

УДК 911

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

*Севастопольская морская академия,*

[khoptsev@mail.ru](mailto:khoptsev@mail.ru)

**Н. А. БЕРЛИНСКИЙ**, д-р геогр. наук, с. н. с.,

*Одесский государственный экологический университет*

*ул. Львовская, 15 м. Одесса, 65016*

**В. Н. МОРОЗОВ**, канд. геогр. наук, с. н. с.

*Дунайская гидрометеобсерватория, г. Измаил,*

## **ИЗМЕНЧИВОСТЬ ХАРАКТЕРИСТИК ДУНАЯ КАК ФАКТОР ТЕРМИЧЕСКОЙ ТРАНСФОРМАЦИИ СРЕДИЗЕМНОМОРСКИХ ВОЗДУШНЫХ МАСС**

Изучены особенности влияния дунайских вод, поступающих в Западную часть Черного моря в зимние месяцы, на межгодовые изменения среднемесячных температур ее поверхностного слоя, а также роль последних в термической трансформации средиземноморских воздушных масс, перемещающихся в район Крымского полуострова в зимние месяцы. Выявлены характеристики этих вод, оказывающие наиболее существенное влияние на изучаемые процессы, к которым относятся расходы и температура воды Дуная.

**Ключевые слова:** перенос воздушных масс, термическая трансформация, изменчивость стока Дуная

### **Холопец О. В., Берлінський М. А., Морозов В. Н. МІНЛИВІСТЬ ХАРАКТЕРИСТИК ДУНАЮ ЯК ЧИННИК ТЕРМІЧНОЇ ТРАНСФОРМАЦІЇ СЕРЕДЗЕМНОМОРСЬКИХ ПОВІТРЯНИХ МАС**

Досліджено особливості впливу дунайських вод, що надходять до Західної частини Чорного моря у зимові місяці, на міжрічні зміни середніх значень середньомісячних температур її поверхневого шару, також роль останніх у термічній трансформації Середземного повітря, яке прямує до Криму. Визначено характеристики цих вод, які завдають найбільш відчутний вплив на процеси, що вивчаються. Подібними характеристиками є середньомісячні значення витрат та середніх температур дунайських вод, котрі надходять до Чорного моря.

**Ключові слова:** перенесення повітряних мас, термічна трансформація, мінливість стоку Дунаю

### **Kholoptsev A., Berlinsky N., Morozov V. VARIABILITY OF THE DANUBE CHARACTERISTICS AS A FACTOR OF THERMAL TRANSFORMATION OF THE MEDITERRANEAN AIR MASSES**

The influence of some physical features of the Danube water input to the Western part of the Black Sea was investigated in a winter time. The influence of variability of water temperature on the sea surface to thermal transformation of Mediterranean air masses had been estimated. Mediterranean cyclones formed the climate in the Northwestern part in the Black Sea and in the Crimea and from other side they depend on water cover condition in the Danube region. So, the predictors are river water run off and temperature.

**Keywords:** transfer of air masses, thermal transformation, river run off variability in the Danube basin

### **Введение**

Термическая трансформация воздушных масс, поступающих в тот или иной регион мира, является одним из основных факторов межгодовых изменений месячных сумм выпадающих в нем атмосферных осадков и влияющих на состояние его водных ресурсов, а также ландшафтных комплексов [1]. Поэтому выявление роли в из-

менениях интенсивности различных природных факторов является актуальной проблемой физической географии и геофизики ландшафтов.

Наибольший интерес решение данной проблемы представляет в отношении трансформации воздушных масс, приносящих атмосферные осадки в регионы, лишённые других природных источников влаги, одним из которых является Крымский полуостров.

Определяющее влияние на состояние водных ресурсов и ландшафтов Крымского полуострова оказывают атмосферные осадки, выпадающие в гористой местности в зимние месяцы, где они способны накапливаться в виде снежного покрова и в дальнейшем, на протяжении всего года обеспечивать водой его леса, реки и водоносные слои, используемые для водоснабжения населенных пунктов [2]. Эти осадки формируются в основном в Средиземноморских воздушных массах, приносимых юго-западными циклонами [3].

Термическая трансформация данных воздушных масс происходит благодаря взаимодействию с подстилающей поверхностью, над которой они перемещаются [4]. Вследствие географического положения Крымского полуострова это перемещение происходит над поверхностями акваторий Средиземного и Западной части Черного морей. Поэтому интенсивность термической трансформации воздушных масс в значительной мере определяется разностью средних поверхностных температур этих водных объектов.

Современные представления о причинах изменчивости в распределении поверхностной температуры Средиземного и Черного морей изложены в [5, 6]. Из указанных источников следует, что Средиземное море расположено в субтропическом и тропическом климатическом поясе, интенсивность его водообмена с Атлантическим океаном невелика, а объемы поступающего речного и берегового стока незначительны. Поэтому к основной причине изменения поверхностной температуры в зимние месяцы относится усиление парникового эффекта в атмосфере, которое вызывает увеличение потока обратного теплового излучения, поглощаемого поверхностными водными массами.

Черное море расположено значительно севернее, в основном в умеренном климатическом поясе, а в его западную часть поступают воды многих рек, основную долю которых приносит Дунай. Как результат, к числу факторов изменчивости распределения поверхностных температур этой акватории, наряду с усилением парникового эффекта, могут относиться изменения характеристик стока этой реки. Последнее представляется возможным, потому что плотность дунайских вод меньше плотности мор-

ской воды. Распространение и трансформация речных вод в море происходит в основном в тонком поверхностном слое. Вследствие этого изменчивость речного стока и средней температуры, формирующих водные массы западной части Черного моря, способны ощутимо влиять на поверхностную температуру, по крайней мере, тех ее акваторий, где они явно выражены. Изменчивость указанных факторов отмечается на значительной акватории и способны существенно влиять на вариации средней поверхностной температуры морской воды. Вероятно, что указанные факторы способны также влиять и на интенсивность термической трансформации Средиземноморского воздуха, который в зимние месяцы поступает на территорию Крымского полуострова, что является предметом изучения в настоящей работе.

Мониторинг межгодовых изменений поверхностных температур различных районов Средиземного и Черного морей осуществляется уже многие десятилетия, а непрерывные ряды его результатов, осредненные по площадям их акваторий, ограниченных квадратами координатной сетки, размерами  $5^{\circ} \times 5^{\circ}$ , за период после 1950 года представлены в [7].

Систематические наблюдения за стоком и температурой вод Дуная во многих пунктах, относящихся к его устьевой области, ведутся специализированными подразделениями Гидрометслужбы Украины [8]. Установлено, что происходящее в последние десятилетия увеличение содержания в земной атмосфере парниковых газов привело к существенному повышению среднемесячных температур зимних месяцев практически во всех регионах нашей планеты, в том числе и в бассейне Дуная [9]. По той же причине изменилось и количество атмосферных осадков, выпадающих зимой в различных его районах, а также соотношение между интенсивностями дождевого и снегового питания. Вследствие потепления местного климата интенсивность образования талых вод в районах, где зимние осадки выпадают в основном в виде снега, увеличилась. При этом суммарная площадь таких районов сократилась. В результате этого потепления климата в бассейне Дуная в одни месяцы вызвало увеличение интенсивности питания реки, в другие привело к ее уменьшению. Существенно могло сказаться на

изменениях среднемесячных расходов и температур дунайских вод на многих створах также влияние антропогенных факторов (создание водохранилищ, безвозвратное водопотребление и т.д.) [10].

В результате реакции на потепление климата в бассейне Дуная и антропогенные воздействия на его сток, проявляющиеся в виде тех или иных вариаций расходов речных вод, поступающих в Черное море, а также изменчивость температуры, неоднозначны, и в разные месяцы и годы бывают разнонаправленными.

Несмотря на наличие информации об изменениях характеристик стока Дуная и температуры подстилающей поверхности при перемещении воздушных масс из Средиземноморья в район Крымского полуострова исследований связей между этими процессами ранее не проводилось. Не учитывалось влияние подобных факторов и при моделировании изменений водных ресурсов

#### **Фактический материал и методика исследований**

Для достижения указанной цели сопоставлены изменения климатических норм средних поверхностных температур в зимние месяцы акваторий Средиземного и Черного моря, участвующих в формировании Средиземноморских воздушных масс и их трансформации по мере перемещения в район Крымского полуострова, а также сопоставлены изменения среднемесячных расходов и средних температур дунайских вод, поступающих в море, за период с 1947 по 2013 гг. Как фактический материал, характеризующий изменения поверхностных температур различных районов Средиземного и Западной части Черного моря с де-

Крымского полуострова, что осложняет прогнозирование их запасов.

Исходя из этого, объектом исследования в работе выбраны изменения распределений поверхностных температур Средиземного и Черного морей, а также физических характеристик, поступающих дунайских вод в Черное море за период с 1947 по 2013 гг.

Предметом исследования является влияние изменений климатических норм расходов и среднемесячных температур дунайских вод, поступающих в Черное море в зимние месяцы, на трансформацию температуры воздушных масс Средиземноморья по мере перемещения в район Крымского полуострова.

Целью работы является проверка адекватности выдвинутой гипотезы, а также оценка значимости влияния вариаций расхода и температуры дунайских вод, поступающих в Черное море в зимние месяцы на изменения водных ресурсов Крыма.

кабря по март за период с 1947 по 2013 гг. использованы временные ряды аномалий среднемесячных значений этих характеристик, осредненные по квадратам размерами 5°x5° [7].

Координаты центров упомянутых квадратов при проведении исследований выбраны согласно [5, 6] и приведены в табл.

Для каждого из указанных в табл. районов рассмотрены временные ряды аномалий среднемесячных значений поверхностных температур с декабря по март. Все ряды за период с 1947 по 2013 гг. содержат непрерывные значения.

**Таблица**

**Координаты центров районов Средиземного и Черного морей, учитываемых при проведении исследований**

№	Широта (N)	Долгота (E)	№	Широта (N)	Долгота (E)
Средиземное море					
1	37.5	2.5	8	32.5	12.5
2	37.5	7.5	9	32.5	17.5
3	37.5	12.5	10	32.5	22.5
4	37.5	17.5	11	32.5	27.5
5	37.5	22.5	12	32.5	32.5
6	37.5	27.5	13	32.5	37.5
7	37.5	32.5			
Черное море					
1	42.5	32.5	–	–	–

Информация о стоке воды и термическом режиме Дуная в зимние месяцы за период 1947-2013 гг. предоставлена Дунайской гидрометеорологической обсерваторией на основании данных регулярного мониторинга окружающей природной среды, проводимого этой организацией в устьевой области Дуная.

Данные о водном стоке Дуная, поступающем в вершину его дельты (мыс Измаильский Чатал), основаны на материалах многократных полевых измерений расходов воды в различные фазы гидрологического режима и ежедневных наблюдений за уровнями воды на посту Рени. В результате были получены эмпирические зависимости для расчета средних месячных расходов воды в замыкающем створе реки (вершина дельты Дуная). Потери стока в пределах дельты на испарение и водохозяйственное использование в зимние месяцы очень невелики. Поэтому расчетные данные о средних месячных расходах воды в вершине дельты Дуная в декабре – марте являются надежной количественной характеристикой водного стока в Черное море в этот период.

Температура воды на всех гидрологических постах устьевой области Дуная измеряется в поверхностном слое реки ежедневно два раза в сутки. Из-за высокой степени турбулентности потока вся водная

масса имеет практически одинаковую температуру. Антропогенное влияние на термический режим водных объектов дельты Дуная отсутствует, так как крупных предприятий, сбрасывающих сточные воды повышенной температуры, в этом регионе нет [8]. Поэтому изменения температуры воды в дельте Дуная носят естественный характер и зависят только от изменений температуры воздуха. Сравнение данных наблюдений за термическим режимом Дуная на постах Рени, Измаил и Вилково показало отсутствие каких-либо существенных изменений рассматриваемой характеристики на протяжении украинского участка реки.

Используя временные ряды аномалий поверхностных температур различных районов Средиземного моря, для каждого зимнего месяца рассчитано среднее арифметическое этих характеристик и средние значения аномалий его среднемесячной поверхностной температуры.

Из полученных таким образом значений сформированы временные ряды межгодовых изменений для зимних месяцев аномалий среднемесячных поверхностных температур Средиземного и Черного моря. В качестве климатической нормы рассматривалось среднее арифметическое значений характеристик, зафиксированных на временном интервале в 30 лет.

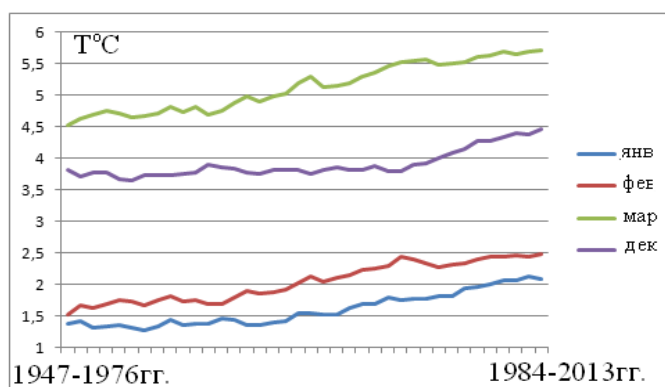
### **Результаты исследования и их анализ**

В соответствии с изложенной методикой для каждого зимнего месяца рассчитаны временные ряды, отображающие межгодовые изменения аномалий среднемесячных поверхностных температур Средиземного моря, а также зависимости от года начала 30-летнего скользящего окна климатических норм всех изучаемых процессов. Полученные при этом результаты представлены на рис. 1.

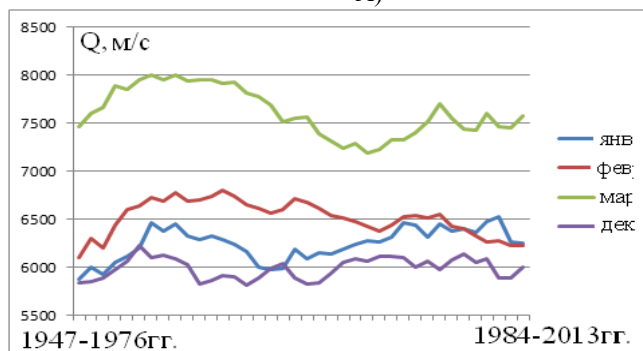
Как видно из рисунка 1А, климатические нормы среднемесячных температур дунайских вод, поступавших в Черное море, за период с 1947 по 2013 гг. устойчиво повышались. Это приводило к соответствующему уменьшению их плотности, наиболее ощутимому в декабре и марте, а также увеличению доли расхода речных вод, поступающего в поверхностный слой моря.

Из рисунка 1Б видно, что климатические нормы среднемесячных расходов дунайских вод, поступавших в море во все зимние месяцы за рассматриваемый период несколько изменялись, однако устойчивой тенденции к их увеличению либо снижению не наблюдалось. В период после 1970 года в декабре, январе и марте они несколько снижались, а в марте оставались практически неизменными.

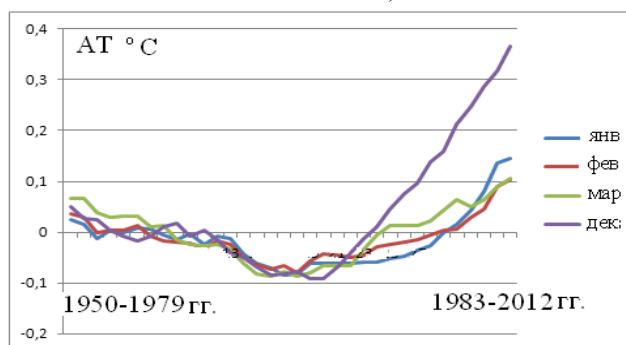
Рисунок 1В показывает, что для средних значений среднемесячных поверхностных температур Средиземного моря климатические нормы, рассчитанные для 30-летних временных интервалов, во все зимние месяцы монотонно убывали, а в последующий период, совпадающий с периодом начала современного глобального потепления климата, столь же устойчиво возрастали. Данный результат соответствует



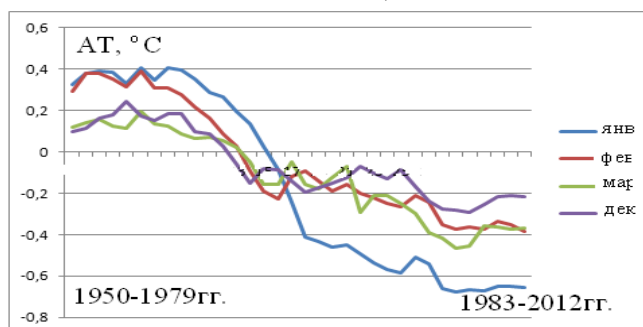
А)



Б)



В)



А – середньмісячні температури дунайських вод, поступаючих в Чорне море; Б – середньмісячні расходи цих вод; В – аномалії середньмісячних поверхневих температур Середземного моря; Г – аномалії середньмісячних поверхневих температур Західної частини Чорного моря, відповідно до відповідних місяців: січня і лютого, березня і грудня

**Рис. 1** – Залежності від початку 30-літнього ковзаючого вікна розрахованих по ньому кліматических норм

представлениям о роли парникового эффекта в изменениях поверхностных температур моря. Наиболее быстрыми темпами его поверхностная температура повышалась в декабре. В результате этого формирующийся в зимние месяцы Средиземноморский воздух в период после 1968 года становился все теплее; при этом увеличивалась его абсолютная влажность.

Рисунок 1Г показывает, что климатические нормы среднемесячных поверхностных температур Западной части Черного моря для любых зимних месяцев в целом за период с 1950 по 2012 гг. устойчиво снижались. Наиболее существенно они уменьшились для январских значений, а в наименьшей степени - для декабрьских значений.

В период после 1970 г. рассматриваемые характеристики для всех зимних месяцев также снижались, несмотря на то, что в этот период отмечено начало современного глобального потепления, а потоки обратного теплового излучения атмосферы, поступающие на поверхность западной части Черного моря возрастали. Полученный результат соответствует представлениям о возможных последствиях потепления.

В течение данного периода температура речных вод была ниже температуры морских вод. Так как плотность этих вод в результате их потепления становилась меньше, доли их расхода, поступавшие за тот или иной месяц в поверхностный слой моря, возрастали, вследствие чего количество холодных речных вод также возрастало, несмотря на некоторое уменьшение среднемесячных расходов в реке. Сравнение рисунков 1В и 1Г позволило установить, что соответствующие всем зимним месяцам значения разности поверхностных температур Средиземного и Черного моря возрастали, вследствие чего интенсивность термической трансформации поступающего в Крым Средиземноморского воздуха (а также суммы выпадающих здесь осадков) в целом за весь рассматриваемый период увеличивалась. Поскольку при этом среднемесячные температуры зимних месяцев в Крыму также возрастали, доля сумм атмосферных осадков, выпадающих здесь в виде снега, сокращалась. Повышались и высоты, на которых выпавший снег формировал

устойчивый снежный покров, что приводило к некоторому сокращению его запасов, сохраняющихся к весне и уменьшению подпитки талыми водами водоносных горизонтов и рек Крыма.

Из рисунка 1Г видно, что в последние десятилетия поверхностные температуры Западной части Черного моря начали повышаться, вследствие чего интенсивность термической трансформации этого воздуха перестала увеличиваться столь же быстро, как было за предыдущий период времени. Поэтому ощутимого увеличения месячных сумм атмосферных осадков зимних месяцев в Крыму не наблюдается, а запасы снега, ежегодно накапливающиеся за зиму в его горах к весне, продолжают сокращаться.

Таким образом, охлаждающее воздействие дунайских вод на поверхность Западной части моря в зимние месяцы в настоящее время является мощным фактором термической трансформации Средиземноморского воздуха и режима выпадения атмосферных осадков в Крыму. Этот процесс тем интенсивней, чем больше расход пресных вод, поступающих в море и ниже их плотность, при условии, что температура этих вод ниже, чем температура вод открытого моря.

Поскольку средняя удельная теплоемкость суши, по которой несет свои воды река Дунай, существенно меньше, чем аналогичная характеристика поверхностных вод Черного моря, интенсивность потепления речных вод в любые месяцы выше, чем вод морских.

Как видно из рисунка 1А, среднемесячные температура дунайских вод, поступающих в Черное море, устойчиво повышается и потому, со временем, достигнет, а в дальнейшем и превысит соответствующий уровень температуры морских вод (в марте и декабре это произойдет раньше, в январе и феврале – позже). Поступившие в Черное море дунайские воды начнут не охлаждать его поверхность, а повышать поверхностную температуру. Последнее будет приводить к уменьшению интенсивности термической трансформации поступающего в Крым Средиземноморского воздуха.

В результате, в начале марта и в декабре, а затем в феврале и в январе, количество атмосферных осадков, выпадающих на территории Крымского полуострова, начнет устойчиво сокращаться. Это будет происходить на фоне дальнейшего роста среднемесячных температур в Крыму и уменьшения площади территории его высокогорий,

на которых зимой происходит аккумуляция выпавшего снега. Оба фактора приведут к существенному ослаблению питания талыми водами водоносных горизонтов Крыма и его рек, что может привести к ухудшению экологического состояния лесных его массивов и обострению проблем водоснабжения его населенных пунктов.

### Выводы

1. Дунайские воды, поступающие в Западную часть Черного моря в зимние месяцы, в настоящее время существенно охлаждают его поверхностный слой, что усиливает термическую трансформацию Средиземноморского воздуха, перемещающегося в район Крымского полуострова.

2. Характеристиками речных вод, наиболее существенно влияющими на изменения поверхностных температур Западной части Черного моря, являются речной сток и средние значения температуры. Потепление климата в бассейне Дуная, а также антропогенные воздействия на его сток являются факторами, способными оказывать трансграничное влияние на экологические

условия в Крыму и других районах Северного Причерноморья, где состояние водных ресурсов определяется выпадающими в них зимними атмосферными осадками.

3. Трансграничную особенность трансформации поля температуры воздушных масс следует учитывать при оценке роли Дуная в процессе формирования регионального климатического режима.

4. Актуальной проблемой экологической безопасности Крыма и многих других регионов Северного Причерноморья является дальнейшее совершенствование и развитие системы мониторинга гидрофизических процессов в устьевой области реки Дунай.

### Литература

1. Матвеев Г. Т. Основы общей метеорологии. Физика атмосферы. / Г. Т. Матвеев– СПб.: Гидрометеоздат. – 2000. – 751 с.
2. Маринич О. М. Фізична географія України / О. М. Маринич, П. Г. Шищенко. – 2003. – 479 с.
3. Клімат України / Під ред. Ліпінського В. М., Дячука В. А., Бабіченко В. М. – К.: Видавництво Раєвського, 2003. – 343 с.
4. Salby M.L. Fundamentals of Atmospheric Physics Salby / M.L. – New York: Academic Press, 1996. – 560 p.
5. Гидрология Средиземного моря / Под ред. Буркова В. А. – Л.: Гидрометеоздат, 1976. – 375 с.
6. Степанов В. Черное море. / В. Степанов, В. Андреев. – Л.: Гидрометеоздат, 1981. – 160 с.

7. <http://wxweb.meteostar.com/SST/index.shtml?point=730>.

8. Гидрология дельты Дуная / Под ред. Михайлова В.Н. – М.: ГЕОС, 2004. – 449 с.

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

10. Берлинский Н. А. Динамика техногенного воздействия на природные комплексы устьевой области Дуная. / Н. А. Берлинский. – Одесса: Астропринт, 2012. – 252 с.

Надійшла до редколегії 16.10.2015