

Холопцев А.В., Буракова А.В., Севриков В.В.
О ВОЗМОЖНОСТЯХ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ МЕТОДА ТРИАНГУЛЯЦИИ ДЕЛОНЕ ПРИ ЭКСТРАПОЛЯЦИИ ЗНАЧЕНИЙ СРЕДНЕМЕСЯЧНЫХ ТЕМПЕРАТУР ПРИЗЕМНОГО СЛОЯ АТМОСФЕРЫ НАД РАЗЛИЧНЫМИ ПУНКТАМИ НА ТЕРРИТОРИИ УКРАИНЫ

Среднемесячные температуры приземного слоя атмосферы являются одним из важнейших характеристик экологических условий. Их сезонные и межгодовые изменения являются также фактором, во многом определяющим динамику температурного режима в большинстве производственных помещений, в том числе и на рабочих местах. Поэтому совершенствование методик мониторинга их динамики в любой точке территории Украины представляет собой актуальную проблему не только метеорологии, климатологии и экологии, но и охраны труда.

В соответствии с [1], среднемесячная температура приземного слоя атмосферы над некоторой точкой земной поверхности может быть рассчитана путем осреднения значений температур воздуха измеряемых в соответствующей области этого слоя ежесуточно. Упомянутые измерения должны осуществляться по стандартной методике и с использованием метрологически аттестованных приборов. Подобные условия в полной мере выполняются лишь на метеорологических станциях, где в большинстве случаев применяются средства измерения 1 –го класса точности. Осреднение за месяц результатов измерений, полученных с помощью таких средств позволяет обеспечить значение абсолютной погрешности оценки среднемесячной температуры 0.01 °С.

Обеспечение выполнимости упомянутых условий в любой заданной точке Украины представляется проблематичным по экономическим соображениям. Более того, во многих случаях расположение метеостанций на заданных территориях невозможно по соображениям безопасности и др. В результате этого, точки, в которых могут производиться метеорологические измерения, как правило, не совпадают с теми, по которым информация о рассматриваемой характеристике атмосферы необходима потребителям. Чем больше расстояние между этими точками, тем, как правило, абсолютная погрешность оценки среднемесячной температуры воздуха над заданным участком земной поверхности по данным, полученным на подобной метеостанции, больше.

Значения абсолютной погрешности подобных оценок для большинства пунктов на территории Украины ранее не оценивались, но то, что они окажутся удовлетворяющими потребности практики представляется весьма сомнительным.

Поэтому представляет интерес изучение возможностей получения рассматриваемой информации альтернативными методами.

Одним из них является метод триангуляции Делоне [1], применяемый для отображения на планах и картах изолиний различных физических и химических полей по результатам их измерений в конечном множестве заданных точек. Обеспечиваемая им абсолютная погрешность построения подобных изолиний определяется количеством и взаимным расположением пунктов, в которых проводились наблюдения, а также разностью результатов измерений в этих пунктах и их точностью.

Если сеть подобных пунктов достаточно густа, упомянутый метод во многих случаях позволяет достичь точности отображения, удовлетворяющего потребности практиков. Вместе с тем, обеспечиваемые при использовании метода триангуляции Делоне абсолютные погрешности экстраполяции среднемесячных температур приземного слоя атмосферы в различных пунктах территории Украины по данным, получаемым на существующих ныне метеостанциях, ранее не оценивались.

Учитывая это, целью данной работы являлась изучение особенностей распределения по территории Украины абсолютных погрешностей результатов экстраполяции значений среднемесячных температур приземного слоя атмосферы с использованием метода триангуляции Делоне по данным, полученным на реально существующих ее метеостанциях.

Методика и фактический материал

Метод триангуляции Делоне является одной из эффективных процедур экстраполяции различных скалярных физических полей [2]. Для определения значения (X) отображаемого параметра в любой заданной точке координатной плоскости в соответствии с упомянутым методом на нее наносятся все пункты, в которых известны его значения. Эти пункты соединяются между собой всевозможными непересекающимися прямыми.

На образовавшуюся таким образом систему треугольников накладывается масштабная сетка, шаг которой (W) не должен превышать абсолютной погрешности измерения отображаемых параметров в каждом из учитываемых пунктов.

На всех получившихся при этом отрезках прямых находятся точки, соответствующего равным значениям отображаемого параметра, которые соединяются между собой линиями, не пересекающимися аналогичные линии, соответствующие другим значениям того же параметра.

Через заданную точку проводится отрезок прямой наименьшей длины, соединяющий две соседние, ближайшие к ней изолинии. При этом X определяется по формуле:

$$X = X_1 + \frac{l_1}{l_1 + l_2} W,$$

где X_1 – значение отображаемого параметра на одной из изолиний,

l_1 – длина участка от образовавшегося отрезка между точкой и этой изолинией,

l_2 – расстояние между точкой и другой изолинией,

W – шаг масштабной сетки (со знаком (+), если значение отображаемого параметра на первой изолинии меньше, чем на второй и со знаком (-), если наоборот).

При этом предполагается, что на любом отрезке, соединяющем какие-либо пункты, отображаемый параметр изменяется по линейному закону, в действительности же, во многих случаях это не так. Это, а также прочие упрощающие допущения могут приводить к отличиям результатов экстраполяции значений отображаемого параметра от его истинных значений. Одним из таких допущений является предположение, согласно которого все пункты наблюдения, а также точки для которых осуществляется экстраполяция, располагаются на уровне моря. В действительности же это не всегда так, и абсолютные высоты подобных пунктов могут отличаться от нуля, что может вызывать систематические ошибки.

Для их компенсации может быть использована методика, основанная на предположении о том, что возвышение некоторого пункта над уровнем моря на сто метров приводит к снижению в нем значения температуры воздуха на $0,65^\circ \text{C}$ [3]. Это позволяет, зная абсолютную высоту каждого пункта наблюдения, рассчитать значение поправки к измеренному в нем значению температуры воздуха, вычитание которой из этого значения приводит исходные данные и результаты экстраполяции к значениям, соответствующим уровню моря.

Аналогичная поправка, учитывающая абсолютную высоту пункта, для которого осуществляется экстраполяция, должна быть сделана и к значению X , рассчитанному по приведенной формуле (1).

С учетом изложенного, для достижения поставленной цели были оценены значения поправок на абсолютную высоту для всех пунктов территории Украины и приграничных регионов России, Белоруссии, Польши, Словакии, Венгрии, Румынии и Молдовы, для которых в Интернете, на сайте имеются данные о среднемесячных температурах воздуха для любого месяца в период с января 1979 по декабрь 2006 года. Все упомянутые данные характеризуются абсолютной погрешностью расчета $0,01^\circ \text{C}$. Пункты, для которых подобная информация представлена в Интернете, показаны на рис. 1.

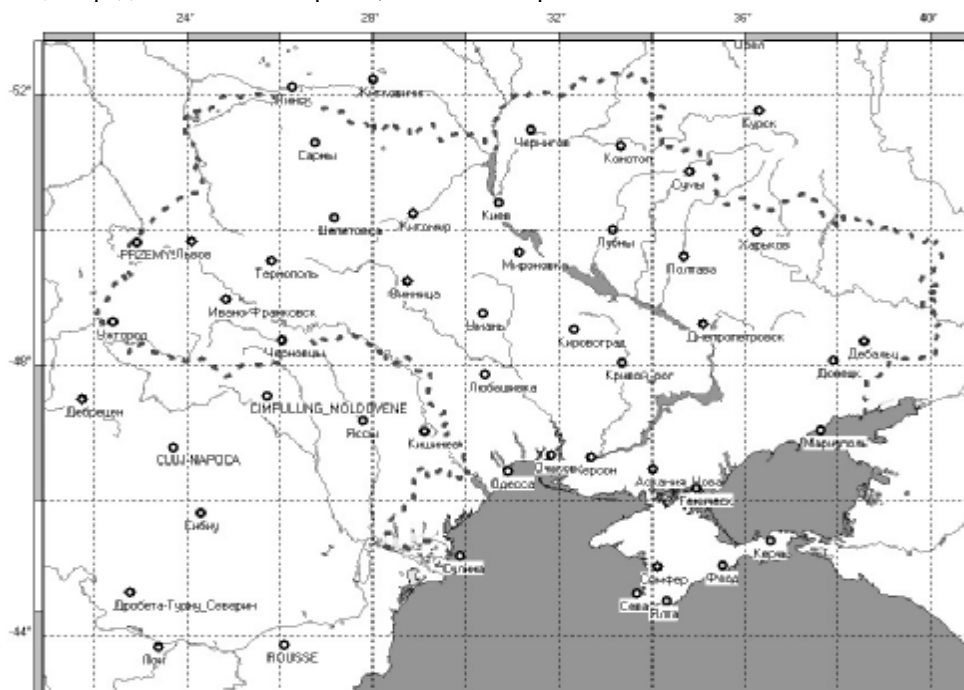


Рис. 1. Расположение на территории юго-восточной Европы пунктов метеорологических наблюдений, по данным которых рассчитаны представленные в Интернете значения среднемесячных температур приземного слоя атмосферы.

Методика оценки абсолютной погрешности получаемых при этом результатов экстраполяции состояла в следующем.

Для каждого пункта, в котором известно значение отображаемого параметра в некотором месяце, за заданный интервал лет, вычисляется значение разности истинного значения этого параметра, а также экстраполированного его значения, оцененного для случая, если бы данные для этого пункта отсутствовали.

Для каждого пункта и для каждого месяца при этом может быть сформирован временной ряд значений ошибки, включающий столько членов, сколько лет содержит рассматриваемый интервал времени. По каждому такому ряду могут быть вычислены средние значения (смещение), а также среднеквадратическое отклонение (СКО).

Вычисленное таким образом значение смещения необходимо вычесть из соответствующего результата, полученного по формуле (1).

Нетрудно видеть, что вычисленное таким образом СКО представляет собой оценку сверху истинного значения абсолютной погрешности экстраполяции в рассматриваемой точке, учитывающую совместное влияние всех неточностей возникающих в результате сделанных допущений.

Результаты и их анализ

Для каждого из пунктов показанных на рис. 1 рассчитаны значения смещений и СКО для всех месяцев с января по декабрь.

Примеры зависимостей от номера месяца значения СКО ошибок экстраполяции среднемесячных температур приземного слоя атмосферы в городах Киев, Донецк, Львов, Одесса и Симферополь показаны на рис 2.

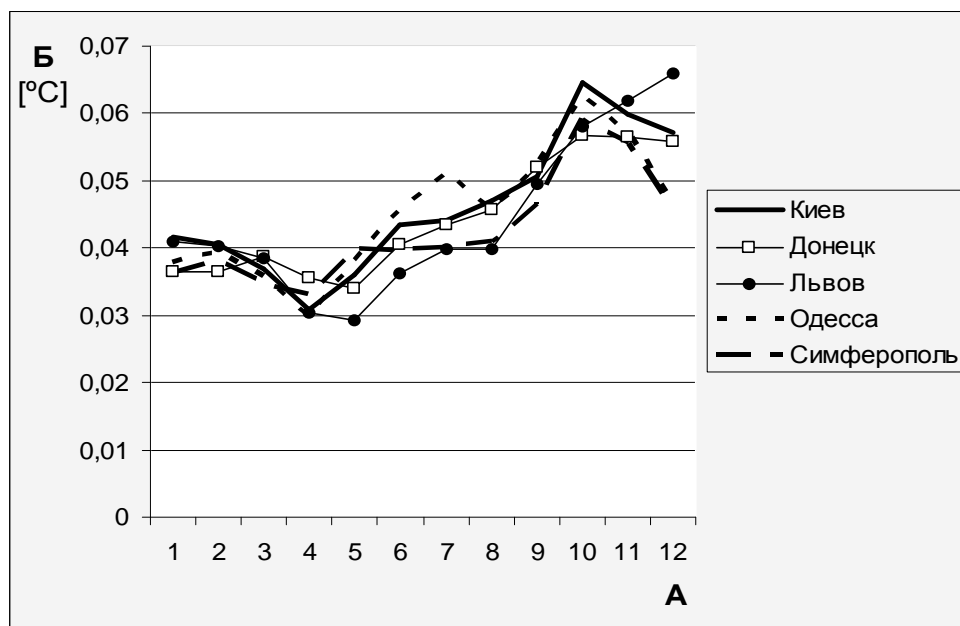


Рис. 2. Зависимость от номера месяца (А) среднеквадратическое отклонение результатов экстраполяции среднемесячных температур приземного слоя атмосферы (Б) в городах Киев, Донецк, Львов, Одесса и Симферополь.

Как видно из рис. 2, во всех указанных пунктах Украины СКО результатов экстраполяции рассматриваемой характеристики метеорологических условий существенно зависит от времени года. Наименьшее значение СКО всюду соответствует периоду с января по март, а наибольшее – октябрь - декабрь.

Аналогичные закономерности выявлены для всех прочих пунктов территории Украины. Полученные таким образом оценки СКО в учитываемых пунктах наблюдения могут быть экстраполированы с использованием того же метода триангуляции Делоне на любые заданные ее пункты.

Полученное таким образом распределение по территории Украины оценок СКО результатов экстраполяции среднемесячных температур приземного слоя атмосферы в январе приведено на рис. 3.

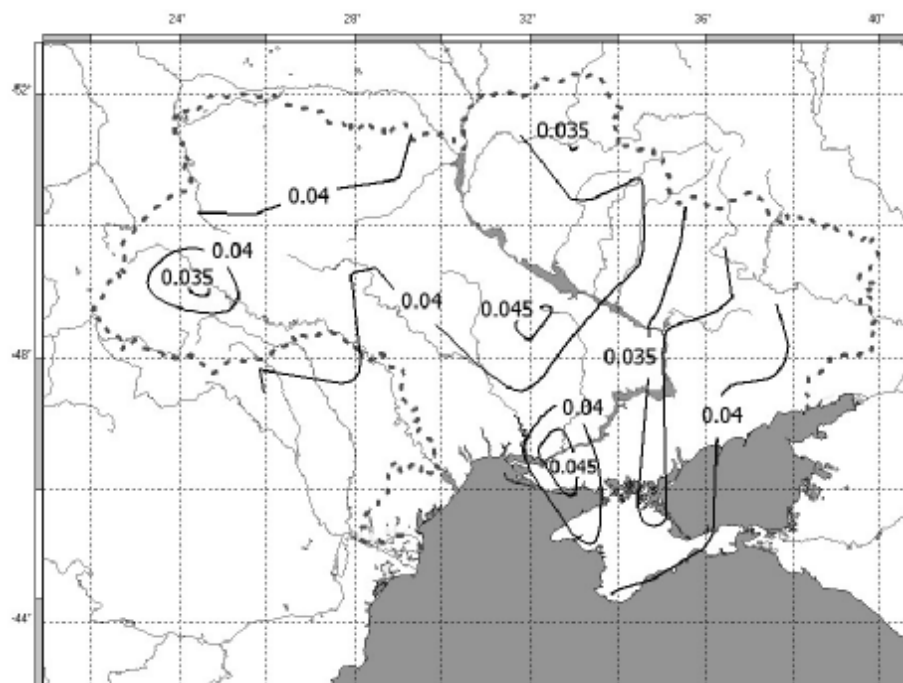


Рис. 3. Распределение по территории Украины значений СКО результатов экстраполяции среднемесячных температур приземного слоя атмосферы в январе.

Как видно из рис. 3 интервал, к которому относится СКО результатов экстраполяции рассматриваемой характеристики атмосферы в январе составляет от 0,35 до 0,45. Наименьшие значения охватывают территории Сумской, Днепропетровской области и Джанкойский район Автономной республики Крым, а также части Харьковской, Полтавской, Ивано-Франковской областей. Наибольшие – охватывают часть Херсонской и Кировоградской областей.

На рис 4 показано распределение по территории Украины СКО результатов экстраполяции значений среднемесячных температур приземного слоя атмосферы в июле.

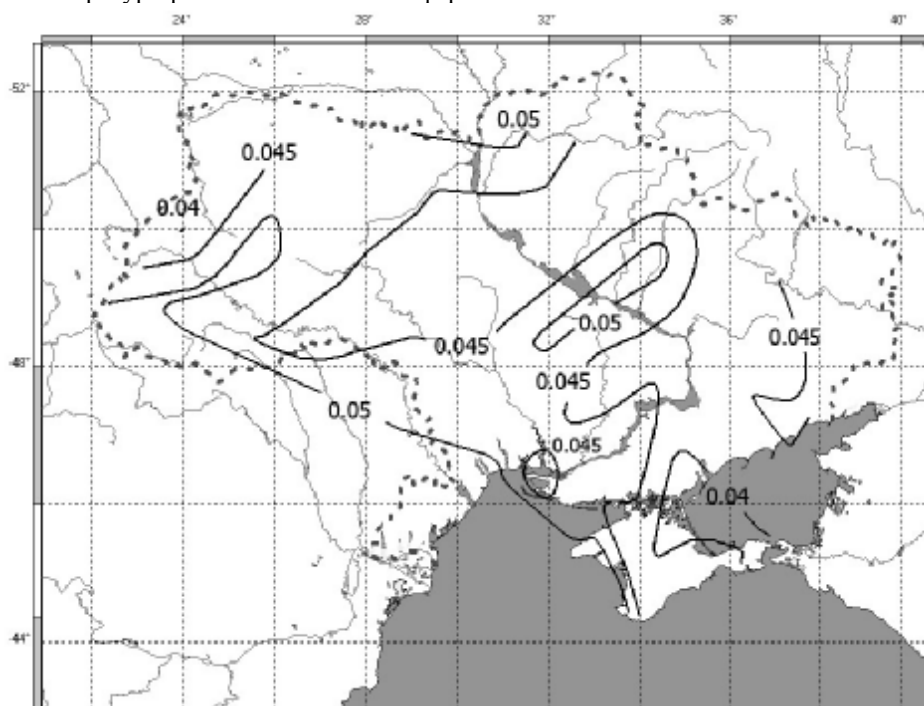


Рис 4. Распределение по территории Украины СКО результатов экстраполяции значений среднемесячных температур приземного слоя атмосферы в июле.

Как видно из рис. 4 интервал, к которому относится СКО результатов экстраполяции рассматриваемой характеристики атмосферы в июле составляет от 0,04 до 0,05. Наименьшие значения охватывают Джанкой-

ский и Нижнегорский районы Автономной республики Крым, а также Львовскую область. Наибольшие – охватывают часть Полтавской, Кировоградской, Черниговской, Одесской, Ужгородской и Ивано-Франковской областей.

Выводы

Таким образом, установлено, что метод триангуляции Делоне, может быть применен для экстраполяции значений среднемесячных температур приземного слоя атмосферы над любым регионом Украины.

Значение абсолютной погрешности результатов экстраполяции в любой месяц, с учетом поправки на абсолютную высоту местности, а также смещения, не превышает $0,07^{\circ}\text{C}$. При этом в зимние месяцы (с января по март) значения СКО существенно меньше указанного во всех пунктах.

Наибольшие значения относительных погрешностей экстраполяции приходятся на ноябрь, когда средние значения среднемесячных температур близки к нулю, а СКО близки к максимальным.

Учитывая изложенное, метод триангуляции Делоне может быть рекомендован к использованию в задачах охраны труда и прикладной экологии.

Источники и литература

1. Крамер Г. Математические методы статистики: учебное пособие / Г. Крамер; Пер. А.С. Монин, Пер. А.А. Петров, Ред. А.Н. Колмогоров. – 2-е изд., стер. – М. : Мир, 1975. – 648 с.
2. Скворцов А.В. Триангуляция Делоне и ее применение /А.В.Скворцов. – Томск: Изд-во Томского государственного университета, 2002. – 128 с.
3. Salby M.L., Fundamentals of Atmospheric Physics, New York. Academic Press. 1996. 560p.