

**И.Л. Маринин**, к.геогр.н., **О.Р. Драничер**, асп.  
Одесский государственный экологический университет

## НЕКОТОРЫЕ ОЦЕНКИ ХАРАКТЕРИСТИК ОСТРОВА ТЕПЛА Г.ОДЕССА

*Выполнена оценка характеристик острова тепла г.Одесса путем сравнения температуры воздуха на 15 пунктах наблюдений, 9 из которых расположены в черте города. Ряд наблюдений составил 45 месяцев. Обсуждаются вопросы выбора станций, сроков наблюдений и обеспечения однородности данных. Полученные результаты указывают на систематическое наличие острова тепла интенсивностью 2,9 °С, причем городская среда в среднем теплее сельской местности на 1,3 °С. Учет прибрежных станций, измерения которых отражают влияние моря, приводит к занижению указанных параметров на 0,5°С.*

**Ключевые слова:** приземная температура воздуха, городской остров тепла, термический режим

**Введение.** Характерным атрибутом современных городов является остров тепла города (ОТГ), который проявляется в виде области повышенных значений температуры воздуха над районами городской застройки. Физические механизмы, приводящие к его образованию, в основном изученные к середине 80-х годов [2–7], в общих чертах сводятся к следующему.

1. Городская застройка, стилизуемая «каньонами», существенно изменяет радиационный режим поверхности во всех спектральных интервалах. В течение дня солнечная энергия улавливается многократным отражением и переизлучением от поверхностей зданий и тротуаров, а уходящая радиация частично поглощается зданиями и термодинамическими активными примесями, концентрация которых в городской атмосфере значительно повышена.

2. Город характеризуется преобладанием искусственных поверхностей (асфальт, кирпич, бетон), теплоемкость и теплопроводность, и, как следствие, суточный ход температуры которых существенно отличается от естественных.

3. Этот же фактор приводит к уменьшению эвапотранспирации и испарения в городе, в результате чего город накапливает большее количество тепла, чем природная местность. Кроме того, сток в городе значительно выше и происходит быстрее.

4. По некоторым оценкам [7], приблизительно треть энергетического баланса города составляют антропогенные источники тепла как продукт деятельности транспорта, промышленности и жилищно-коммунального хозяйства.

Таким образом, городская подстилающая поверхность по сравнению с пригородной является более теплой и сухой. В светлое время суток она запасает некоторое количество тепла, а ночью отдает его окружающему воздуху.

Перечисленные выше физические факторы при определенных условиях также могут создавать пониженный фон температуры над городской застройкой, называемый иногда островом холода или ОТГ отрицательного знака. В частности, это бывает утром при ясном небе, когда городские каньоны прогреваются с запаздыванием относительно ровной сельской местности.

Из ранних наблюдений [1] известно, что распределение температуры воздуха в г.Одесса характеризуется значительной неоднородностью. В зависимости от типа погоды, времени суток и сезона значение наибольшей разности средних месячных температур в пределах города изменяется от 0,2 до 3,7 °С.

**Целью** данного исследования является оценка характеристик острова тепла г. Одесса.

**Материалы и методы исследования.** В настоящей работе производится оценка характеристик острова тепла г.Одесса традиционным способом, то есть посредством

сравнения наблюдаемой температуры воздуха в г.Одесса и за городом. Подобные исследования проводились во множестве различных городов мира. Библиография этой проблемы чрезвычайно велика, некоторые обзоры можно найти, например, в [3, 7, 11]. Однако, несмотря на обилие научных подходов и экспериментального материала, ряд принципиальных вопросов до сих пор находится в стадии решения. Одним из них является обеспечение однородности рядов наблюдений. Для корректной идентификации острова тепла необходимо, во-первых, выбрать оптимальную и постоянную конфигурацию кластера станций наблюдения, и, во-вторых, обеспечить однородность данных наблюдений на всех станциях кластера. Это означает, что данные должны быть однородными, выполненными на единой измерительной базе, на одной реперной высоте и в один момент времени. Первая проблема обусловлена тем, что городская и пригородные зоны находятся в тесном динамическом взаимодействии, влияния которой необходимо избежать при выявлении ОТГ. Например, исследование ОТГ в Вене (Австрия) проводилось на трех внутригородских, трех пригородных и трех удаленных станциях [10]. Вторая проблема затрагивает множество исследований, поскольку в большинстве случаев технические возможности наблюдений не обеспечивают соблюдения всех необходимых требований [13], в особенности при рассмотрении многолетних реализаций климатических параметров.

В нашем исследовании кластер станций состоял из городской сети, станций, условно называемых пригородными, и удаленных станций (рис.1). Городская сеть состояла из 8 контрольно-замерных пунктов чистоты атмосферного воздуха "ПОСТ-1" (КЗП), распределенных по городу в соответствии с программой мониторинга чистоты воздуха, а также обсерватории г.Одесса. К пригородным станциям были отнесены АМСГ и порт Одесса. Станциями, удаленными от города, были выбраны Раздельная, Сербка, порт Ильичевск и порт Южный. Осредненное по портовым станциям за каждый срок значение температуры воздуха было принято в качестве оценки температуры над морем  $\bar{T}_S$ . За температуру над городом  $\bar{T}_U$  принималась средняя температура воздуха по КЗП и ст. Одесса-обсерватория. Температура над сушей  $\bar{T}_L$  рассчитывалась как среднее по остальным пригородным и удаленным станциям. Осреднение значений по нескольким станциям позволяет снизить ошибку, связанную с возможностью неадекватного выбора станции для сравнения температуры воздуха в городе.

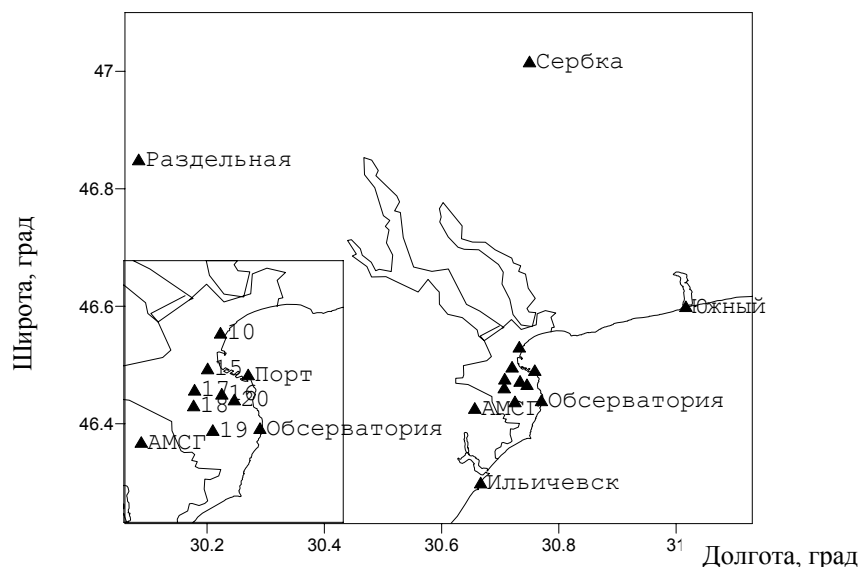


Рис.1 - Расположение станций и постов.

Ряд данных включал измерения температуры воздуха на стандартной высоте за период с января 2002 г. по сентябрь 2005 г. в сроки 07 и 19 ч местного времени на КЗП и, соответственно, 06 и 18 UTC на метеостанциях. За столь короткий период времени ни метеостанции, ни посты не изменяли своего местоположения и высоты измерений. Таким образом, с точки зрения геометрической конфигурации кластера станций, данные можно считать однородными. Однако необходимо учесть временной сдвиг между измерениями на постах и на станциях. Такого рода синхронизация исследователями проводилась не всегда (например, [14]). В то же время ОТГ наиболее развит в условиях малооблачной погоды, когда суточный ход величин хорошо выражен, и асинхронность данных приводит к заметным ошибкам [13].

Для синхронизации данных по КЗП и метеорологическим станциям были рассчитаны поправки к значениям температуры воздуха на станциях для приведения ее к срокам 07 и 19 ч местного времени. Для удаленных от моря станций эти поправки были рассчитаны с помощью климатического справочника [8]. Эти же поправки были рассчитаны независимо по данным термографа обсерватории Одесса за весь исследуемый период. Сравнение поправок, полученных разными методами, показывает, что они значительно отличаются друг от друга (рис.2). Очевидно, в этом проявляется влияние моря, находящегося в непосредственной близости от места наблюдения, которое сглаживает суточный ход температуры воздуха в прибрежной зоне [1]. Исходя из этого, для коррекции значений температуры портовых станций, а также обсерватории, использовались поправки, рассчитанные с помощью [8], а для остальных станций – по данным термографа.

**Результаты исследования и их анализ.** Температурные контрасты на границах города ярче всего проявляются в вечерние часы, непосредственно перед закатом и после него, а также утром. Днем даже в солнечную безветренную погоду различие температур между городом и сельской местностью обычно незначительно, но быстро увеличивается после захода солнца и сохраняется в течение всей ночи (рис.3). В большом мегаполисе остров тепла существует и в дневное время, хотя значительные различия, в основном положительные, наблюдаются ночью.

Суточный ход ОТГ, согласно ряду исследований [11], различен летом и зимой. В зимний сезон максимум развития острова тепла приходится примерно на 21 ч. Затем его интенсивность постепенно уменьшается вплоть до 13 ч следующего дня. В теплое время года днем до 17 ч значения температуры в городе и в сельской местности практически не отличаются, а затем вследствие охлаждения воздуха в сельской местности разность температур возрастает.

Таким образом, привлеченные данные могут использоваться для оценки характеристик развитых ОТГ, так как сроки наблюдений (07 и 19 ч) близки к характерному времени их максимального развития, в частности, 07 ч для острова холода и 19 ч для острова тепла. Если же рассматривать ОТГ как осредненную за сутки разность температур в городе и за городом, то этих данных недостаточно.

Для выявления ОТГ были проанализированы его интегральные характеристики, рассчитываемые для каждого срока наблюдений. Основной характеристикой ОТГ является его интенсивность  $\Delta T_L$ , определяемая как разность максимального (или минимального в случае острова холода) значения температуры воздуха в городе  $T_{U \max}$  и средней температуры воздуха за городом  $\bar{T}_L$ :

$$\Delta T_L = T_{U \max} - \bar{T}_L. \quad (1)$$

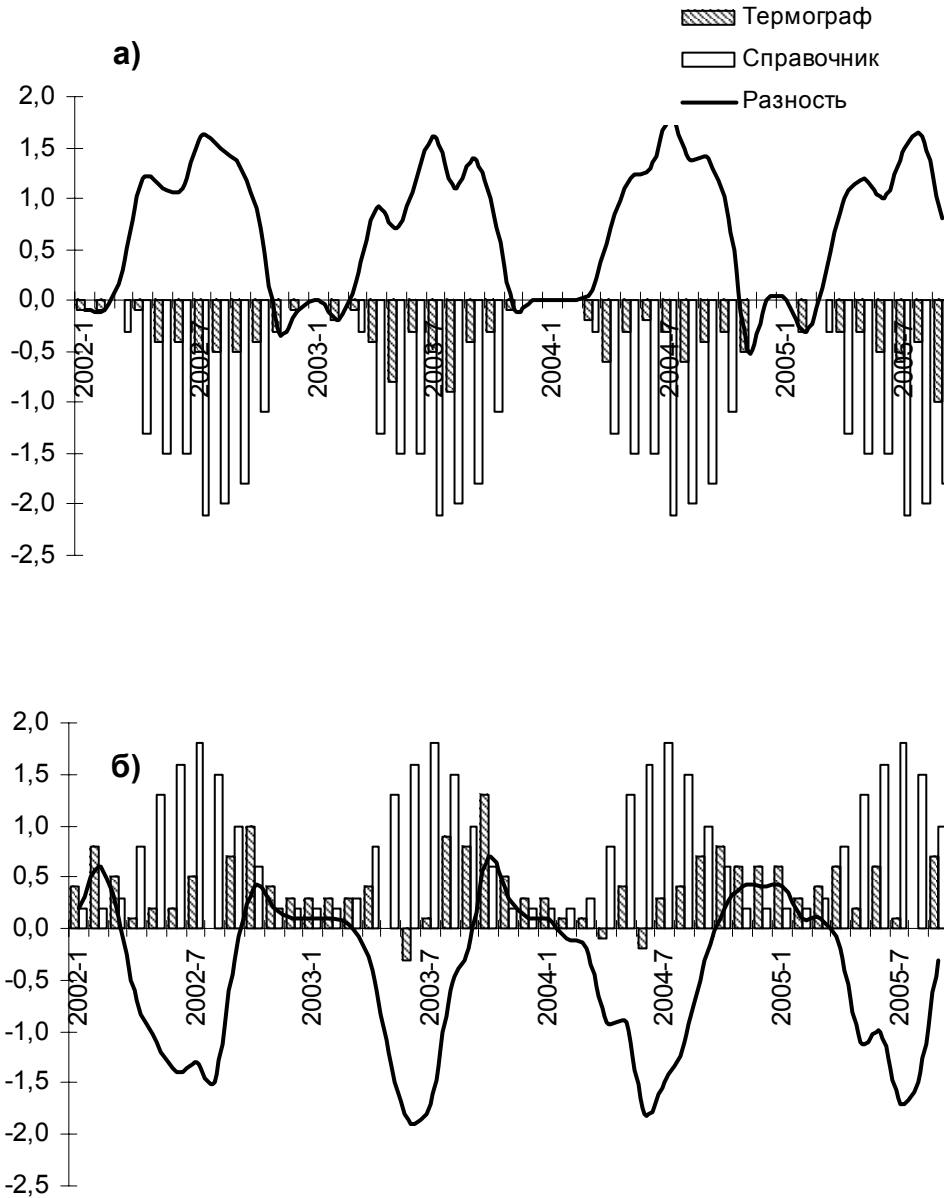


Рис.2 – Поправки к значению температуры воздуха по данным [8], по анализу записей термографа и разность между ними в 06 UTC (а) и 18 UTC (б).

ОТГ проявляется в виде области замкнутых изотерм над городом. Над крупными городами остров тепла с некоторым приближением однороден по горизонтали. Это позволяет выделить так называемое «плато», покрывающее большую часть города, величина которого примерно равна осредненному по территории города значению температуры, а также его «пик» в центре (область экстремальных значений температуры) и «утесы» по краям (области повышенных горизонтальных градиентов температуры на границах города) [8]. Характеристикой «плато» ОТГ  $\Delta \bar{T}_L$  является разность средних значений температуры воздуха в городе  $\bar{T}_U$  и за городом  $\bar{T}_L$ :

$$\Delta \bar{T}_L = \bar{T}_U - \bar{T}_L . \quad (2)$$

Учитывая глубину проникновения непосредственного воздействия моря на температурный режим побережья [1], для оценки  $\bar{T}_L$  были использованы станции Раздельная, Сербка и АМСГ.

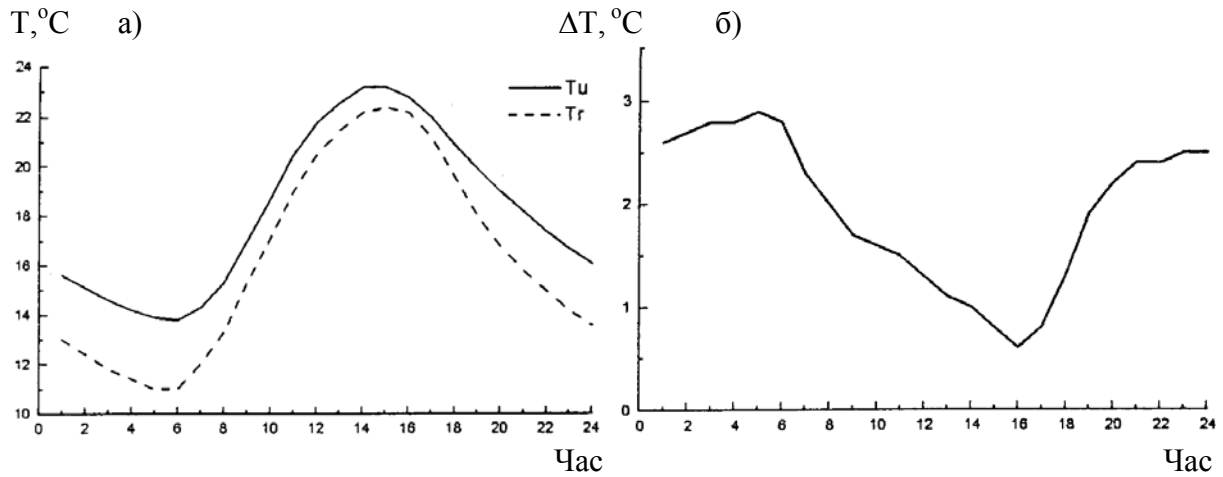


Рис.3 – Суточный ход температуры воздуха в городе (Tu) и в сельской местности (Tr) (а) и суточный ход разности этих значений (б) [12].

Обычно ОТГ определяется по контрасту температур над городом и окружающей город сельской местностью. Эти параметры позволяют судить о температурном режиме городской среды, представляют практический интерес и могут учитываться в хозяйственной деятельности. Однако значительная часть пригородной области г.Одесса является акваторией, температурный режим которой является существенно иным. Учесть этот фактор можно, сравнивая температуру воздуха в городе с осредненным значением по всем окружающим город станциям  $\bar{T}_E$ :

$$\Delta T_E = T_{U \max} - \bar{T}_E, \quad (3)$$

$$\Delta \bar{T}_E = \bar{T}_U - \bar{T}_E, \quad (4)$$

где  $\Delta T_E$  – аналог интенсивности ОТГ, а  $\Delta \bar{T}_E$  – его средней величины («плато»). Отрицательные значения введенных параметров указывают на остров холода (табл. 1).

Таблица 1 – Параметры острова тепла г. Одесса

	Мин	Макс	Среднее*	Геом.среднее*	СКО	Асим	Эксц.
$\Delta T_L$	-5,6	13,7	$2,82 \pm 0,05$ (2,72–2,91)	2,57 (2,48–2,66)	1,78	0,28	2,74
$\Delta \bar{T}_L$			$1,30 \pm 0,04$ (1,23–1,37)	1,35 (1,27–1,39)	1,32	-0,78	6,54
$\Delta T_E$	-3,5	12,9	$2,35 \pm 0,04$ (2,26–2,43)	2,07 (1,99–2,15)	1,57	0,65	2,70
$\Delta \bar{T}_E$			$0,81 \pm 0,03$ (0,76–0,86)	0,88 (0,84–0,92)	0,96	-0,23	2,84

(\*) В скобках указаны границы доверительных интервалов 95%

Таким образом, в период с января 2002 г. по сентябрь 2005 г. воздух над городской территорией в среднем был теплее воздуха в сельской местности на 1,3 °С, а средняя интенсивность ОТГ составила 2,8 °С. Распределения этих параметров островершинные, квазисимметричные (рис.4). Приведены также графики нормального распределения; гипотеза об их соответствии наблюдаемым распределениям отклоняется.

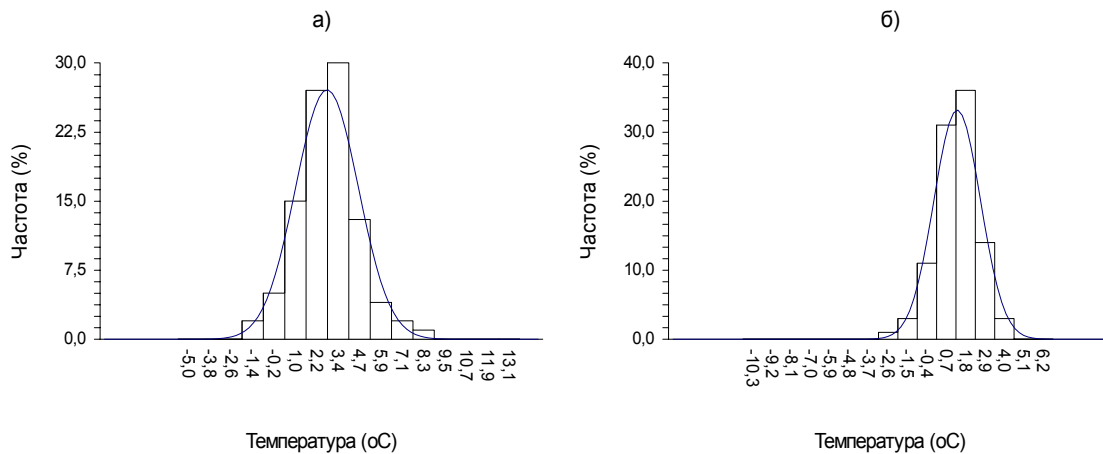


Рис.4 – Гистограммы распределения параметров: а)  $\Delta T_L$ , б)  $\Delta \bar{T}_L$ .

Интенсивность и средняя величина ОТГ, полученные с учетом прибрежных станций, оказались ниже примерно на 0,5 °С по сравнению с расчетом относительно температуры воздуха над сушей. Это свидетельствует о том, что за период наблюдения воздух над морем был часто теплее воздуха над сушей. В целом, влияние моря приводит к уменьшению температурных контрастов температуры города и пригорода. Диапазоны изменения параметров ОТГ сужаются, в особенности со стороны минимальных значений (табл.1): если максимальная интенсивность острова холода относительно средней температуры по всем станциям составляет -3,5 °С, то относительно суши город может быть холоднее до -5,6 °С.

Осредненный годовой ход параметров ОТГ показывает, что в целом воздух над городской подстилающей поверхностью теплее воздуха окружающей естественной поверхности в течение всего года, однако остров тепла наименее выражен в мае-июле, а наиболее – в октябре (рис.5). Это подтверждается рядом исследований, в частности [9, 10].

Возможными причинами являются: сезонная интенсификация антропогенных источников тепла, влияние городского озеленения на радиационный, тепловой и влажностный режим городского пограничного слоя в теплое время года, режим ветра, облачности и осадков. Еще один фактор формального характера обусловлен характером исходных данных. Поскольку интенсивность ОТГ рассчитывалась осреднением параметров по обоим срокам, можно предположить, что помимо годового хода антропогенных источников тепла, летнее уменьшение интенсивности объясняется также интенсификацией острова холода. Известно [9], что остров холода максимален весной, а остров тепла – осенью и зимой.

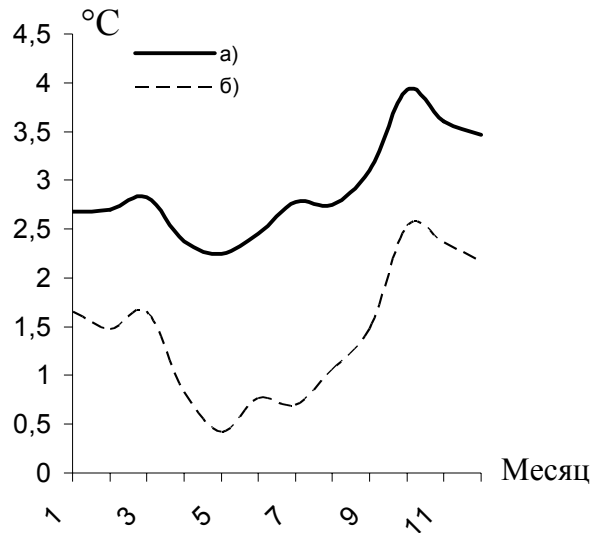


Рис. 5 – Годовой ход параметров  $\Delta T_L$  (а) и  $\Delta \bar{T}_L$  (б).

**Выводы.** Таким образом, данные наблюдений температуры воздуха указывают на развитие над г.Одесса острова тепла, который проявляется в виде систематически повышенных значений температуры воздуха над городом относительно прилегающей суши и акватории. Средняя интенсивность острова тепла составляет  $2,8\text{ }^{\circ}\text{C}$ , в то время как город в среднем теплее сельской местности на  $1,3\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Выбор станций для анализа имеет приоритетное значение. В прибрежной области формируется мезоклиматическая зона шириной не менее 8 км, метеорологический режим которой находится в сильной зависимости от прилегающей акватории Черного моря [1]. Выбор станций, удаленных от побережья, и осреднение их измерений снижают зависимость результатов от локальных эффектов. Учет прибрежных станций приводит к пересмотру оценок указанных параметров ОТГ в сторону понижения соответственно до  $2,4$  и  $0,8\text{ }^{\circ}\text{C}$ .

### Список литературы

1. *Климат Одессы* : [справочник специалиста / ред. Л.К.Смекалова, Ц.А. Швер]. – Ленинград: Гидрометеиздат, 1986. – 176, [1] с.
2. *Кондратьев К.Я.* Основные факторы формирования острова тепла в большом городе / К.Я. Кондратьев, Л.Т. Матвеев// Доклады РАН. – 1999. – Т. 367, №2. – С. 253-256
3. *Ландсберг Г.Е.* Климат города / Г.Е. Лансберг: [пер. с англ. А.Я. Фредмана]. – Ленинград: Гидрометеиздат, 1983. – 248с.
4. *Матвеев Л.Т.* Особенности метеорологического режима большого города/ Л.Т. Матвеев // Метеорология и гидрология. – 1979. – № 5. – С. 22-27.
5. *Матвеев Л. Т.* Формирование и особенности острова тепла в большом городе/ Л. Т. Матвеев, Ю. Л. Матвеев// Доклады РАН. – 2000. – Т. 370, № 2. – С. 249-252.
6. *Матвеев Ю.Л.* Особенности формирования температурно-влажностного режима в большом городе/ Ю.Л. Матвеев, Н.А. Меркурьева// Оптика атмосферы и океана. – 1997. – Т. 10, №10. – С.1181-1187.

7. Оке Т.Р. Климаты пограничного слоя/ Т.Р. Оке: [пер. с англ. А.С. Дубова]. – Ленинград: Гидрометеиздат, 1982. – 360с.
8. Справочник по климату СССР. Температура воздуха и почвы/ [ред. Л.И. Мисюр]. – Л.: Гидрометеиздат, 1967. – В.10, ч.11. – 605с.
9. Alonso M.S. Characteristics of the urban heat island in the city of Salamanca, Spain / M. S. Alonso, J. L. Labajo, M. R. Fidalgo // *Atmósfera*. – 2003. – Vol.16, №3. – P. 137-148.
10. Böhm R. Urban bias in temperature time series: a case study for the city of Vienna, Austria / R. Böhm // *Climatic Change*. – 1998. – Vol. 38. – P. 113–128.
11. Jauregui E. Heat island development in Mexico City / E. Jauregui // *Atmospheric Environment*. – 1997. – Vol. 31, № 22. – P. 3821-3831.
12. Montavez J.P. A study of the urban heat island of Granada / J.P. Montavez, A. Rodriguez, J.I. Jimenez // *Int. J. Climatol*. – 2000. – Vol.20, № 8. – P. 899–911.
13. Peterson T.C. Assessment of urban versus rural in situ surface temperatures in the Contiguous United States: no difference found / T.C. Peterson // *J. Climate*. – 2003. – Vol. 16, № 18. – P. 2941–2959.
14. Todhunter P.E. Environmental indices for the Twin Cities metropolitan area (Minnesota, USA) urban heat island - 1989 / P. E. Todhunter // *Climate Research*. – 1996. – Vol. 6. – P. 59–69.

**Деякі оцінки характеристик острову тепла м. Одеса.**

**Маринін І.Л., Дранічер О.Р.**

*Виконано оцінку характеристик острова тепла м.Одеса шляхом порівняння температури повітря на 15 пунктах спостережень, 9 з яких розташовані в межах міста. Ряд спостережень склав 45 місяців. Обговорюються питання вибору станцій, строків спостережень і забезпечення однорідності даних. Отримані результати вказують на систематичне наявність острова тепла інтенсивністю 2,9°C, причому міська середу в середньому тепліше сільській місцевості на 1,3°C. Облік прибережних станцій, вимірювання яких відображають вплив моря, призводить до заниження зазначених параметрів на 0,5°C.*  
**Ключові слова:** *приземна температура повітря, міський острів тепла, термічний режим*

**The evaluation of urban heat island characteristics over Odessa.**

**Marinin I.L., Dranicher O.R.**

*The evaluation of features of urban heat island (UHI) over Odessa is performed. The object of study is the data of surface temperature from 15 stations, while 9 stations locate within the city boundaries. The length of rows is 45 months. The questions of the station selection, the observation timing and the ensuring of data uniformity are discussed. The results indicate to systematic presence of urban heat island. Its intensity was 2,9 °C. On average the urban environment was warmer than rural areas to 1,3°C. Accounting of coastal stations leads to the underestimation of UHI parameters to 0,5°C.*

**Keywords:** *surface air temperature, urban heat island, thermal regime*