

## **Динамика высот температурных уровней в тропосфере Причерноморского региона**

Одесский государственный экологический университет, г. Одесса  
e-mail: danova8@mail.ru

**Аннотация.** *Анализируются высоты температурных уровней: нулевой изотермы, естественной и интенсивной кристаллизации. Выявлена динамика изменения высот температурных уровней в тропосфере Причерноморского региона. Показано увеличение высот всех уровней за последние 40 лет.*

**Ключевые слова:** *нулевая изотерма, уровни естественной и интенсивной кристаллизации, рост температуры воздуха.*

### **Введение**

Для процессов облакообразования, а также осадкообразования главными являются условия фазовых переходов воды в атмосфере. При отрицательных температурах, сначала происходит конденсация водяного пара, а уже потом кристаллизация жидкой фазы. Заметные концентрации ледяных кристаллов начинают образовываться в облаке, когда температура падает ниже  $-15,0^{\circ}\text{C}$ . Эти условия оказываются благоприятными для гетерогенного ледообразования. Вода в контакте с большинством веществ будет замерзать при температурах выше  $-40,0^{\circ}\text{C}$ , и пар будет сублимироваться на большинстве веществ при пересыщениях и переохлаждениях более низких, чем нужно для гомогенного ледообразования [1-3]. Исследования показывают, что концентрация ледяных ядер очень переменчива в пространстве и по времени. Она в большой мере зависит от температуры. Снижение температуры приблизительно на  $40,0^{\circ}\text{C}$  приводит к увеличению их концентрации на порядок. Атмосфера характеризуется относительно большим количеством ядер конденсации и недостатком ядер замерзания. С точки зрения значимости роль атмосферных ядер в процессе ледообразования, можно принять такую классификацию процессов замерзания. Влияние ядер замерзания заключается в том, что они разрушают или ослабляют дипольную структуру поверхностного электрического слоя [1-3]:

а) кристаллизация при температуре выше  $-32,0^{\circ}\text{C}$ . В этом случае твердые нерастворимые ядра, смоченные водой, образуют зародышевые кристаллы путем замерзания их водяной оболочки. Наличие твердых частей просто облегчает энергетический переход вода-лед;

б) кристаллизация в интервале температур от  $-32,0^{\circ}\text{C}$  к  $-41,0^{\circ}\text{C}$ . В этом диапазоне происходит замерзание капель растворов солей. Под воздействием низких температур раствор солей становится пресыщенным, что приводит к выпадению кристаллов соли в осадок. Эти кристаллы и играют роль ядер замерзания;

в) кристаллизация при  $T < -41^{\circ}\text{C}$  может быть следствием спонтанного замерзания капель воды или чистых растворов солей без участия ядер замерзания путем случайного соединения молекул переохлажденной воды в агрегаты ледяной фазы;

г) кристаллизация при температурах  $-65,0^{\circ}\text{C}$  и ниже происходит путем прямой сублимации водяного пара на твердых несмачиваемых ядрах, или спонтанного замерзания мелких капель, как в пункте в.

Учитывая современную тенденцию к повышению температуры воздуха, характерную для Причерноморского региона, необходимо провести исследования изменчивости высоты трех уровней [4,-6]:

1) уровень нулевой изотермы  $t=0,0^{\circ}\text{C}$ , которой разделяет атмосферу на части с положительными и отрицательными температурами;

2) уровень естественной кристаллизации  $t=-15,0^{\circ}\text{C}$ , от высоты расположения которого зависит фазовое состояние осадков;

3) уровень интенсивной кристаллизации  $t=-32,0^{\circ}\text{C}$ , от высоты расположения которого зависит возможность формирования и выпадения крупного града.

Необходимо провести исследование динамики высоты трех температурных уровней и провести анализ пространственно-временного распределения высоты температурных уровней в Причерноморском регионе.

### **Материалы и методы**

В работе использовался массив данных радиозондирования атмосферы за теплый период года – с апреля по сентябрь за 40 лет с 1973 по 2012 гг. за срок от 00 часов по гринвичскому времени по 10 аэрологическим станциям, расположенным в Черноморском регионе. Государственная принадлежность станций и их координаты приведены в таблице 1 [7].

Таблица 1

## Государственная принадлежность станций и их координаты, высота над уровнем моря

Станции	Координаты		Высота над уровнем моря, м	Годы	Период лет
	Широта	Долгота			
Украина					
Киев	50,40	30,56	167	1973-2012	40
Львов	49,81	23,95	323	1973-2012	40
Одесса	46,43	30,76	42	1973-2012	40
Харьков	49,96	36,13	155	1973-2012	40
Россия					
Дивное	45,91	43,35	87	1973-2012	40
Ростов-на-Дону	47,25	39,81	78	1973-2012	40
Туапсе	44,10	39,03	95	1973-2012	40
Турция					
Анкара	39,95	32,88	891	1973-2012	40
Стамбул	40,96	29,08	39	1973-2012	40
Румыния					
Бухарест	44,50	29,13	91	1973-2012	40

Как известно, некоторая неоднородность первичных материалов обусловлена тем, что большинство стран применяют свои системы радиозондов, датчики которых имеют разную точность. Аэрологические данные вследствие этого могут быть не вполне сравнимы между собой. Во избежание этого, мы использовали результаты наблюдений за период с 1973 г., когда радиационные ошибки для употребляемых типов радиозондов были исключены, а, следовательно, значения температуры и высоты определенных температурных уровней в тропосфере стали больше сравнимы между собой, чем в предыдущие годы.

Таким образом, начальный материал является однородным и репрезентативным. Использование его, на наш взгляд, может дать хорошие результаты. Определение многолетних температурных характеристик и высоты температурных уровней проводилось для теплого периода года с апреля по сентябрь. Этой же цели способствовало использование всего одного срока зондирования – 00 часов по гринвичскому времени. Учитывая географическое место расположения станций, крайние отклонения выпуска радиозонда по местному времени не превышают  $\pm 5$  ч. При этом радиационная поправка по величине или близка к нулю, или не превышает точности измерения температуры. Анализ исходного материала показал, что по числу наблюдений до уровня 100 гПа станции мало различаются между собой.

## Результаты и обсуждение

Проведем исследование изменчивости высот температурных уровней во времени на территории Причерноморского региона. Построенные графики многолетней изменчивости высот каждого из трех уровней для всех станций, позволили выявить количественные характеристики линейного тренда, которые представлены в (табл. 2). Жирным шрифтом и курсивом показаны максимальные положительные значения линейного тренда, данные таблицы были визуализированы. Анализ табличного материала показал, что максимальный рост уровня нулевой изотермы наблюдается на ст. Львов (390 м), уровней естественной и интенсивной кристаллизации – на ст. Ростов-на-Дону (380 и 470 м соответственно). Если рассматривать средние значения по региону, то максимальный рост характерен для уровня естественной кристаллизации.

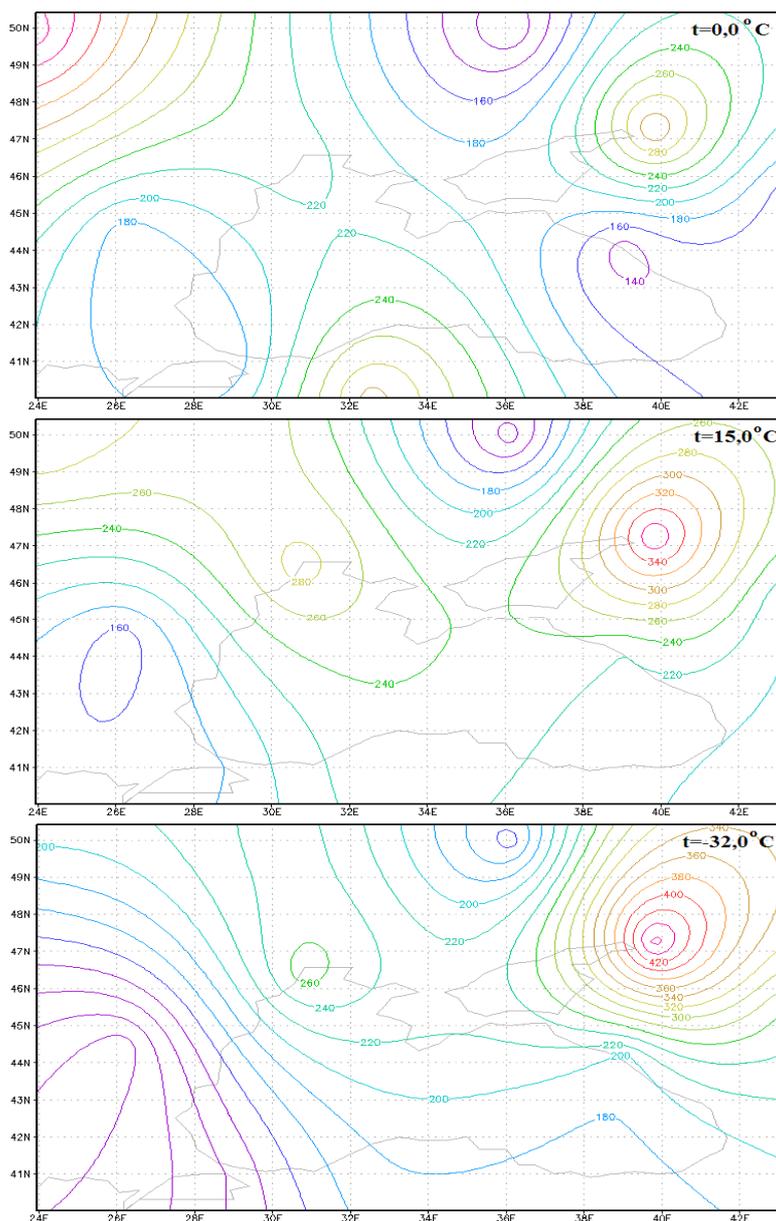
Таблица 2.

## Изменения высот (м) температурных уровней

Станция	Долгота	Широта	Температурные уровни		
			t=0,0° C	t=-15,0° C	t=-32,0° C
Бухарест	26,18	44,48	170	150	50
Дивное	43,21	45,55	150	200	260
Одесса	30,76	46,43	230	290	270
Киев	30,45	50,40	220	260	250
Ростов-на-Дону	39,81	47,25	320	<b>380</b>	<b>470</b>
Стамбул	28,81	40,96	160	180	100
Харьков	36,13	49,96	100	110	130
Туапсе	39,04	44,06	130	220	190
Львов	23,95	49,81	<b>390</b>	300	200
Анкара	32,54	40,02	310	230	170
Средние значения по региону			218	232	209

Проведем исследование пространственного распределения выявленных тенденций относительно высот температурных уровней. Для этого рассчитаны количественные значения линейного тренда для каждой станции были визуализированы (рис. 2). Анализ пространственного распределения изменений высот температурных уровней за последние сорок лет показал, что для всех уровней характерным является увеличение высоты. На всех трех уровнях можно выделить район ст. Ростов-на-Дону, для которого наблюдается значительный рост от 320 до 470 м. Для высот уровней естественной и интенсивной кристаллизации, которые находятся в слое 500-300 гПа, в зависимости от месяца теплого периода года, характерны однотипные поля.

На которых фиксируются два максимума: ст. Ростов-на-Дону (380, 470 м в зависимости от температуры поверхности) и ст. Одесса (290 и 270 м соответственно) (табл. 2, рис. 2). Для всех других станций также характерен рост высот температурных уровней, но это увеличение характеризуется меньшими значениями.



**Рис. 1.** Пространственное распределение изменений высот температурных уровней

Таким образом, выделяется зона минимального роста высот температурных уровней – западная и юго-западная территория Причерноморского региона, кроме того можно выделить район над ст. Харьков, для которого тоже характерен небольшой рост от 120 до 130 м.

Представим осредненные значения аномалий высот температурных уровней, рассчитанных для всего Причерноморского региона за четыре десятилетних периода (рис. 2). Во всем Причерноморском регионе наибольшее увеличение высот температурных уровней наблюдается в последнее десятилетие 2003-2012 гг.

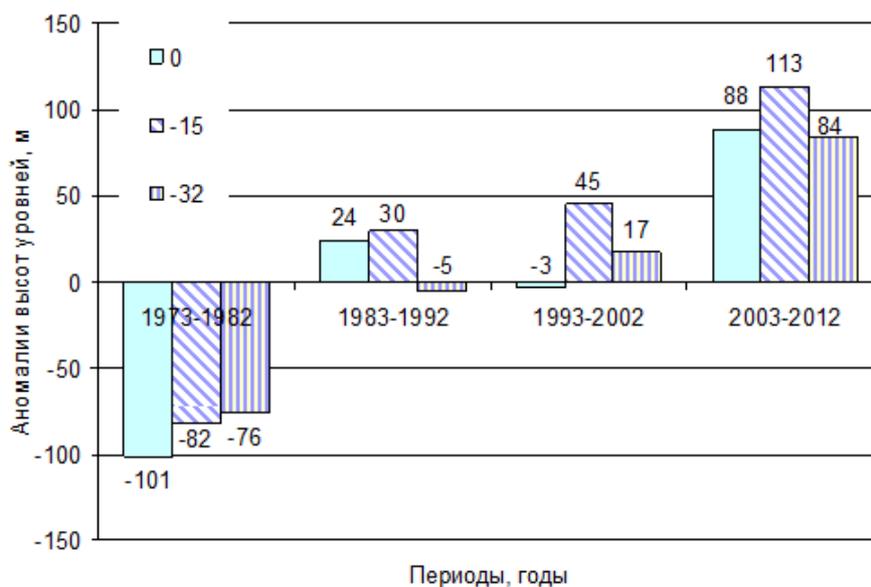


Рис. 2. Динамика высот температурных уровней за сорок лет

### Выводы

Проведенные исследования динамики изменчивости высоты температурных уровней в тропосфере Причерноморского региона за последние 40 лет, позволили установить:

1. на всех температурных уровнях наблюдается рост высот над уровнем моря;
2. максимальный рост характерен для уровня естественной кристаллизации;
3. пространственное распределение аномалий высот в тропосфере Причерноморского региона

показали формирование максимума на ст. Ростов-на-Дону и зоны минимума в районе ст. Бухарест.

Представленные результаты, позволили выявить дополнительные признаки потепления, характерного для современных климатических изменений. Учитывая повышение основных температурных уровней можно ожидать, уменьшение случаев осадков в виде мелкого града или крупы, увеличение случаев осадков ливневого характера, роста высоты кучево-дождевой облачности в регионе. В тоже время, прогревая тропосферу Причерноморского региона приобретает свойства тропической, для которой является естественным формирование мощной кучево-дождевой облачности; выпадение сверхкрупного града; длительные и интенсивные грозы; возникновение смерчей и ураганных ветров.

### Литература

1. Школьный Е. П. Фізика атмосфери / Е. П. Школьний. – Одеса : ОГМІ, 1977. – 698 с.
2. Данова Т. Е. Фізичні основи впливу на атмосферні процеси / Т. Е. Данова. – Одеса, ОДЕКУ, 2010. – 124 с.
3. Мазин И. П. Облака, строение и физика образования / И. П. Мазин, С. М. Шметер. – Л. : Гидрометеиздат, 1979. – 231 с.
4. Данова Т. Е. Региональные особенности типизации градовых процессов в Причерноморье / Т. Е. Данова // Метеорологія, кліматологія та гідрологія. – Одеса, 2002 – Вип. 46.– С. 137 - 143.
5. Данова Т. Е. Термодинамические параметры конвекции при градовых процессах / Т. Е. Данова // Метеорологія, кліматологія та гідрологія. – Одеса, 2003 – Вип. 47. – С. 42 - 47.
6. Ліпінський В. М. Клімат України / В. М. Ліпінський, В. А. Дячук, В. М. Бабіченко. – К. : Вид. Раєвського, 2003. – 343 с.
7. База данных Вайомингского университета [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [www.weather.uwyo.edu](http://www.weather.uwyo.edu).

**Анотація.** Є. Д.Тетяна, С. О. Петричиць **Динаміка висот температурних рівнів в тропосфері Причорноморського регіону.** Аналізуються висоти температурних рівнів: нульової ізотерми, природної і інтенсивної кристалізації. Виявлена динаміка зміни висот температурних рівнів в тропосфері Причорноморського регіону. Показано збільшення висот усіх рівнів за останні 40 років.

**Ключові слова:** нульова ізотерма, рівні природної і інтенсивної кристалізації, зростання температури повітря.

**Abstract.** T. Danova, S. Petrychyts **Dynamics of heights of temperature levels in troposphere of Region of the black sea.** Heights of temperature levels are analyzed: the zero isotherm natural and intensive crystallization. Dynamics of variation of heights of temperature levels in troposphere of region of Black sea is revealed. The increase of heights of all levels for last 40 years is shown.

**Keywords:** zero isotherm, levels of natural and intensive crystallization, growth of temperature of air.

Поступила в редакцію 09.02.2014 з.