

УДК 911.2:551.583

А. А. Светличный, доктор геогр. наук, профессор
М. С. Ибрагимова, магистр географии
кафедра физической географии и природопользования,
Одесский национальный университет имени И. И. Мечникова,
Шампанский пер, 2, Одесса, 65058, Украина
aasvetl@yandex.ua

К ВОПРОСУ О СОВРЕМЕННЫХ ИЗМЕНЕНИЯХ КЛИМАТА СЕВЕРО-ЗАПАДНОГО ПРИЧЕРНОМОРЬЯ

Представлены результаты анализ и оценки изменений термического режима и режима увлажнения Северо-Западного Причерноморья по данным наблюдений на опорной метеорологической станции Одесса-ГМО за 1900-2015 гг. с использованием 22-х климатических индексов, большая часть которых по классификации Всемирной метеорологической организации относится к категории «экстремальных». Установлены закономерности многолетних изменений годовых и сезонных значений различных климатологических показателей.

Ключевые слова: изменения климата, Северо-Западное Причерноморье, Одесса-ГМО, экстремальные индексы, климатологические индексы.

ВВЕДЕНИЕ

Изменение климата является одной из наиболее актуальных проблем, стоящих перед человечеством, которая привлекает все более пристальное внимание специалистов разных стран. При этом исследования по мониторингу, выявлению изменений и прогнозу климата проводятся на глобальном, региональном и национальном уровнях. Для выявления и оценки имевших и имеющих место изменений климата в климатологии традиционно использовались климатологические показатели, представленные среднегодовыми, среднесезонными или среднемесячными значениями климатологических элементов – температуры воздуха, атмосферных осадков, скорости и направления ветра и других, рассчитываемых с использованием данных наблюдений на опорной метеорологической сети. Анализ многолетней динамики таких показателей является основой выявления изменений климата и их оценки в отчетах Межправительственной группы экспертов по изменению климата (IPCC), с 1988 года функционирующей под эгидой Всемирной метеорологической организации и Программы Организации объединенных наций по окружающей среде (UNEP), в Ежегодных заявлениях Всемирной метеорологической организации о состоянии глобального климата, публикациях в периодической научной печати, в монографической и учебной литературе.

В конце прошлого – начале нынешнего столетий в дополнение к обычно используемым климатическим показателям (средним годовым сезонным

значениям основных климатических элементов) разработана система количественных показателей для мониторинга, анализа и оценки изменения экстремальных климатических показателей, основанных на суточных данных метеорологических наблюдений, получивших название «экстремальные индексы» [12, 13, 20, 22]. Предложенная система экстремальных индексов позволяет дать более детальный анализ и оценку изменений климата, вскрыть «внутреннюю» структуру этих изменений. Экспертной группой по выявлению изменений климата и климатическим индексам проекта Программы по изменчивости и предсказуемости климата (CLIVAR), разрабатываемого под эгидой Комиссии по климатологии (CCI) и Всемирной программы исследования климата (WCRP) Всемирной метеорологической организации разработан базовый набор из 27 экстремальных индексов, включающий показатели термического режима и режима увлажнения [11]. В настоящее время количество индексов значительно увеличилось и они включают показатели, характеризующие и другие элементы климата. На сайте Проекта Европейской оценки климата и климатических данных (European Climate Assessment & Data – ECA&D) [7] приводится характеристика 75 «экстремальных» индексов, включающих кроме 27 базовых еще 49 индексов, разработанных специально для Европы. В число этих индексов кроме показателей, характеризующих термический режим и режим увлажнения, входят также показатели, характеризующие солнечную радиацию, атмосферное давление, облачность и некоторые другие элементы климата. В связи с существенным увеличением количества индексов, включения в их состав не только экстремальных показателей климата, целесообразно называть их «климатическими индексами» или «индексами изменения климата», как это уже делается, например, в [18]

Используемые в настоящее время климатические индексы можно свести к следующим четырем группам:

- абсолютные индексы – максимальные и минимальные за месяц, сезон или год значения климатического элемента (например, наибольший суточный максимум температуры воздуха, абсолютный минимум температуры воздуха, сумма атмосферных осадков и т. п.) в пределах года, сезона или месяца;
- средние индексы – средние месячные, сезонные или годовые значения изначально «экстремальных» климатических элементов (в частности, среднего суточного максимума или минимума температуры). Однако, к этой группе следует отнести и средние за период наблюдений значения некоторых традиционно используемых в климатологии показателей, таких, например, как «средняя среднесуточная температура», представляющая собой, по сути, среднемесячную, среднесезонную или среднегодовую температуру воздуха за весь период наблюдений или какую-то его часть;
- пороговые индексы – количество суток либо продолжительность непрерывного периода (выраженная в сутках), в течение которых значение

климатологического показателя выше или ниже установленного порогового значения;

— составные или комплексные индексы, рассчитываемые с использованием двух или более климатических показателей, в том числе с использованием индексов первых трех групп. В качестве классических примеров можно привести количество сухих и одновременно теплых дней, количество влажных и одновременно холодных дней и т. п. Существуют комплексные индексы, которые определяются по достаточно сложным алгоритмам [11, 13]

В последние годы климатические индексы широко используются для оценки как глобальных [9, 17], так и региональных изменений климата. В частности, с использованием данного подхода выполнены исследования по оценке изменений климата Европы [14], Карибского региона [19], Австралии [10], Канады [16, 23], Испании [15], Португалии [8], Сербии [21] и других регионов. Имеется опыт проведения таких исследований и в Украине – применительно к территории Луганской области [5]. В одной из последних публикаций по изменению термического режима Украины [6] кроме среднегодовой и среднемесячной температуры воздуха анализируются средняя максимальная и средняя минимальная месячная и годовая температуры, а также абсолютный максимум и абсолютный минимум температуры воздуха, то есть показатели термического режима приземного воздуха, относящиеся к средним и абсолютным климатическим индексам по приведенной выше классификации. Однако используемые в настоящее время в мировой практике климатические индексы температуры воздуха значительно разнообразнее – в частности, из 27 «экстремальных» индексов базового набора температурными являются 16 [13].

Учитывая вышеизложенное, представляет непосредственный и теоретический, и практический интерес выявление особенностей изменения климата различных регионов Украины с использованием этого нового нестандартного инструментария.

Целью настоящей статьи является выявление особенностей изменения климата Северо-Западного Причерноморья с начала XX столетия на основе использования климатических индексов.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Для анализа и оценки изменений климата Северо-Западного Причерноморья использованы ряды месячных, сезонных (зима, весна, лето и осень) и годовых значений наиболее информативных климатических индексов по метеостанции Одесса-ГМО за период 1900-2015 гг. с сайта проекта European Climate Assessment & Data (ECA&D) [7].

В число отобранных климатических индексов вошли:

TG – среднесуточная температура воздуха за рассматриваемый период j (месяц, сезон, год), °C,

$$TG_j = \sum_{i=1}^n TG_{ij} / n, \quad (1)$$

где TG_{ij} – среднесуточная температура воздуха i -ых суток периода j ; n – количество суток в периоде j ;

TN – средний суточный минимум температуры воздуха за рассматриваемый период j , °C,

$$TN_j = \sum_{i=1}^n TN_{ij} / n, \quad (2)$$

где TN_{ij} – минимальная суточная температура i -ых суток рассматриваемого периода j ;

TX – средний суточный максимум температуры воздуха за рассматриваемый период j , °C,

$$TX_j = \sum_{i=1}^n TX_{ij} / n, \quad (3)$$

где TX_{ij} – максимум температуры i -ых суток периода j ;

DTR – средняя за период j суточная амплитуда температуры воздуха, °C),

(4)

где TX_{ij} , TN_{ij} – максимальная и минимальная, соответственно, температуры i -ых суток периода j ;

TNn – низший из суточных минимумов (абсолютный минимум) температуры за рассматриваемый период j , °C,

$$TNn_j = \min (Tn_{ij}), \quad (5)$$

где Tn_{ij} – суточный минимум температуры воздуха i -ых суток периода j ;

TXx – наибольшее значение суточного максимума (абсолютный максимум) температуры за период j , °C,

$$TXx_j = \max (Tx_{ij}), \quad (6)$$

где Tx_{ij} – суточный максимум температуры воздуха i -ых суток периода j ;

FD – количество морозных ночей, т. е. суток с минимальной отрицательной температурой ($Tn_{ij} < 0^\circ \text{C}$) в пределах периода j , сут.;

SU – количество «летних дней», т. е. дней с максимальной температурой, превышающей 25°C ($Tx_{ij} > 25^\circ \text{C}$), в пределах рассматриваемого периода j , сут.;

CSU – максимальное количество последовательных «летних дней» в пределах рассматриваемого периода j , сут.;

TR – количество «тропических ночей» – количество суток с минимальной температурой, превышающей 20°C ($TN > 20^\circ \text{C}$), сут.;

GSL – продолжительность «вегетационного» периода – промежуток времени между началом не менее 6-ти дневного периода со среднесуточной температурой воздуха выше 5°C ($TG > 5^{\circ}\text{C}$) и началом не менее 6-ти дневного периода со среднесуточной температурой ниже 5°C ($TG < 5^{\circ}\text{C}$), сут.

RR – сумма осадков за рассматриваемый период j , мм;

RX1day – наибольший суточный слой осадков за рассматриваемый период j , мм/сут;

RR1 – количество «влажных дней», т.е. дней с суточной суммой осадков, превышающей 1 мм, за рассматриваемый период j , сут.;

CWD – максимальное количество последовательных «влажных» дней, т.е. дней с суточной суммой осадков, превышающей 1 мм, за рассматриваемый период j , сут.;

CDD – максимальное количество последовательных «сухих» дней, т.е. дней с суточной суммой осадков, меньшей 1 мм, за рассматриваемый период j , сут.;

WD – количество «теплых» и одновременно «сухих» дней, т.е. дней со среднесуточной температурой воздуха, превышающей ее 75%-ный процентиль, и одновременно с суточными суммами осадков, меньшими их 25%-го процентиля, за рассматриваемый период j , сут.;

CD – количество «холодных» и одновременно «сухих» дней, т.е. «сухих» дней со среднесуточной температурой воздуха ниже ее 25%-го процентиля, за рассматриваемый период j , сут.;

WW – количество «теплых» и одновременно «влажных» дней, т.е. количество «теплых» дней с суточными суммами осадков, превышающими их 75%-ый процентиль, за рассматриваемый период j , сут.;

CW – количество «холодных» и одновременно «влажных» дней за рассматриваемый период j , сут.;

Кроме перечисленных «климатических индексов» для анализа и оценки изменений климата по данным наблюдений на метеостанции Одесса-ГМО использованы а) широко применяющийся в отечественной практике климатологический показатель – амплитуда годовых колебаний температуры воздуха (*ATR*), определяемый как разность среднемесячных температур самого теплого (в данном случае – июля) и самого холодного (января) месяцев и б) гидро-термический коэффициент Г. Т. Селянинова (*ГТК*) – комплексный показатель увлажненности территории, определяемый как отношение суммы осадков к сумме температур за это же время, уменьшенной в 10 раз. По сути, *ГТК* представляет собой отношение суммы осадков к испаряемости, определяемой по эмпирической формуле. В работе использованы значения *ГТК* для летних сезонов каждого года из рассматриваемого 116-летнего периода, вычисленные с использованием сезонных значений индексов *RR* и *TG*.

Таким образом, в работе использовано 22 индекса, из которых 12 – температуры, 5 – осадков и 5 – комплексные.

Анализ и оценка изменений климата выполнен с использованием сравнительно-географического, графо-аналитического и статистического методов.

В основу анализа положено графическое представление многолетних колебаний сезонных и годовых значений индексов за 1900-2015 годы, построение линейных и полиномиальных (с использованием полиномов 6-ой степени) трендов средствами пакета Microsoft Excel. При этом в качестве одного из основных показателей изменений климата использованы знак и величина коэффициента линейного тренда, показывающие направленность и интенсивность изменений. Величина коэффициента линейного тренда для наглядности выражалась средней величиной изменения индекса за 100 лет, т. е. $^{\circ}\text{C}/100$ лет, мм/100 лет или сут/100 лет.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Изменение термического режима. Анализ данных табл. 1, в которой представлены средние величины и коэффициенты линейных трендов температурных индексов за весь рассматриваемый период (1900-2015 гг.), показывает однозначное увеличение и средних, и абсолютных температур воздуха (первые 5 индексов в табл. 1), свидетельствующее о соответствии региональных тенденций изменения термического режима приземной атмосферы глобальным, т. е. в целом о потеплении климата, что уже неоднократно отмечалось исследователями [1-4 и др.]. Однако, следует отметить существенно возросшие темпы потепления климата с конца 70-х годов прошлого столетия. Так, при коэффициенте линейного тренда среднегодовых температур воздуха (индекс TG) для рассматриваемого периода (116 лет), равном $1,23^{\circ}\text{C}/100$ лет, за последние 35 лет среднегодовая температура воздуха возросла с величины, в среднем близкой к 10°C , до в среднем за последние 8 лет (с 2008 г.) равной 12°C (рис. 1), то есть на 2°C , что соответствует росту с интенсивностью $5,7^{\circ}\text{C}/100$ лет. Интенсивное монотонное увеличение значений с конца 70-х годов прошлого столетия характерно также для годовых значений большинства других абсолютных и средних температурных индексов, в том числе, TXx , TX и TN .

Наиболее интенсивно в среднем в течение 1900-2015 гг. происходило увеличение максимальных и минимальных, причем особенно – абсолютных, температур воздуха. Так, коэффициент линейного тренда средних за год суточных минимумов температуры воздуха (индекс TN) составил $1,47^{\circ}\text{C}/100$ лет, а абсолютных минимумов температуры (индекс TNn) – $2,97^{\circ}\text{C}/100$ лет. Годовые средние суточные и абсолютные максимумы (индексы TX и TXx) повышались со значительно меньшей интенсивностью – $1,03$ и $1,05^{\circ}\text{C}/100$ лет, соответственно.

В многолетней динамике температурных индексов более или менее четко выделяется периодическая составляющая с периодом для разных индексов изменяющемся в диапазоне 55-70 лет со средним значением 64 года.

Анализ динамики сезонных значений климатических индексов показывает значительно более высокие темпы роста температуры воздуха, в первую очередь, зимой, а также весной, для которых для большинства индексов коэффи-

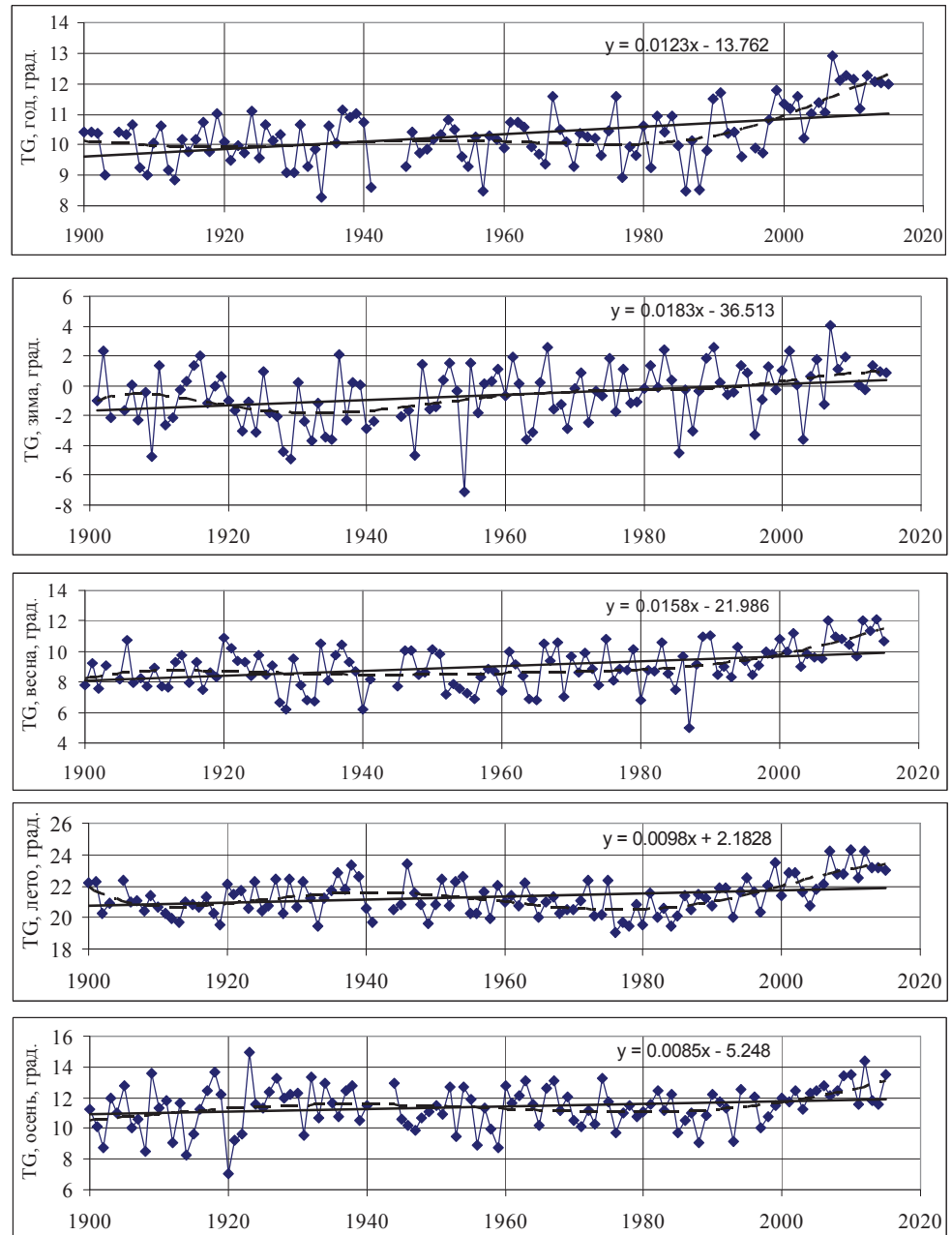


Рис. 1. Многолетний ход средних годовых, зимних, весенних, летних и осенних температур приземного воздуха по данным метеостанции Одесса-ГМО, 1900-2015 гг.

Таблица 1

Средние значения и коэффициенты линейных трендов (ед/100 лет)
климатических индексов

№ пп	Индекс	Единица изме- рения	Зима			Весна	Лето		Осень		Год	
			Сред- нее значе- ние	Кэфф. тренда	Сред- нее значе- ние	Кэфф. тренда	Сред- нее значе- ние	Кэфф. тренда	Сред- нее значе- ние	Кэфф. тренда	Сред- нее значе- ние	Кэфф. тренда
Индексы температуры												
1	TG	° C	-0.6	1.83	9.0	1.58	21.3	0.98	11.4	0.85	10.3	1.23
2	TX	° C	2.0	1.78	12.5	1.55	25.5	0.77	14.8	0.46	13.8	1.03
3	TN	° C	-3.1	2.23	5.9	1.66	17.2	1.40	8.2	1.11	7.1	1.47
4	TXx	° C	12.2	2.45	26.2	1.10	33.2	1.17	27.2	0.09	33.2	1.05
5	TNn	° C	-15.8	3.04	-6.8	2.85	10.0	2.63	-4.9	2.54	-15.8	2.97
6	DTR	° C	5.1	-0.38	6.7	-0.20	8.3	-0.57	6.5	-0.65	6.7	-0.48
7	ATR	° C									23.9	-1.12
8	SU	сут.			2.9	2.13	50.2	8.23	3.9	-0.48	57.3	9.3
9	CSU	сут.			1.7	0.92	20.0	9.92	3.4	-0.3	20.2	9.4
10	TR	сут.			0.1	0.25	15.5	12.2	0.4	-0.22	16.0	12.0
11	FD	сут.	60.8	-13.6	14.8	-6.27			8.1	-3.81	83.0	-21.4
12	GSL	сут.									238.4	19.1
Индексы осадков												
13	RR	мм	98,4	61,0	89,2	26,3	126,6	20,1	104,8	28,5	419,6	137,6
14	RX1day	мм	19,4	6,7	19,3	5,9	31,8	10,4	25,4	10,8	39,4	14,4
15	RR1	сут.	17,3	5,8	15,9	2,0	15,6	-1.6	13,6	0,5	62,4	6,2
16	CDD	сут.	19,6	-6.9	22,8	0,9	21,2	3,3	25,6	-3.7	35,1	-4.6
17	CWD	сут.	-*	-	-	-	-	-	-	-	4,6	0.3
Составные и комплексные индексы												
18	WD	сут.	15,5	8,3	20,4	11,8	27,0	11,1	21,0	3,8	82,5	29,2
19	CD	сут.	20,9	-10.7	19,7	-10.6	11,1	-4.2	19,9	-6.6	69,7	-27.7
20	WW	сут.	-	-	-	-	-	-	-	-	4,7	2,3
21	CW	сут.	-	-	-	-	-	-	-	-	6.8	2,4
22	ГТК	безр.					0,65	0,007				

Примечание: “-” – значения индексов не вычислялись

циенты линейного тренда в 1,5-2,5 раза больше годовых. Соответственно, для осени и лета в целом характерны существенно более низкие темпы нарастания температуры воздуха (табл. 1)

Более интенсивное нарастание минимальных температур воздуха по сравнению с максимальными обусловили снижение как суточной, так и годовой амплитуды колебаний температуры воздуха. Средняя суточная за год амплитуда температуры (индекс DTR) в среднем за 116-летний период уменьшалась с интенсивностью $0,48^{\circ}\text{C}/100$ лет, годовая – $1,12^{\circ}\text{C}/100$ лет. Последняя цифра подтверждает тезис о тенденции деконтинентализации климата Украины, сформулированный в работе [2], хотя при более детальном рассмотрении можно увидеть, что при вековом тренде снижения амплитуды суточных и годовых колебаний температуры после 1980-го года отмечается явный рост этих характеристик, который после 2010 г. сменился тенденцией к уменьшению (рис. 2).

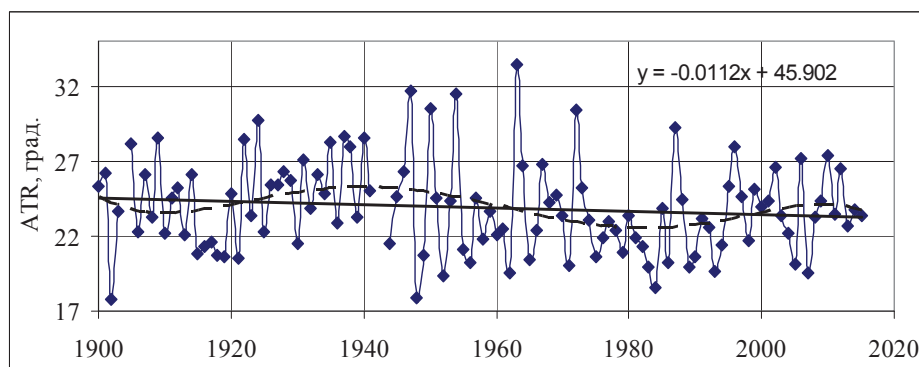


Рис. 2. Многолетняя динамика годовой амплитуды температуры воздуха, их линейный и полиномиальный тренды, Одесса-ГМО, 1990-2015 гг.

Для суточной амплитуды температуры это обусловлено интенсивным монотонным ростом амплитуды летом и весной и сложной динамикой (вначале рост, затем снижение) амплитуды зимой и весной. Аномальная динамика годовой амплитуды температуры воздуха в последние десятилетия связана с тем, что с конца 70-х годов прошлого столетия отмечался не только рост зимних, но еще более интенсивный рост летних температур, особенно выраженный в 80-х – первой половине 90-х годов. В целом за период 1980-2010 гг. годовая амплитуда температуры воздуха увеличилась с 22,5 до 24,5 градусов, т. е. на 2 градуса. В связи с этим необходимо констатировать, что с начала 1980-х годов до 2007-2010 гг. в Северо-Западном Причерноморье имело место увеличение степени континентальности климата.

Нельзя не отметить выраженную аномальную динамику абсолютных годовых минимумов температуры (индекс TNn) в течение последних 35 лет, для которых, как уже было отмечено, характерно резкое увеличение интенсивности потепления. Динамика этого показателя с начала 80-х годов XX столетия ха-

рактируется уменьшением значений до середины первого десятилетия 2000-х, а затем стабилизацией (рис. 3). То есть на фоне общего потепления климата в последние 30 лет отмечается понижение абсолютного годового (то есть зимнего) минимума температуры. Этот факт, с одной стороны, является еще одним объяснением увеличения степени континентальности климата рассматриваемой территории в последние десятилетия, а с другой, свидетельствует об усилении неустойчивости климата – увеличении размаха колебаний экстремальных значений его показателей.

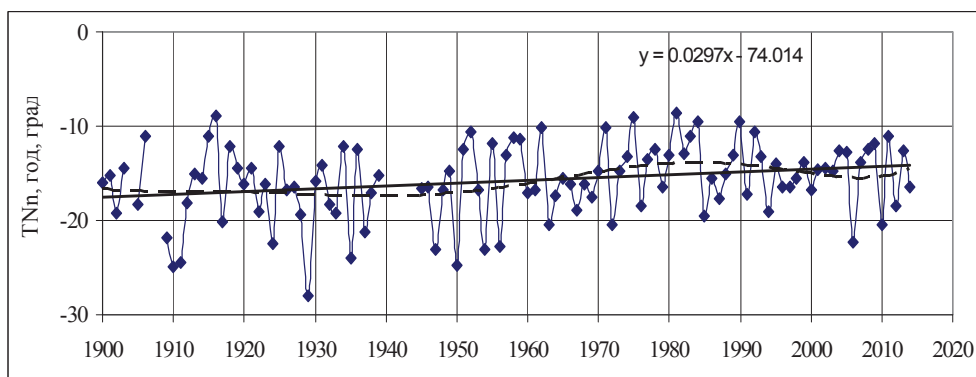


Рис. 3. изменения годового минимума температуры воздуха по метеостанции Одесса-ГМО, 1900-2015 гг.

Интересную информацию об изменении термического режима рассматриваемой территории предоставляют пороговые температурные индексы (индексы №№ 8-12 в табл. 1). Анализ их динамики (рис. 4, табл. 1) показывает, что в целом за рассматриваемый период имело место увеличение количества летних дней (индекс *SU*) – на 9,3 сут/100 лет, максимального количества последовательных летних дней (индекс *CSU*) – на 9,4 сут/100 лет, количества тропических ночей (индекс *TR*) – на 12 сут/100 лет, продолжительности вегетационного периода (индекс *GSL*) – на 19,1 сут/100 лет и существенное уменьшение количества морозных ночей (индекс *FD*) – на 21,4 сут/100 лет. При этом увеличение количества летних дней и тропических ночей отмечалось в основном в летний период и отчасти – в весенний (табл. 1). В осенний же период их количество практически не изменилось (коэффициенты линейного тренда этих индексов для осени даже положительные – 0,2-0,5 сут/100 лет) на фоне уменьшения (на 3,8 сут/100 лет) количества морозных ночей. Основная доля уменьшения количества морозных дней приходится на зиму (13,6 сут/100 лет), но существенный вклад также внесла и весна (6,27 сут/100 лет). Уменьшение количества суток с отрицательной минимальной суточной температурой весной и осенью можно рассматривать как показатель улучшения условий выращивания сельскохозяйственных культур и многолетних насаждений.

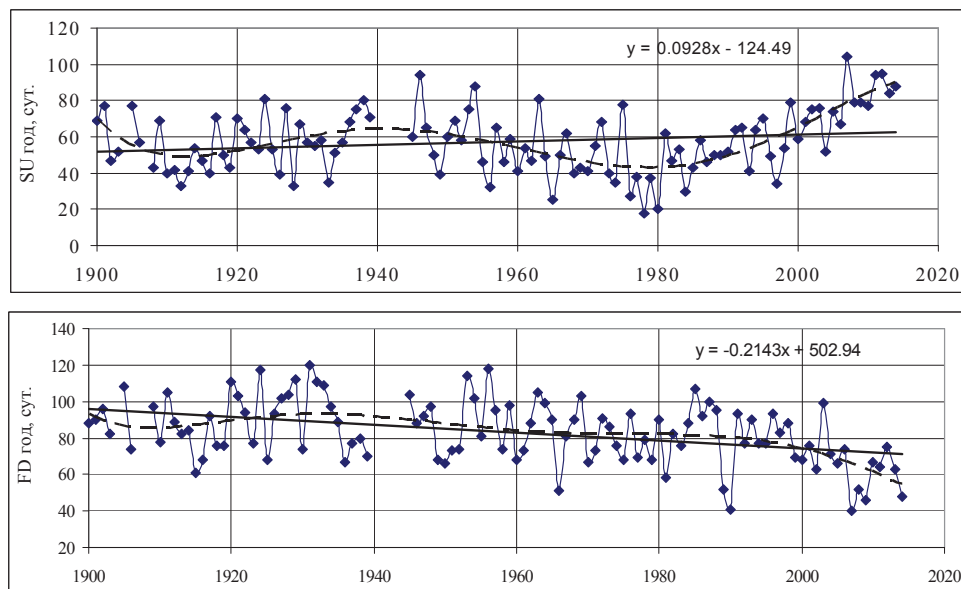


Рис. 4. Многолетняя динамика количества «летних дней» и «морозных ночей» по метеостанции Одесса_ГМО, 1900-2015 гг.

Обращает на себя внимание резкое увеличение интенсивности роста количества летних дней (более, чем в 2 раза – с в среднем 40 до 90 суток), максимальной продолжительности последовательных летних дней (примерно в 4 раза – в среднем с 10 до 40 суток) и тропических ночей (в 3,5 раза – с 10 суток до в среднем 35 суток) с конца 70-х годов прошлого столетия. При этом увеличение темпов снижения количества морозных ночей отмечается только с конца 90-х годов – за последние два с половиной десятилетия этот показатель изменился практически на столько же, на сколько за предшествующий почти 90-летний период.

Изменение режима атмосферных осадков. Анализируя многолетние изменения режима осадков, необходимо отметить восходящие линейные тренды для всех основных индексов осадков – годовой суммы осадков (RR), максимальной суточной суммы осадков ($RX1day$) и количества дней с суточной суммой осадков больше 1 мм («количество влажных дней») ($RR1$). Коэффициенты линейного тренда этих индексов составили, соответственно, 135 мм/100 лет, 14,7 мм/100 лет и 6,2 сут/100 лет (табл. 1). Соответственно, уменьшилось максимальное количество последовательных «сухих» дней (на 4,6 сут/100 лет), хотя при этом практически не изменилось максимальное количество последовательных «влажных» дней (коэффициент линейного тренда равен 0,3 сут/100 лет). Следует подчеркнуть увеличение интенсивности выпадения осадков в течение рассматриваемого периода: если до 1970-го года только однажды зафиксирована суточная сумма осадков, превышающая 80 мм (85,1 мм), то после 1970-го года таких лет было четыре – 1970, 1984, 1988, 2002.

При общем увеличении количества атмосферных осадков динамика индексов осадков отличается от динамики индексов температур *немонотонностью* изменения количества и интенсивности выпадения осадков в последние десятилетия. Так, годовые суммы осадков в 80-е – 90-е годы характеризовались значениями ниже среднемноголетних, первое десятилетие XXI века – близкими к норме, последние годы – вновь значениями, ниже среднемноголетних (рис. 5).

В отношении внутригодового распределения осадков следует отметить, что наиболее интенсивный рост количества осадков в целом за рассматриваемый период характерен для зимы – коэффициент линейного тренда 61 мм/100 лет, наименьший – для лета (20,1 мм/100 лет).

Количество «влажных» дней (индекс *RR1*) больше всего также увеличилось зимой (на 5,8 сут/100 лет). Летом же в отличие от других сезонов года произошло хоть и незначительное, но все же уменьшение количества влажных дней – на 1,6 сут/100 лет. При этом для лета (а также и осени) характерно и наибольшее увеличение максимальной интенсивности выпадения осадков – именно в эти сезоны были зафиксированы суточные суммы осадков, превышающие 80 мм, а в 2002 г. – превышающие 100 мм/сут (102,6 мм). Все случаи превышения суточной суммы осадков слоя в 80 мм приходятся на лето. Таким образом, хотя в течение рассматриваемого периода в наибольшей степени увеличились зимние осадки (в среднем с 70 до 130 мм) и по сумме практически сравнялись с летними (которые увеличились в среднем с 120 до 140 мм), заметно возрасла интенсивность выпадения летних осадков, что свидетельствует об увеличении интенсивности ливневой деятельности в последние десятилетия.

Оценка изменения климата с использованием составных и комплексных показателей. Обращает на себя внимание существенное увеличение в течение 1900-2015 гг. количества «теплых» и одновременно «сухих» дней (индекс *WD*) с коэффициентом линейного тренда для года 29,2 сут/100 лет и увеличением в целом за рассматриваемый период с 70 до 100 суток, то есть в полтора раза (табл. 1, рис. 6). При этом в течение 116-летнего периода изменения этого индекса имели разный знак с выраженным ростом с конца 70-х годов так, что в течение последних 35 лет этот показатель практически удвоился. Рост этого показателя отмечался во все сезоны, но наиболее существенно – весной и летом.

В такой же степени изменилось, но в сторону уменьшения, количество «холодных» и одновременно «сухих» дней (индекс *SW*) – коэффициент линейного тренда для годовых значений индекса равен -27,7 сут/100 лет. При этом наибольший вклад в уменьшение индекса внесли зима и весна – по 11 суток.

Количество теплых и влажных дней (индекс *WW*) в течение рассматриваемого периода монотонно увеличилось в среднем с 4 до 6 суток. Количество же холодных и влажных дней (индекс *SW*) при в среднем за рассматриваемый период восходящем линейном тренде с коэффициентом 2,4 сут/100 лет имело сложную динамику с выраженным уменьшением с конца 70-х годов в среднем с 10 до 2 суток. Анализ индексов *WW* и *SW* показывает, что, во-первых, влаж-

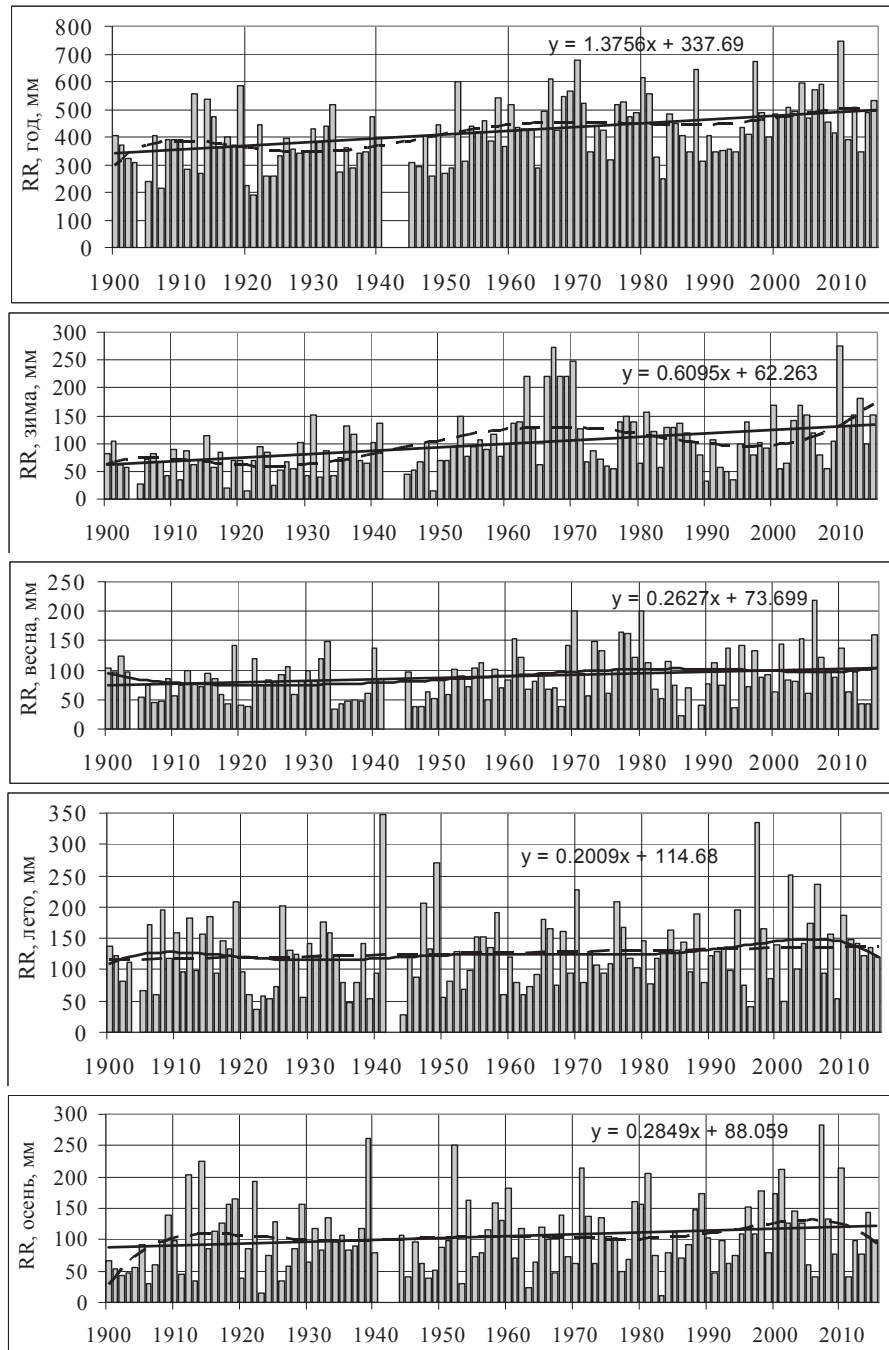


Рис. 5. Многолетняя изменчивость сумм атмосферных осадков (индекс RR) за год, зиму, весну, лето и осень, их линейный (сплошная линия) и полиномиальный (пунктирная линия) тренды, метеостанция Одесса-ГМО, 1900-2015 гг.

ных как холодных, так и теплых дней в году немного (в среднем 6,8 и 4,7, соответственно) и их изменение в целом несущественно, хотя и обращает внимание резкое уменьшение в последние десятилетия холодных и влажных дней.

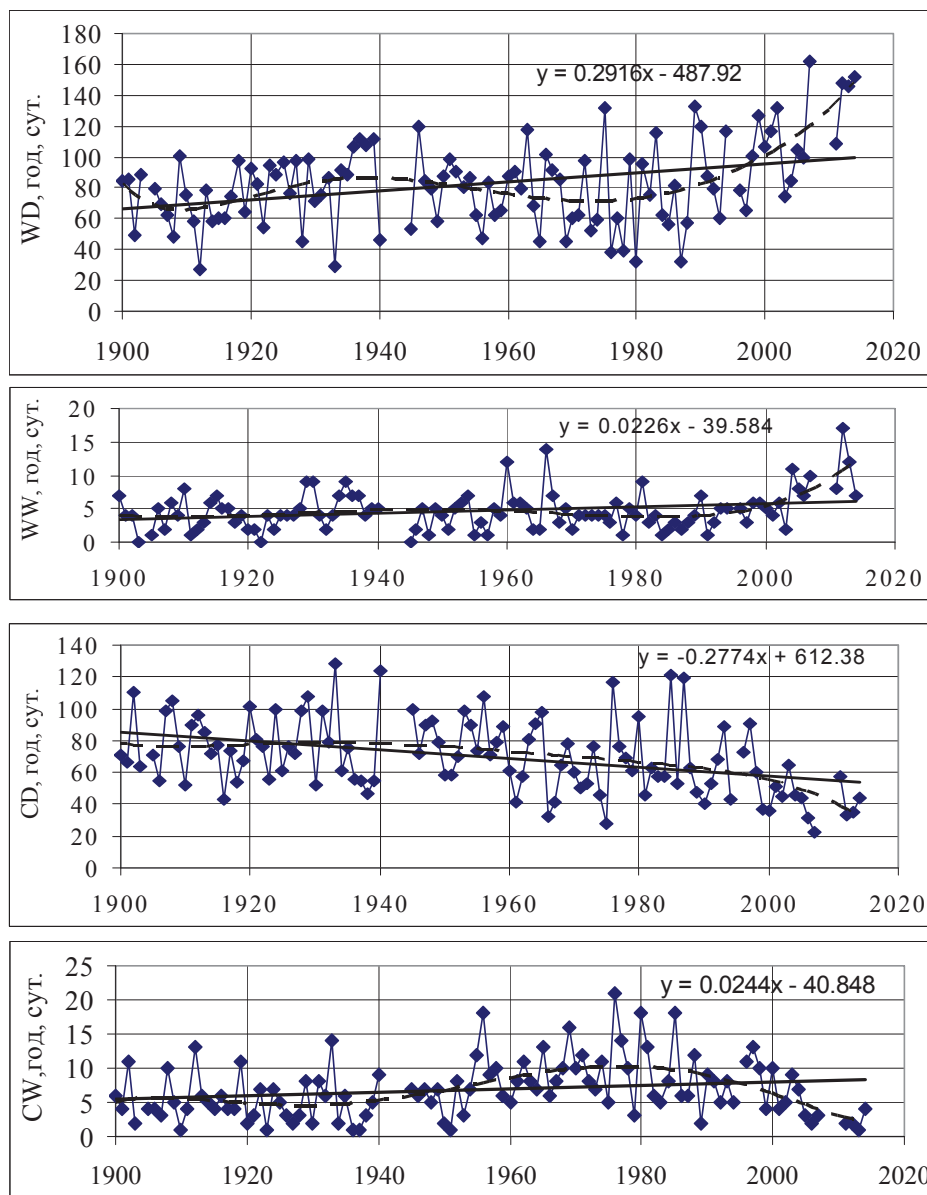


Рис. 6. Многолетний ход количества теплых/сухих, теплых/влажных, холодных/сухих и холодных/влажных дней за год и его линейный и полиномиальный тренды, метеостанция Одесса-ГМО, 1900-2015 гг.

Наконец, рассмотрим многолетнюю динамику гидротермического коэффициента Селянинова (*ГТК*) – комплексного показателя увлажненности территории, в данном исследовании – в течение всего летнего сезона. Среднее значение *ГТК* для всего 116-летнего периода составило 0,65, а коэффициент линейного тренда оказался близким к нулю (0,007 за 100 лет), что свидетельствует об *отсутствии* выраженной тенденции к изменению гидротермического коэффициента за рассматриваемый период, хотя диапазон изменения годовых значений *ГТК* достаточно велик – от 0,19 в 1923 г. до 1,83 в 1942 г. При этом в многолетних колебаниях *ГТК* отсутствует и выраженная периодичность. Значение *ГТК*, равное 0,65, т. е. среднемноголетнему значению за весь 116-летний период, характерно и для «климатического периода» – 1961-1990 гг. Лишь только в последние 25 лет среднее значение *ГТК* составило 0,69, т.е. на 6 % выше нормы. При этом первая половина этого 25-летнего периода характеризовалась ростом *ГТК*, вторая – его уменьшением. На основании анализа динамики *ГТК* Селянинова можно констатировать, что условия увлажнения территории, прежде всего, с точки зрения выращивания сельскохозяйственных культур в целом на рассматриваемой территории существенно не изменились.

ВЫВОДЫ

1) В целом за 1900-2015 гг. по данным наблюдений на метеорологической станции Одесса-ГМО имел место рост и абсолютных, и средних температур приземного воздуха. При этом в многолетней динамике температурных индексов можно выделить периодическую составляющую с характерным размером, в среднем равным 64-м годам.

2) Наиболее интенсивно в течение рассматриваемого периода происходило повышение минимальных температур воздуха. При коэффициенте линейного тренда для среднегодовой температуры воздуха (индекс *TG*), равном 1,23° C/100 лет, для абсолютных годовых минимумов температуры (индекс *TNn*) этот коэффициент составил 2,97° C/100 лет.

3) С конца 70-х годов прошлого столетия отмечается повышение температуры воздуха с интенсивностью, значительно превосходящей среднюю за весь рассматриваемый период. Так, в течение последних 35 лет в среднем на 2° C повысилась среднегодовая температура, на 4° C – минимальная годовая температура, произошло увеличение более, чем в 2 раза количества «летних дней», в 3,5 раза – увеличение «тропических ночей», в 1,5 раза – уменьшение количества «морозных ночей». При этом для большинства индексов температуры в течение последних 6-8 лет отмечается прекращение роста, стабилизация либо даже появление тенденции к уменьшению (*TG*, *TXx*).

4) В сезонном разрезе значительно более высокие темпы повышения температуры воздуха характерны для зимы и весны, для которых для большинства температурных индексов коэффициенты линейного тренда в 1,5-2,5 раза превышают годовые значения. Соответственно, для осени и лета в целом характерны существенно более низкие темпы повышения температуры воздуха.

5) В целом для рассматриваемого периода характерны нисходящие линейные тренды годовой и суточной амплитуд колебаний температуры воздуха. При этом с начала 80-х годов XX века до 2008-2010 гг. отмечался рост и суточной, и годовой амплитуд температуры, в последние годы сменившийся тенденцией к их снижению. Все это свидетельствует о сложной многолетней динамике амплитуды как суточных, так и годовых колебаний температуры воздуха, не позволяющей однозначно судить об изменении степени континентальности климата рассматриваемой территории.

6) Многолетняя динамика основных индексов атмосферных осадков – годовой суммы осадков, максимальной суточной суммы осадков и количества дней с суточной суммой осадков больше 1 мм («влажных дней») в течение рассматриваемого периода характеризовалась восходящими трендами с коэффициентами, соответственно, 135 мм/100 лет, 14,7 мм/100 лет и 6,2 сут/100 лет.

7) В многолетнем ходе осадков, так же, как и температуры воздуха, проявляется периодичность, накладывающихся на линейный тренд, с практически таким же периодом (по имеющимся рядам в среднем равным 62 годам). Но в ходе осадков в течение последних 30-35 лет отсутствует монотонность изменений, характерная для температурных индексов. Наиболее интенсивный рост количества осадков в целом за рассматриваемый период характерен для зимы – коэффициент линейного тренда равен 61 мм/100 лет, наименьший – для лета (20,1 мм/100 лет), при этом в последние десятилетия заметно возросла интенсивность выпадения летних осадков.

8) В течение всего рассматриваемого периода в полтора раза увеличилось количество теплых и одновременно сухих дней и в такой же степени – уменьшилось количество холодных и одновременно сухих дней; в среднем с 230 до 250 дней увеличилась продолжительность вегетационного периода.

9) Гидротермический коэффициент Г.Т.Селянинова для летнего сезона в течение рассматриваемого периода (1900-2015 гг.) не продемонстрировал тенденции к изменению, в том числе и в последние десятилетия.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Барабаш М. І.* Клімат України у минулому... і майбутньому? [Текст] / М. І. Барабаш, М. І. Кульбіда, Н. П. Гребенюк – К. : Вид-во Раєвського, 2009. – 370 с.
2. *Бойченко С. Г.* Глобальне потепління та його наслідки на території України [Текст] / С. Г. Бойченко, В. М. Волощук, І. А. Дорошенко // Український географічний журнал. – 2000. – № 2. – С. 59-68.
3. *Врублевська А. А.* Клімат України та прикладні аспекти його використання [Текст] : навчальний посібник / А. А. Врублевська, Г. П. Катеруша. – Одеса : Вид. ТЕС, 2012. – 180 с.
4. Клімат України: монографія [Текст] [ред. В. М. Ліпінський, В. А. Дячук, В. М. Бабіченко]. – Київ : Вид-во Раєвського, 2003. – 343 с.
5. *Краковська С. В.* Розробка методики, алгоритмів та програмних заходів щодо отримання кількісного сценарію можливих кліматичних змін у Луганській області до 2050 року на основі даних регіональних чисельних моделей клімату [Текст]: звіт про науково-дослідну роботу / С. В. Краковська. – Луганськ : МБО «Інститут розвитку територіальних громад», 2012. – 41 с.
6. *Осадчий В. І.* Температура повітря на території України в сучасних умовах клімату [Текст] / В. І. Осадчий, В. М. Бабіченко // Український географічний журнал. – 2013. – № 4. С. 32-39.

7. Сайт проекта European Climate Assessment & Dataset [Электронный ресурс]. – Режим доступа к сайту: <http://eca.knmi.nl/indicesextremes/index.php> (дата обращения 10.01.2016).
8. Costa A. C. Trends in extreme precipitation indices derived from a daily rainfall database for the South of Portugal [Текст] / A. C. Costa, A. Soares // *International Journal of Climatology*. – 2009. – Vol. 9. – No. 13. – P. 1956-1975.
9. Global observed changes in daily climate extremes of temperature and precipitation [Текст] / L. V Alexander, X. Zhang, T. C. Peterson [et al.] // *Journal of Geophysical Research*, 2006, vol. 111, D05109, doi:10.1029/2005JD006290.
10. Haylock M. Trends in extreme rainfall indices for an updated high quality data set for Australia, 1910-1998 [Текст] / M. Haylock, N. Nicholls // *International Journal of Climatology*. – 2000. – Vol. 20. – P. 1533-1541.
11. Indices dictionary [Электронный ресурс]. – Режим доступа к словарию: <http://eca.knmi.nl/indicesextremes/indicesdictionary.php> (дата обращения 15.01.2016).
12. Indices for Monitoring Changes in Extremes Based on Daily Temperature and Precipitation Data [Текст] / X. Zhang, L. Alexander, G. C. Hegerl [et al.] // *Wiley Interdisciplinary Reviews: Climate Change*. – 2011. – 2(6). – P. 851–870. doi:10.1002/wcc.147.
13. Klein Tank A. M. G. Guidelines on Analysis of extremes in a changing climate in support of informed decisions for adaptation [Текст] / A. M. G. Klein Tank, F. W. Zwiers, X. Zhang – WMO TD1500, 2009. – 54 p.
14. Klein Tank A. M. G. Trends in indices of daily temperature and precipitation extremes in Europe, 1946-99 [Текст] / A. M. G. Klein Tank, G. P. Können // *Journal of Climate*. – 2003. – Vol. 16. – P. 3665-3680.
15. Long-term changes in extreme temperatures and precipitation in Spain [Текст] / M. Brunet, J. Sigró, P. D. Jones [et al.] // *Contributions to Science*. – 2007. – Vol. 3(3). – P. 331–342.
16. Murdock T. Q. Climate Extremes in the Canadian Columbia Basin: A Preliminary Assessment [Текст] / T. Q. Murdock, S. R. Sobie // *Climate Pacific Climate Impacts Consortium*, University of Victoria, Victoria, BC, 2013. – 52 p.
17. Observed coherent changes in climatic extremes during the 2nd half of the 20th century [Текст] / P. Frich, L. V. Alexander, P. Della-Marta [et al.] // *Climate Res.* – 2002. – Vol. 19. – P. 193-212.
18. Peterson T. C. Climate change indices [Текст] / T. C. Peterson // *World Meteorological Organization Bulletin*. – 2005. – Vol. 54. – Number 2. – P. 83-86.
19. Recent Changes in Climate Extremes in the Caribbean Region [Текст] / T. C. Peterson, B. Gleason, M. A. Taylor [et al.] // *Journal of Geophysical Research*, 2002, 107(D21), 4601, doi: 10.1029/2002JD002251.
20. Report of the Activities of the Working Group on Climate Change Detection and Related Rapporteurs [Текст] / T. C. Peterson, C. Folland, G. Gruza [et al.] – WMO/TD No. 1071, WMO, Geneva, 2001. – 143 p.
21. Unkašević M. Changes in extreme daily winter and summer temperatures in Belgrade [Текст] / M. Unkašević, I. Tošić // *Theor. Appl. Climatol.* – 2009. – Vol. 95. – P. 27–38.
22. Van Engelen A. Towards an operational system for assessing observed changes in climate extremes. European Climate Assessment & Dataset (ECA&D) Report [Текст] / A. Van Engelen, A. Klein Tank, G. Van de Sclier, L. Klok – Publication 224, KNMI, The Netherlands, 2008. – 70 p.
23. Zhang X. Temperature and precipitation trends in Canada during the 20th century [Текст] / X. Zhang, L. A. Vincent, W. D. Hogg, A. Niitsoo // *Atmosphere-Ocean*. – 2000. – Vol. 38. – P. 395–429.

REFERENCES

1. Barabash, M. I., Kul'bida, M. I., Grebenyuk, N. P. (2009), *Klimat Ukrainy`u my`nulomu... i majbutn`omu? [Climate Ukraine in the past ... and future?]*, Kyiv : Publishing House Rayevsky, 370 p.
2. Bojchenko, S. G., Voloshuk, V. M., Doroshenko, I. A. (2000), Global`ne potepliny`ta jogo naslidky` na tery`toriyi Ukrainy` [Global warming and its consequences in Ukraine], *Ukrainian Geographical Journal*, No. 2, pp. 59-68.
3. Vrublevs`ka, A. A., Katerusha, G. P. (2012), *Klimat Ukrainy`ta pry`kladni aspekty`jogo vy`kory`stannya : navchal`ny`j posibny`k [Climate Ukraine and applied aspects of its use: tutorial]*, Odessa : TES Publishing house, 180 p.
4. *Klimat Ukrainy` : monografiya* (2003), eds. Lipins`ky`j, V. M., Dyachuk, V. A., Babichenko, V. M. [*Climate Ukraine: monograph*], Kyiv : Publishing House Rayevsky, 343 p.
5. Krakovs`ka S. V. (2012), Rozrobka metody`ky`, algory`tmiv ta programny`kh zakhodiv shhodo otry`mannya kil`kisnogo scenariyu mozhly`vy`kh klimaty`chny`kh zmin u Lugans`kij oblasti do 2050 roku na osnovi dany`kh regional`ny`kh chy`sel`ny`kh modelej klimatu : zvit pro naukovo-doslidnu robotu / MBO «Insty`tut rozvy`tku tery`torial`ny`x gromad» [«Development of methods, algorithms and program activities to obtain

quantitative scenario of possible climate change in the Luhansk region by 2050 based on numerical models of regional climate: report on research work)], Lugansk : MBO «Community Development Institute», 41 p.

6. Osadchy'j, V. I., Babichenko, V. M. (2013), *Temperatura povitrya na tery'toriyi Ukrayiny' v suchas-ny'kh umovakh klimatu* [The air temperature in Ukraine in modern climate conditions] *Ukrainian Geographical Journal*, No 4, pp. 32-39.
7. «Sayt proekta European Climate Assessment & Dataset [«European Climate Assessment & Dataset Project website»]. Available at: <http://eca.knmi.nl/indicesextremes/index.php>. [Accessed 10 January 2016].
8. Costa, A. C., Soares, A. (2009), «Trends in extreme precipitation indices derived from a daily rainfall database for the South of Portugal» // *International Journal of Climatology*, Vol. 9, No. 13, pp. 1956-1975.
9. Alexander, L. V., Zhang, X., Peterson, T. C., Caesar, J., Gleason, B., Klein Tank, A. M. G., Haylock, M., Collins, D., Trewin, B., Rahimzadeh, F., Tagipour, A., Rupa Kumar, K., Revadekar, J., Griffiths, G., Vincent, L., Stephenson, D. B., Burn, J., Aguilar, E., Brunet, M., Taylor, M., New, M., Zhai, P., Rusticucci, M., Vazquez-Aguirre, J. L. (2006), «Global observed changes in daily climate extremes of temperature and precipitation» // *Journal of Geophysical Research*, vol. 111, D05109, doi:10.1029/2005JD006290.
10. Haylock, M., Nicholls, N. (2000), «Trends in extreme rainfall indices for an updated high quality data set for Australia, 1910-1998» // *International Journal of Climatology*, Vol. 20, pp. 1533-1541.
11. «Indices dictionary». Available at: <http://eca.knmi.nl/indicesextremes/indicesdictionary.php> [Accessed 15 January 2016].
12. Zhang, X., Alexander, L., Hegerl, G. C., Philip Jones, P., Klein Tank, A., Peterson, T. C., Trewin, B., Zwiers, F. W. (2011), «Indices for Monitoring Changes in Extremes Based on Daily Temperature and Precipitation Data» // *Wiley Interdisciplinary Reviews: Climate Change*, Vol. 2(6), pp. 851-870. doi:10.1002/wcc.147.
13. Klein Tank, A. M. G., Zwiers, F. W., Zhang, X. (2009), *Guidelines on Analysis of extremes in a changing climate in support of informed decisions for adaptation*. – WMO TD1500, 54 p.
14. Klein Tank, A. M. G., Können, G. P. (2003), «Trends in indices of daily temperature and precipitation extremes in Europe, 1946-99» // *Journal of Climate*, Vol. 16, pp. 3665-3680.
15. Brunet, M., Sigró, J., Jones, P. D., Saladié, O., Aguilar, E., Moberg, A., Lister, D., Walther, A. (2007), «Long-term changes in extreme temperatures and precipitation in Spain» // *Contributions to Science*, Vol. 3(3), pp. 331-342.
16. Murdock, T. Q., Stephen, R. S. (2013), *Climate extremes in the Canadian Columbia Basin: A Preliminary Assessment*, 58 p.
17. Frich, P., Alexander, L. V., Della-Marta, P., Gleason, B., Haylock, M., Klein Tank, A. M. G., Peterson, T. (2002), «Observed coherent changes in climatic extremes during the 2nd half of the 20th century» // *Climate Res*, Vol. 19, pp. 193-212.
18. Peterson, T. C. (2005), «Climate change indices» // *World Meteorological Organization Bulletin*, Vol. 54, No 2, pp. 83-86.
19. Peterson, T. C., Gleason, B., Taylor, M. A., Demeritte, R., Duncombe, D. L., Burton, S., Thompson, F., Porter, A., Mercedes, M., Villegas, E., Fils, R. S., Klein-Tank, A., Martis, A., Warner, R., Joyette, A., Mills, W., Alexander, L. (2002), «Recent Changes in Climate Extremes in the Caribbean Region» // *Journal of Geophysical Research*, 107(D21), 4601, doi: 10.1029/2002JD002251.
20. Peterson, T. C., Folland, C., Gruza, G., Hogg, W., Mokssit, A., Plummer, N. (2001), *Report of the Activities of the Working Group on Climate Change Detection and Related Rapporteurs*, WMO/TD No. 1071, WMO, Geneva, 146 p.
21. Unkašević, M., Tošić, I. (2009), «Changes in extreme daily winter and summer temperatures in Belgrade» // *Theor. Appl. Climatol.*, Vol. 95, pp. 27-38.
22. Van Engelen, A., Klein Tank, A., van de Schrier, G., Klok, L. (2008), *Towards an operational system for assessing observed changes in climate extremes. European Climate Assessment & Dataset (ECA&D) Report*, 70 p.
23. Zhang, X., Vincent, L. A., Hogg, W. D., Niitsoo A. (2000), «Temperature and precipitation trends in Canada during the 20th century» // *Atmosphere Ocean*, Vol. 38, pp. 395-429.

Поступила 25.02.2016 г.

О. О. Світличний, доктор геогр. наук, професор
М. С. Ібрагімова, магістр географії
кафедра фізичної географії та природокористування,
Одеський національний університет імені І. І. Мечникова,
Шампанський пров., 2, Одеса, 65058, Україна
aasvetl@yandex.ua

ДО ПИТАННЯ ПРО СУЧАСНІ ЗМІНИ КЛІМАТУ ПІВНІЧНО-ЗАХІДНОГО ПРИЧОРНОМОР'Я

Резюме

Виконано аналіз і оцінка змін термічного режиму і режиму зволоження Північно-Західного Причорномор'я за даними спостережень на опорній метеорологічній станції Одеса-ГМО за 1900-2015 рр. з використанням 22-х кліматичних індексів, більша частина яких за класифікацією Всесвітньої метеорологічної організації відноситься до категорії «екстремальних». Встановлено закономірності вікових і багаторічних, в тому числі і в останні десятиліття, змін річних і сезонних значень різноманітних кліматологічних показників.

Ключові слова: зміни клімату, Північно-Західне Причорномор'я, Одеса-ГМО, екстремальні індекси, кліматологічні індекси.

A.A. Svetlitchnyi

M. S. Ibragimova

Department of Physical Geography and Nature Management,
Odessa I. I. Mechnikov University,
Champagne Lane, 2, Odessa, 65058, Ukraine
aasvetl@yandex.ua

TO THE QUESTION OF MODERN CHANGES OF CLIMATE OF NORTHWEST BLACK SEA REGION

Purpose. In recent years, climate indices, the majority of which belongs to the category of so-called «extreme indices», widely used in international practice for assessing global and regional climate changes. The purpose of this article is to identify the characteristics of climate change, the North-Western Black Sea region since the beginning of the twentieth century through the use of climate indices.

Data & Methods. For the analysis and evaluation of the changes of climate of the North-west Black Sea region have used the series of monthly, seasonal and annual values of the most informative climate indices for weather station Odessa-GMO for the period 1900-2015 from the site of European Climate Assessment & Data (ECA&D) project. In total have used 22 indexes, 12 of which are temperature, 5 – precipitation, 5 – complex. Analysis and assessment of climate change made using the comparative–geographical, graph-analytical and statistical methods of analysis.

Results. During 1900-2015 years according to observations at the meteorological station of Odessa-GMO had been an increase both air temperatures and precipitation amount. In so doing in the long-term course of most of the indices manifested the periodicity of changes with the characteristic average size equal to 62-64 years.

The most intensely during this period occurred raising the minimum air temperature. While the coefficient of linear trend of average annual air temperature (*TG* index) equals $1,23^{\circ}\text{C} / 100$ years, for the absolute annual minimum of air temperature (*TN_n* index) this coefficient equals $2,97^{\circ}\text{C} / 100$ years.

Since the late 70-ies of the last century has been a significant increase in the intensity of warming. In particular, over the last 35 years the average annual air temperature increased by 2°C , the annual minimum air temperature increased by 4°C , more than in 2 times there was an increase the number of «summer days», in 3.5 times increased number of «tropical nights», and in 1,5 times reduced the number of «frosty nights». It should also be emphasized that in the dynamic of precipitation amount over the last 35 years the monotonicity of changes, typical for the temperature indexes, is absent.

In the seasonal aspect most intensive growth both of air temperature and precipitation as a whole for period under consideration is typical for winter, the least an intensive – for the summer, which led to a decrease in annual amplitude of air temperature and equalization of distribution within the year of precipitation amount, respectively. At the same time in the last 35 years against the background of a slight increase in summer precipitation significantly increased their intensity.

Keywords: climate change, Northwest Black Sea region, Odessa-GMO, extreme indices, climatological indices.