствие прогнозируемых зависимостей фактическим вариациям состояний изучаемого процесса.

Из разработанных прогнозов следует, что до 2021 г. средние температуры зимних сезонов на территории Главной горно-лугово-лесной гряды Горного Крыма будут ниже имевших место в 2013 г. (минимум будет достигнут в 2019–2020 гг.). В последующий период значения рассматриваемой характеристики могут превзойти их максимальный уровень, достигавшийся когда либо ранее, за весь период метеонаблюдений.

Полученные результаты позволяют предполагать, что изменения температурного режима на крымских яйлах в ближайшие годы будут вполне благоприятными для накопления на них снега. При этом после 2021 года возобладает противоположная тенденция – зимы в Горном Крыму существенно потеплеют, что может негативно сказаться на состоянии его водных ресурсов.

## Литература

1. Позаченюк, Е. А. Современные ландшафты Крыма и сопредельных акваторий [Текст] / Е. А. Позаченюк. – Симферополь: Бизнес-Информ, 2009. – 611 с.
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. – 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 Panel of Climate Change (IPCC) [Text] / Cambridge University Press. – Cambridge, UK, 2007. – 973 p.
5. Айвазян, С. А. Прикладная статистика и основы эконометрики [Текст] / С. А. Айвазян, В. С. Мхитарян. – 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. В. Ф. Писаренко 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. – 1921. – № 3. – С. 64–72.

9. Боголепов, М. А. Возмущения климата и жизнь Земли, и народов [Текст] / М. А. Боголепов. – Берлиню, 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. – Vol. 192. – P. 1189–1202.

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

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

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

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

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

20. Клімат України [Текст] / під ред. В. М. Ліпінського, В. А. Дячука, В. М. Бабіченко. – 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, Issue 10. – P. 2077–2080. doi: 10.1029/2000gl012745

22. База данных индекса АМО [Электронный ресурс] / Режим доступа: [http://www.aoml.noaa.gov/phod/amo\\_fag.php](http://www.aoml.noaa.gov/phod/amo_fag.php)

23. База результатов реанализа поверхностных температур Мирового океана [Электронный ресурс] / Режим доступа: <http://wxweb.meteo.ostar.com/SST/index.shtml?point=730>

24. База данных значений чисел Вольфа [Электронный ресурс] / Режим доступа: <http://www.tituempo.net/climate/html>

25. База данных об изменениях средних концентрациях диоксида углерода в атмосфере [Электронный ресурс] / Режим доступа: <http://www.iiasa.ac.at/web-apps/tnt/RcpDb>.

26. Meinshausen, M. The RCP Greenhouse Gas Concentrations and their Extension from 1765 to 2300 [Electronic resource] / M. Meinshausen, S. J. Smith, K. V. Calvin, J. S. Daniel, M. L. T. Kainuma, J.-F. Lamarque, K. Matsumoto, S. A. Montzka, S. C. B. Raper, K. Riahi, A. M. Thomson, G. J. M. Velders, D. van Vuuren. – Climatic

Change (Special Issue), 2011. – Available at: <http://www.gao.spb.ru/database/esai.html> doi: 10.1007/s10584-011-0156-z

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

#### References

1. Pozachenyuk, E. A. (2009). Modern Landscapes of Crimea and adjacent waters. Simferopol: Business Inform, 611.

2. Dymnikov V. P., Lykosov V. N., Volodin, E. M. (2005). Modeling climate and climate change. In "Modern Problems of Computational Mathematics and Mathematical Modeling." Moscow: Science, 2, 38–175.

3. Volodin, E. M., Diansky, N. A. (2003). The response of the coupled model of the general circulation of the atmosphere and the ocean on the increase in carbon dioxide. Izvestiya, Atmospheric and Oceanic Physics, 39, 193–210.

4. Climate Change 2007 – Impacts, adaptation and vulnerability. Contribution of Working Group II to Assessment Report Four of the Intergovernmental Panes of Climate Change (IPCC) (2007). Cambridge University Press. Cambridge. UK, 973.

5. Aivazyan, S. A., Mkhitarjan, V. S. (1998). Applied Statistics and Econometrics bases. Unity, 1022.

6. Boks, J., Dzhenkins, G. (1974). Analysis of time series. Forecast and Control. Moscow: Miry, 197.

7. Barabanov, V. S. (2004). Global and regional climate variability. Development of Marine Science and Technology at the Marine hydrophysical institute for 75 years. - Sevastopol: MHI NASU, 442–468.

8. Fedorov, E. E. (1921). Influence of sunspots on the temperature and air pressure. Math. Main Physical Observatory. 3, 64–72.

9. Bogolepov, M. A. (1923). Perturbation of the climate and the life of the Earth, and the people. Berlin, 24.

10. Markov, K. K. (1949). On the connection between changes in solar activity and the Earth's climate. Questions geography. TH., 12, 15–26.

11. Predtechensky, P. P. (1948). Cyclicity in the oscillations of solar activity. Trudy GGO, 8 (70).

12. Shnitnikov, A. V. (1951). Variability of solar activity for the historical period on the basis of some of its earthly manifestations. Bulletin commission to study the sun, 7.

13. Eigenson, M. S. (1957). Essays physiographic manifestations of solar activity. Lviv, 252.

14. Eddy, J. A. (1976). The Maunder Minimum. Science, 192, 1189–1202.

15. Borisenkov, E. P. (1988). Climate variability over the last millennium. [Text] / L. Gidrometeoizdat, 275.

16. Abdulsamatov, H. I. (2009). The sun dictates the Earth's climate. St. Petersburg. Logos, 197.

17. Mohanakumar, K. (2011). Interaction of the stratosphere and troposphere. Moscow. – FIZMATLIT, 451.

18. Monin, A. C. (1969). Climate as a problem of physics. Moscow: Science, 184.

19. Polonsky, A. B. (2008). The role of the ocean in climate change. Kiev. Naukova Dumka, 184.

20. Lipinski, V. M., Dyachuk, V. A., Babichyenko, V. M. (Ed.) (2003). Climate of Ukraine. Kiev: Rayevskogo Publishers, 343.

21. Enfield, D. B., Mestas-Nunez, A. M., Trimble, P. J. (2001). The Atlantic multidecadal oscillation and its relation to rainfall and river flows in the continental U.S. Geophysical Research Letters, 28 (10), 2077–2080. doi: 10.1029/2000gl012745

22. Database Index AMO. Available at: [http://www.aoml.noaa.gov/phod/amo\\_fag.php](http://www.aoml.noaa.gov/phod/amo_fag.php)

23. Database result reanalysis surface temperature of the oceans. Available at: <http://wxweb.meteorstar.com/SST/index.shtml?point=730>

24. Database Wolf numbers. Available at: <http://www.tituempo.net/climate/>html

25. Database of changes in average concentrations of carbon dioxide in the atmosphere. Available at: <http://www.iiasa.ac.at/web-apps/tnt/RcpDb>".

26. Meinshausen, M., Smith, S. J., Calvin, K. V., Daniel, J. S., Kainuma, M. L. T., Lamarque, J.-F., Matsumoto,

K., Montzka, S. A., Raper, S. C. B., Riahi, K., Thomson, A. M., Velders, G. J. M., van Vuuren, D. (2011). The RCP Greenhouse Gas Concentrations and their Extension from 1765 to 2300.. Climatic Change (Special Issue). Available at: <http://www.gao.spb.ru/database/esai.html> doi: 10.1007/s10584-011-0156-z

27. Zipkin, J. Z. (1968). Adaptation and learning in automatic systems. Moscow: Science, 400.

*Дата надходження рукопису 21.10.2014*

**Холопцев Александр Вадимович**, профессор, доктор географических наук, действительный член Крымской академии наук и академии наук Польши (комиссия по метеорологии и агроклиматологии), кафедра Судовождения и безопасности мореплавания, Севастопольская морская академия, ул. Рыбаков, 7а, г. Севастополь, 99055  
E-mail: [kholoptsev@mail.ru](mailto:kholoptsev@mail.ru)