

УДК 551.583.

## КЛИМАТИЧЕСКИЕ ИЗМЕНЕНИЯ В ПРИАРАЛЬЕ И СРЕДНЕЙ АЗИИ<sup>1</sup>

© 2016 г. Ж.В. Кузьмина\*, С.Е. Трешкин\*\*

*\*Институт водных проблем РАН*

*Россия, 119333, г. Москва, ул. Губкина, д. 3. E-mail: jannaKV@yandex.ru*

*\*\*Федеральное агентство научных организаций*

*Россия, 119334, г. Москва, Ленинский пр., д. 32а. E-mail: biost@yandex.ru*

Поступила 19.05.2016

Для региона Приаралья и Средней Азии проанализирована многолетняя годовая, полугодовая и сезонная динамика основных для экосистем метеорологических характеристик (суммарных атмосферных осадков и температуры воздуха: средней, максимальной и минимальной) по их трендам за многолетний период (за 70-125 лет, по 2014 г.) для данных суточных наблюдений 8 метеорологических станций ВМО (Аральское море, Чимбай, Тамды, Торгай, Иргиз, Самарканд, Туркестан, Чарджоу). На основе анализа совокупного влажностно-температурного режима за многолетний период установлены основные тенденции климатических изменений, оценена доля изменений каждой метеорологической характеристики (по предложенному относительному коэффициенту изменений метеорологических характеристик – ОКИ), рассмотрено влияние климатических изменений на экосистемы.

*Ключевые слова:* температура воздуха, суммарные атмосферные осадки, *относительный коэффициент изменений* основных метеорологических характеристик (ОКИ), индекс засушливости Педя<sub>1</sub>, модифицированный индекс засушливости Педя<sub>2</sub>, климатические изменения.

Вслед за фиксированием и подтверждением современных климатических изменений (Оценочный доклад ..., 2008; Второй оценочный ..., 2014; Climate Change, 2013) возникает необходимость определения влияния этих изменений на экосистемы планеты. Чтобы определить направления влияния климатических изменений на экосистемы, необходимо оценить основные многолетние тенденции наиболее важных для экосистем метеорологических характеристик (температуры и осадков), а также их совокупного влияния. Многолетние изменения температур воздуха определяют изменения испарения с дневной поверхности, а, следовательно, могут приводить к уменьшению или увеличению увлажнения в регионах. Для аридного региона Средней Азии и Приаралья повышение или понижение увлажнения в ближайшие годы может стать фактором, угрожающим существованию многих типов экосистем, как естественного, так и антропогенного происхождения, особенно, существовавших ранее в гидроморфных и полугидроморфных условиях (Kuzmina, Treshkin, 2012; Кузьмина, Трешкин, 2012).

### Материалы и методы

Для живых организмов основными показателями являются средние величины метеорологических и гидрологических характеристик, а их экстремальные значения определяют лишь предельно допустимые максимальные и минимальные показатели основных лимитирующих факторов среды, которые определяют диапазон выживания тех или иных организмов. Учитывая это, исследовались лишь средние и абсолютные минимальные и максимальные величины основных метеорологических

<sup>1</sup> Работа выполнена по теме НИР 1.3.9. Тема «Разработка оценочных показателей и критериев трансформации наземных экосистем в связи с изменением водного режима территорий» в рамках научно-исследовательской работы (НИР) 1.3. фундаментальных исследований ИВП РАН «Разработка научных основ теории формирования качества вод суши, методов исследования динамики водных и наземных экосистем, совершенствование комплексного мониторинга водных объектов», № государственной регистрации 01201357580.

характеристик в многолетнем аспекте для 8-ми метеостанций (1 – Аральское море/Аральск №35746, 46.8° с.ш., 61.7° в.д., Казахстан; 2 – Чимбай №38262, 42.9° с.ш., 59.8° в.д., Узбекистан; 3 – Иргиз №35542, 48.6° с.ш., 61.3° в.д., Казахстан; 4 – Торгай №35358, 49.6° с.ш., 63.5° в.д., Казахстан; 5 – Туркестан/Чимкент №38198, 43.3° с.ш., 68.3° в.д., Казахстан; 6 – Тамды/Зеравшан №38413, 41.7° с.ш., 64.6° в.д., Узбекистан; 7 – Чарджоу/Туркменабад №38687, 39.1° с.ш., 63.6° в.д., Туркменистан; 8 – Самарканд №38696, 39.6° с.ш., 67.0° в.д., Узбекистан) региона Приаралья и сопредельных территорий Средней Азии (рис. 1), входящих в систему Всемирной метеорологической организации (ВМО). В данной работе анализировались суточные данные метеостанций Росгидромета за период с момента их открытия по 2014 г. включительно (для метеостанции Иргиз по 2005 год).



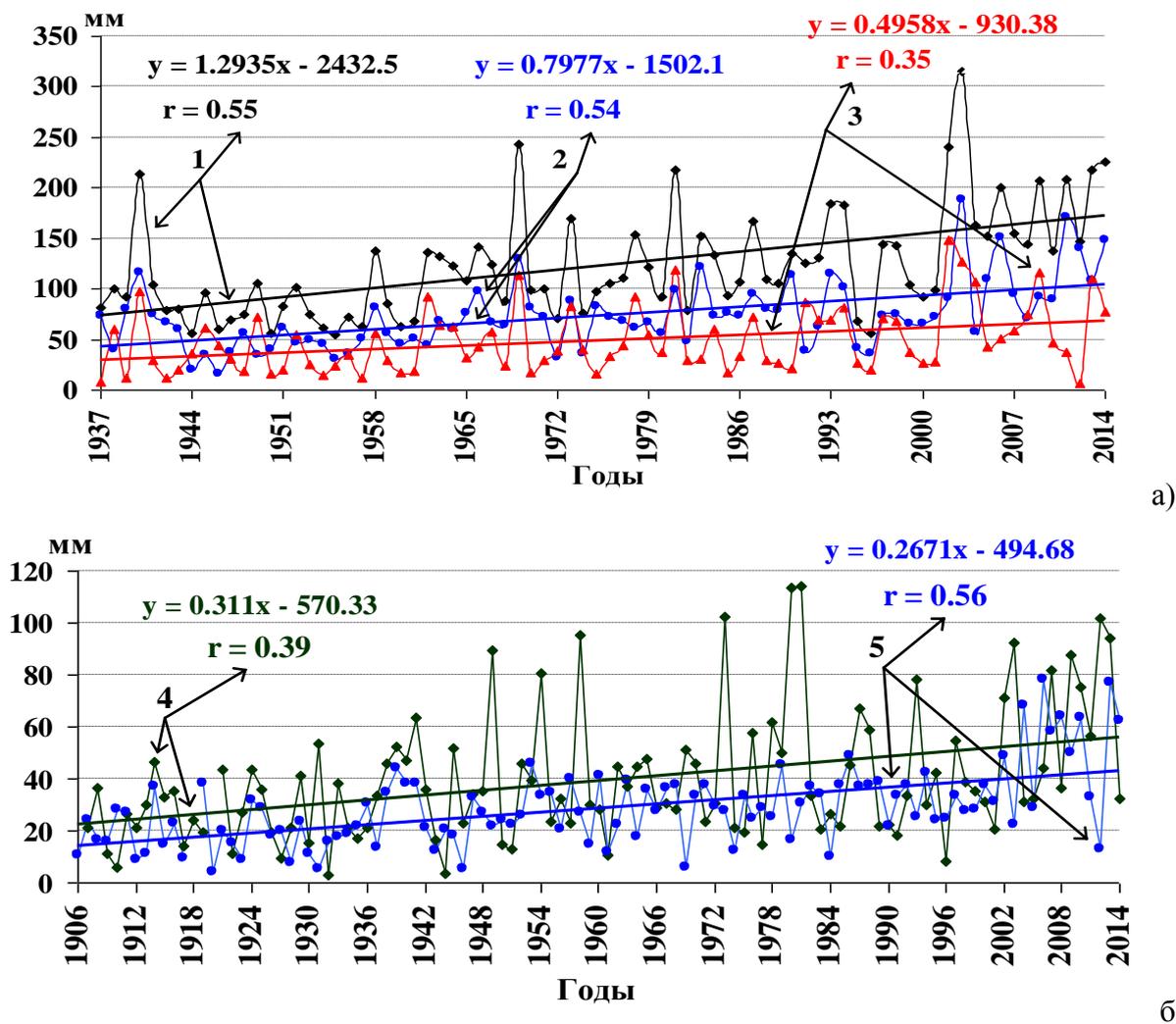
**Рис. 1.** Расположение метеостанций, входящих в состав ВМО в регионе Приаралья и сопредельных территорий Средней Азии, для которых был проведен анализ трендов основных метеорологических характеристик за многолетний период наблюдений.  
**Fig. 1.** Location of the meteorological stations included in the WMO in the Aral Sea region and neighboring areas, for which the trends of the main meteorological characteristics are analyzed for the long-term period of observations.

Климатические изменения определялись на основе выявления достоверных трендов основных метеорологических характеристик (средних, максимальных и минимальных температур воздуха и суммарных атмосферных осадков) за многолетний (от 70 до 125 лет) период (рис. 2, табл. 1) по стандартной методике, рассмотренной подробно в более ранних наших работах (Кузьмина, 2007; Кузьмина, Трешкин, 2009; Кузьмина и др., 2011, Кузьмина, Трешкин, 2014).

Анализ динамических изменений основных климатических характеристик (осадков и температуры) и сравнительная оценка величины многолетней динамики температуры воздуха (а также осадков) проводились с использованием *относительного коэффициента изменений* – ОКИ (табл. 1), который отражает отношение модуля изменения температуры (или осадков) за многолетний период к амплитуде колебания этой температуры (или осадков), выраженное в % (Кузьмина, 2007; Кузьмина, Трешкин, 2014).

Изменения совокупного воздействия влажностно-температурного режима (температуры и осадков) оценивалось по основному *индексу (И<sub>Педя1</sub>) засушливости Д.А. Педя* (Педь, 1975; Переведенцев и др., 2008), который рассматривает аномалии температуры и осадков тренда по отношению к базовому периоду (1961-1990 гг.) и по его модифицированному варианту (Кузьмина, Трешкин, 2014) – *модифицированному индексу засушливости Д.А. Педя (И<sub>Педя2</sub>)*, который оценивает отклонение от среднего уровня средней температуры воздуха и суммы осадков за весь многолетний период наблюдений, с момента открытия станции. С помощью этих индексов (И<sub>Педя1</sub> и И<sub>Педя2</sub>) характеризовались условия как влагообеспеченности, так и теплообеспеченности, поскольку итогом являлись знакопеременные величины. В целом, положительным значениям индексов соответствовали засушливые периоды с повышением термического режима, а отрицательным – влажные – с усилением холодов. Атмосферная засуха формируется при значениях индекса И<sub>Педя2</sub> ≥ 2, а если

$I_{\text{Педея}} \leq -2$ , то отмечаются условия с избыточным увлажнением (Педей, 1975; Переведенцев и др., 2008). При  $-2 < I_{\text{Педея}} < 2$  погодные условия считались нормальными или со слабой аномальностью. Однако, для зимних периодов индекс Д.А. Педея рассчитывался по той же формуле с заменой при этом знака “-“ на знак “+” (Переведенцев и др., 2008). Теплой и многоснежной зима считалась при  $I_{\text{Педея}} > 2$ , а холодной и малоснежной – при  $I_{\text{Педея}} < 2$ .



**Рис. 2.** Динамика изменения суммарного количества выпадающих атмосферных осадков за многолетний период по метеостанциям Чимбай (а) и Аральск (б). Условные обозначения. Фактические данные с их линейными трендами, формулами и коэффициентами корреляции: 1 – для полного годового периода (1-12 месяцев), 2 – для теплого полугодия (4-9 месяцев), 3 – для холодного полугодия (1-3, 10-12 месяцев), 4 – для весны (3-5 месяцев), 5 – для зимы (1-2, 12 месяцев).  
**Fig. 2.** Long-term dynamics of variations in the total atmospheric precipitation for the Chimbai (a) and Aral'sk (b) meteorological stations. Designations: actual data with their linear trends, formulas, and coefficients of correlation: 1 – total annual period (1-12 months), 2 – the warm half of the year (4-9 months), 3 – the cold half of the year (1-3, 10-12 months), 4 – spring (3-5 months), and 5 – winter (1-2, 12 months).

### Результаты и обсуждение

Многолетняя динамика атмосферных осадков и температуры воздуха в Приаралье и сопредельных территориях. Проведенный нами анализ показал, что для суммарных атмосферных осадков величины значимых коэффициентов корреляции лежат в пределах от +0.19 (летом в Чимбае) до +0.62 (в целом за год для Чимбая, табл. 1), а значения фактических изменений колеблются в пределах от 7 мм (для лета в Чимбае) до 123 мм (холодное полугодие в Самарканде; здесь и далее

**Таблица 1.** Анализ трендов многолетних изменений годовых значений атмосферных осадков и температуры воздуха в регионе Приаралья (фрагмент таблицы). **Table 1.** Analysis of the trends of long-term variations in the atmospheric precipitation and the air temperature in the Aral Sea region ((a section of the Table).

Станция	Периоды		Осадки, мм										Индекс		Температура воздуха, °С																			
			Сезоны		Месяцы		Осадки, мм						Прецип.		Средняя					Абс. минимальная					Абс. максимальная									
			Лет	Тренд	$\alpha^2$	$\alpha^1$	Лет	Тренд	$\alpha^2$	$\alpha^1$	Ср. <sup>3</sup>	$\Delta^4$	ОКП, % <sup>5</sup>	И <sup>16</sup>	И <sup>17</sup>	Лет	Тренд	$\alpha$	Ср.	$\Delta$	ОКП, %	Лет	Тренд	$\alpha$	Ср.	$\Delta$	ОКП, %	Лет	Тренд	$\alpha$	Ср.	$\Delta$	Макс.	$\Delta$
Аральское море №35746	Год		109	+	0.56	0.001	125.8	94.1	38.1	0.3	-0.1	102	+	0.53	0.001	7.9	2.5	48.4	1906-2014					1906-2014										
	Тепл. пол.		4-9	+	0.39	0.001	61.7	49.7	11.0	0.1	-0.3	102	+	0.59	0.001	20.2	2.6	32.2	100	+	0.17	0.10	-15.9	2.1	11.2	94	+	0.47	0.001	46.9	3.9	34.7		
	Хол. пол.		10-3	+	0.51	0.001	64.1	44.4	28.7	2.5	3.1	102	+	0.36	0.001	-4.6	2.6	28.7	103	+	0.25	0.05	-37.9	3.1	18.1	91	+	0.33	0.01	32.6	4.4	25.4		
	Весна		3-5	+	0.39	0.001	39.6	33.6	19.7	0.3	-0.1	106	+	0.45	0.001	8.4	3.5	30.6	98	+	0.35	0.001	-36.1	7.8	25.0	94	+	0.31	0.01	39.9	3.5	22.9		
	Лето		6-8	108	0(+)	0.13	н	26.5	-	2.1	1.8	104	+	0.47	0.001	25.3	1.9	35.1	101	+	0.23	0.05	3.6	1.6	16.4	93	+	0.46	0.001	46.9	3.8	34.2		
	Осень		9-11	107	+	0.23	0.05	32.7	16.4	14.1	1.2	0.0	105	+	0.45	0.001	8.0	2.6	22.4	99	+	0.19	0.10	-31.6	4.0	15.4	89	+	0.43	0.001	41.5	4.7	33.6	
	Зима		12-2	108	+	0.56	0.001	28.9	28.8	39.0	3.0	3.4	105	+	0.15	0.15	-10.6	1.5	8.3	103	+	0.25	0.05	-37.9	3.1	18.0	92	+	0.31	0.01	17.8	3.6	17.1	
	Тепл. пол.		5-10	109	+	0.23	0.05	58.6	25.1	14.3	0.6	-0.1	102	+	0.61	0.001	19.9	2.4	33.4	99	+	0.26	0.01	-15.7	3.1	17.1	94	+	0.47	0.001	46.9	3.9	34.7	
	Хол. пол.		11-4	109	+	0.62	0.001	67.2	69.0	41.3	2.6	3.2	102	+	0.35	0.001	-4.3	2.6	26.9	103	+	0.25	0.05	-37.9	3.1	18.1	93	+	0.38	0.001	33.9	5.0	33.0	

Продолжение **примечаний к таблице 1**: 5) **ОКИ**<sup>5</sup> – показатель доли изменения фактических средних значений осадков, рассчитанный как отношение модуля изменения к модулю среднего значения параметра, выраженный в %; 6) **И<sub>Педя1</sub>**<sup>7</sup> – индекс засушливости Д.А. Педя (1); 7) **И<sub>Педя2</sub>**<sup>8</sup> – модифицированный индекс засушливости Д.А. Педя (2); 8) жирным шрифтом выделены значения показателей для трендов с достоверными (значимыми) коэффициентами корреляции. **Note to table 1**: 1) **r**<sup>1</sup> – linear trend coefficient of correlation with the curves of the actual precipitation values and air temperature; 2)  **$\alpha^2$**  – the significance of the correlation coefficients; 3) **ср., мин., макс.**<sup>3</sup> – average, the absolute minimum and absolute maximum air temperature, and the average amount of total precipitation over many years based on actual data; 4)  **$\Delta^4$**  – module changes the actual value in the reporting period, calculated on the basis of the trend; 5) **ОКИ**<sup>5</sup> – changing the actual rate share precipitation averages calculated as the ratio of the change module to the average value of the parameter, expressed in %; 6) **И<sub>Педя1</sub>**<sup>7</sup> – the index of aridity D.A. Pedyu (1); 7) **И<sub>Педя2</sub>**<sup>8</sup> – modified index of aridity D.A. Pedyu (2); 8) The bold values for trends with significant (significant) correlation coefficients.

**Таблица 2.** Значения коэффициентов корреляции для многолетних изменений суммарных атмосферных осадков и средней температуры воздуха по восьми метеостанциям Приаралья и сопредельных территорий. **Table 2.** Values of coefficients of correlation for the long-term variations in the total atmospheric precipitation and average air temperature for the eight meteorostations in the Aral Sea region and neighboring areas.

Период времени в месяцах	r осадков								r средней t°C воздуха							
	1. Аральск	2. Чимбай	3. Иргиз	4. Торгай	5. Туркестан	6. Тамды	7. Чарджоу	8. Самарканд	1. Аральск	2. Чимбай	3. Иргиз	4. Торгай	5. Туркестан	6. Тамды	7. Чарджоу	8. Самарканд
Годовое (1-12)	<b>0.56</b>	<b>0.61</b>	<b>0.22</b>	<b>0.23</b>	<b>0.46</b>	-0.001	<b>0.19</b>	<b>0.41</b>	<b>0.53</b>	<b>0.70</b>	<b>0.40</b>	<b>0.34</b>	<b>0.25</b>	<b>0.59</b>	0.09	<b>0.68</b>
Тепл. пол. (4-9)	<b>0.39</b>	<b>0.35</b>	0.09	0.10	<b>0.28</b>	-0.06	0.04	0.18	<b>0.59</b>	<b>0.81</b>	<b>0.19</b>	<b>0.28</b>	<b>0.17</b>	<b>0.60</b>	0.04	<b>0.70</b>
Холод. пол. (1-3, 10-12)	<b>0.51</b>	<b>0.54</b>	<b>0.33</b>	<b>0.28</b>	<b>0.45</b>	0.06	<b>0.26</b>	<b>0.42</b>	<b>0.36</b>	<b>0.43</b>	<b>0.46</b>	<b>0.26</b>	<b>0.24</b>	<b>0.41</b>	<b>0.18</b>	<b>0.48</b>
Тепл. пол. (5-10)	<b>0.23</b>	<b>0.35</b>	0.08	0.09	<b>0.32</b>	0.06	0.02	0.15	<b>0.61</b>	<b>0.84</b>	0.13	<b>0.23</b>	0.13	<b>0.67</b>	0.07	<b>0.69</b>
Холод. пол. (1-4, 11-12)	<b>0.62</b>	<b>0.52</b>	<b>0.36</b>	<b>0.33</b>	<b>0.43</b>	-0.04	<b>0.21</b>	<b>0.42</b>	<b>0.35</b>	<b>0.47</b>	<b>0.44</b>	<b>0.30</b>	<b>0.25</b>	<b>0.42</b>	<b>0.24</b>	<b>0.50</b>
Весна (3-5)	<b>0.39</b>	<b>0.43</b>	0.14	<b>0.24</b>	<b>0.30</b>	-0.07	0.03	0.16	<b>0.45</b>	<b>0.59</b>	0.16	<b>0.35</b>	<b>0.17</b>	<b>0.47</b>	<b>0.20</b>	<b>0.49</b>
Лето (6-8)	0.13	<b>0.19</b>	0.09	0.03	0.12	0.08	0.01	0.17	<b>0.47</b>	<b>0.79</b>	0.09	0.06	0.01	<b>0.56</b>	0.04	<b>0.66</b>
Осень (9-11)	<b>0.23</b>	<b>0.36</b>	0.06	0.04	<b>0.44</b>	0.13	<b>0.25</b>	<b>0.28</b>	<b>0.45</b>	<b>0.53</b>	<b>0.27</b>	<b>0.35</b>	<b>0.22</b>	<b>0.52</b>	0.01	<b>0.56</b>
Зима (1-2, 12)	<b>0.56</b>	<b>0.37</b>	<b>0.33</b>	<b>0.25</b>	<b>0.42</b>	-0.06	<b>0.28</b>	<b>0.45</b>	<b>0.15</b>	<b>0.22</b>	<b>0.41</b>	0.11	<b>0.15</b>	0.15	0.13	<b>0.22</b>

**Примечания к таблицам 2 и 5:** жирным крупным шрифтом выделены достоверные значимые коэффициенты корреляции. **Note to tables 2 and 5:** the reliable significant coefficients of correlation are in bold.

учитывались изменения величин параметров только при значимых коэффициентах корреляции; табл. 2). При этом в среднем за год (1-12 месяцев) и зимний сезон (1-2, 12 месяцев) осадки для всех станций (кроме Тамды) увеличились на 61 мм и 33 мм соответственно, при чем для половины станций осадки увеличились также весной и осенью в среднем на 35 мм и 26 мм соответственно. При том, что летом значимое увеличение выпадения осадков на всех станциях (кроме Чимбай) не отмечалось.

В многолетнем аспекте распределения годовых, полугодовых и сезонных сумм атмосферных осадков значимые достоверные тренды выявлены практически для всех метеостанций. Исключение составляет метеостанция Тамды, для которой не выявлено никаких достоверных трендов многолетнего изменения в выпадении атмосферных осадков.

При этом максимальное увеличение выпадения атмосферных осадков наблюдается, несомненно, в холодное полугодие и зимний сезон, что дает основную долю их повышения за год. Так, годовое

увеличение осадков составило для метеостанций: Чимбай за период 1937-2014 гг. – 65 мм, Аральск (1906-2014) – 94 мм, Торгай (1900-2014) – 50 мм, Иргиз (1936-2014) – 43 мм, Самарканд (1936-2014) – 80 мм, Чарджоу (1895-2014) – 38 мм, Туркестан (1882-2014) – 44 мм (табл. 3).

Для всех метеостанций (исключая Тамды) для двух анализируемых холодных полугодий (1-3, 10-12 и 1-4, 11-12 месяцы) также наблюдается увеличение выпадения атмосферных осадков, в среднем на 51 и 63 мм соответственно, что связано с их повышением зимой и осенью.

**Таблица 3.** Модуль изменения суммарных атмосферных осадков (в мм) и средней температуры воздуха (в °C) по трендам за многолетний период для восьми метеостанций Приаралья и сопредельных территорий. **Table 3.** Module of the variation in the total atmospheric precipitation (mm) and in the average air temperature (°C) with respect to the trends over the long-term period for the eight meteorostations in the Aral Sea region and neighboring areas.

Период времени в месяцах	Модуль изменения осадков, мм								Модуль изменения средней температуры воздуха, °C							
	1. Аральск	2. Чимбай	3. Иргиз	4. Торгай	5. Туркестан	6. Тамды	7. Чарджоу	8. Самарканд	1. Аральск	2. Чимбай	3. Иргиз	4. Торгай	5. Туркестан	6. Тамды	7. Чарджоу	8. Самарканд
Годовое (1-12)	94.1	64.9	42.8	50.2	43.8	-*	38.1	80.4	2.5	2.7	1.5	1.6	1.1	2.2	-	2.2
Тепл. пол. (4-9)	49.7	38.2	-	-	30.0	-	-	-	2.6	2.9	0.6	1.0	0.6	2.0	-	2.2
Холод. пол. (1-3, 10-12)	44.4	61.4	27.3	36.2	82.8	-	39.1	56.3	2.6	2.5	3.0	1.8	1.5	2.3	0.8	2.2
Тепл. пол. (5-10)	25.1	26.2	-	-	18.5	-	-	-	2.4	2.7	-	0.8	-	2.0	-	2.1
Холод. пол. (1-4, 11-12)	69.0	73.4	30.6	45.5	31.7	-	37.1	123.4	2.6	2.7	2.7	2.1	1.6	2.2	1.1	2.3
Весна (3-5)	33.6	48.0	-	23.9	35.0	-	-	-	3.5	3.5	-	2.7	0.9	2.4	0.9	2.6
Лето (6-8)	-	7.0	-	-	-	-	-	-	1.9	3.0	-	-	-	1.8	-	2.0
Осень (9-11)	16.4	19.9	-	-	33.1	-	14.6	42.7	2.6	2.5	1.5	1.9	1.1	2.7	-	2.6
Зима (1-2, 12)	28.8	24.8	16.2	17.6	46.6	-	25.0	61.7	1.5	1.8	3.6	-	1.4	-	-	1.5

**Примечания к таблицам 3-4 и 6-7:** \* – изменения отсутствуют, т.к. трендов нет. **Note to tables 3-4 and 6-7:** \* – no change, because no trends.

Кроме того, для трех метеостанций (Аральск, Чимбай, Тургай) для двух анализируемых теплых полугодий (4-9 и 5-10 месяцы) также наблюдается увеличение выпадения атмосферных осадков (в среднем на 40 и 23 мм соответственно), что связано с их повышением в весенний и осенний сезоны.

Таким образом, значимые достоверные тренды за различные периоды в многолетнем распределении выпадения суммарных атмосферных осадков (годовых, за различные полугодия и сезонных) выявлены для 7-ми из восьми анализируемых станций Приаралья и сопредельных территорий Средней Азии и все они положительные (отрицательные тренды отсутствуют). Положительные тренды годовых сумм осадков также установлены для 7 метеостанций.

Из 72 анализируемых кривых многолетних изменений выпадения атмосферных осадков для различных временных периодов всех метеостанций, более половины (44 кривых или 61% случаев) имели значимые достоверные тренды их повышения. При этом, для всех метеостанций основной тенденцией во внутригодовом перераспределении осадков является их безусловное повышение в три сезона года: зимой (1-2, 12), весной (3-5) и осенью (9-11).

Таким образом, выявлена единственная безусловная тенденция заметного значимого увеличения выпадения атмосферных осадков за год для региона Приаралья и сопредельных территорий Средней Азии. Это значимое увеличение годовой суммы осадков происходит как за счет холодного полугодия, так и, отчасти, за счет теплого полугодия, что связано с их основным сезонным повышением зимой, и в половину меньшим повышением осенью и весной.

Анализ *относительных коэффициентов изменений* (ОКИ) многолетнего распределения

суммарных атмосферных осадков (совокупно/годовых, полугодических и сезонных) показал, что значимые достоверные изменения произошли в 61% случаев (от общего кол-ва анализируемых кривых). При этом основная доля (66% от всех установленных достоверных трендов) этих изменений (этого ОКИ) лежат в пределах 15-30%. Минимальные и максимальные значения ОКИ составляют 20% и 14% соответственно от всех установленных трендов изменения осадков. Таким образом, можно сказать, что для региона Приаралья и сопредельных территорий Средней Азии характерна тенденция увеличения выпадения атмосферных осадков в многолетнем аспекте. При этом наблюдающееся повышение выпадения атмосферных осадков в среднем произошло на одну треть (табл. 4).

**Таблица 4.** Относительный коэффициент изменений (ОКИ, %) динамики суммарных атмосферных осадков и средней температуры воздуха за многолетний период по восьми метеостанциям Приаралья и сопредельных территорий. **Table 4.** The relative rate of change (OCI, %) the dynamics of total precipitation and average air temperature for long period of eight weather stations Aral Sea region and adjacent territories.

Период времени в месяцах	ОКИ осадков								ОКИ средней температуры воздуха							
	1. Аральск	2. Чимбай	3. Иргиз	4. Торгай	5. Туркестан	6. Тамды	7. Чарджоу	8. Самарканд	1. Аральск	2. Чимбай	3. Иргиз	4. Торгай	5. Туркестан	6. Тамды	7. Чарджоу	8. Самарканд
Годовое (1-12)	38	25	15	18	14	-	10	19	48	56	31	21	16	44	-	54
Тепл. пол. (4-9)	11	27	-	-	18	-	-	-	32	59	13	18	8	42	-	56
Холод. пол. (1-3, 10-12)	29	36	26	21	28	-	15	20	29	32	32	16	17	32	14	39
Тепл. пол. (5-10)	14	23	-	-	15	-	-	-	33	64	-	13	-	43	-	48
Холод. пол. (1-4, 11-12)	41	43	26	23	12	-	11	29	27	35	36	20	18	33	20	34
Весна (3-5)	20	37	-	17	20	-	-	-	31	41	-	27	10	31	13	24
Лето (6-8)	-	10	-	-	-	-	-	-	35	66	-	-	-	45	-	51
Осень (9-11)	14	23	-	-	24	-	12	15	22	44	17	21	14	38	-	42
Зима (1-2, 12)	39	29	26	21	28	-	20	34	8	18	31	-	10	-	-	16

**Примечание к таблицам 4 и 7. Note to table 4 and 7.** ОКИ:

 – 0.1-14%, 
  – 15-30%, 
  – 31-50%, 
  – >50%.

Для *средних температур воздуха* (среднегодовых, средних для различных холодных/теплых полугодий, а также весеннего, летнего, осеннего и зимнего сезонов года) величины значимых коэффициентов корреляции лежат в пределах от +0.15 (зима в Аральске) до +0.84 (теплое полугодие в Чимбае), т.е. все они положительные (табл. 2). При этом значимое повышение средних значений температур воздуха (табл. 3) зафиксировано от 0.6°C (теплое полугодие в Иргизе и Туркестане) до 3.6°C (зима в Иргизе), в среднем для всех станций и анализируемых временных периодов – на 2.1°C.

В многолетнем распределении средней температуры воздуха (среднегодовой, средней по полугодиям, а также по отдельным сезонам года) установлены только положительные достоверные тренды. Лишь для 13 (18%) из 72 анализируемых кривых изменений средних температур воздуха не выявлены достоверные тренды изменения температур воздуха, половина из них относится к данным по метеостанции Чарджоу.

Таким образом, преобладающей тенденцией в многолетнем распределении средних температур воздуха в регионе Приаралья и сопредельных территорий Средней Азии является стабильное повышение среднегодовых значений температуры воздуха (в среднем по всем станциям  $r_{av}=+0.43$ ), которое происходит за счет потепления воздуха как в холодные ( $r_{av\ 1-3, 10-12}=+0.35$ ,  $r_{av\ 1-4, 11-12}=+0.37$ ), так и в теплые полугодия ( $r_{av\ 4-9}=+0.48$ ,  $r_{av\ 5-10}=+0.61$ ; табл. 2). При этом фактическое повышение средней температуры воздуха в среднем по метеостанциям составило: в целом за год – на 2.0°C

(от 1.1°C до 2.7°C), за основные теплое (4-9) и холодное полугодие (1-3, 10-12) – на 1.7°C (от 0.6°C до 2.9°C) и на 2.1°C (от 0.8°C до 3.0°C) соответственно, за альтернативное теплое (5-10) и холодное (1-4, 11-12) полугодия – на 1.9°C (от 0.8°C до 2.7°C) и на 2.1°C (от 1.1°C до 2.7°C) соответственно, за весну (3-5) – на 2.3°C (от 0.9°C до 2.5°C), за лето (6-8) – на 2.3°C (от 1.8°C до 3.0°C), за осень (9-11) – на 2.1°C (от 1.1°C до 2.7°C), за зиму (1-2, 12) – на 2.1°C (от 1.4°C до 3.6°C; табл. 3).

В сезонном изменении средних температур за многолетний период для лета не выявлено значимое повышение средней температуры воздуха у половины метеостанций (Иргиз, Тургай, Туркестан, Чарджоу), находящихся на периферии исследуемой территории – в основном в северной и восточной ее частях (табл. 2). Для остальных метеостанций (Аральск, Чимбай, Тамды, Самарканд) летние тренды повышения температуры воздуха очень высоки – в среднем  $r_{av}=+0.62$  (от  $r=+0.47$  до  $r=+0.79$ ; табл. 2), что соответствует повышению летней температуры воздуха за многолетний период в среднем на 2.3°C (от 1.8°C до 3.0°C; табл. 3).

Таким образом, установлена основная тенденция повышения среднегодовой температуры воздуха в Приаралье и на сопредельных территориях, которая происходит как за счет холодного полугодия, так и за счет теплого полугодия. При этом повышения температур в холодное полугодие по абсолютным значениям чуть выше (на 10-20%), чем в теплое полугодие (2.1°C и 1.7°–1.9°C соответственно). Повышение средних температур воздуха происходит также во все сезоны года, однако, основная доля его приходится на весенний (в среднем на 2.3°C для 7-и метеостанций) и осенний (в среднем на 2.1°C для 7-и метеостанций) сезоны, поскольку зимой и летом повышение средних температур (на 2.1°C и на 2.3°C) отмечается только для пяти и четырех станций соответственно (табл. 3).

Анализ *относительных коэффициентов изменений* (ОКИ) средних температур воздуха (совокупно/годовых, полугодических и сезонных) в регионе Приаралья показал, что значимые достоверные изменения произошли в 82% случаев (от общего кол-ва анализируемых кривых). При этом около половины (45% от всех установленных достоверных трендов) этих изменений (этого ОКИ) лежат в пределах 30-50%. Минимальных значений ОКИ почти столько же (15%), как и очень высоких – 12%, т.е. максимальных значений, изменения для которых составили уже более 50% от их многолетней амплитуды. Таким образом, можно сказать, что повышение средних температур воздуха в рассматриваемом регионе безусловно и повсеместно как для общего годового цикла, так и для отдельных периодов и сезонов года, а сами эти изменения по своей величине, в целом, достигают от одной трети до половины от возможных (табл. 4).

Для *абсолютных минимальных температур воздуха* (холодных/теплых полугодий, весны, лета, осени и зимы) величины значимых коэффициентов корреляции лежат в пределах от –0.17 (лето в Чарджоу) до +0.61 (лето в Самарканде), а минимальным по модулю значимым коэффициентом корреляции здесь является 0.17 (осень и лето в Чарджоу). При этом единственное понижение (на 1.1°C) среди всех анализируемых периодов для абсолютных минимальных температур воздуха отмечено только для летнего сезона в Чарджоу. Остальные значимые и незначимые изменения в многолетнем аспекте абсолютных минимальных температур воздуха касаются только их повышения. Все значимые повышения абсолютных минимальных температур воздуха за все анализируемые периоды достигают в среднем для всех анализируемых метеостанций значения в 4.2°C, т.е. лежат в пределах изменений от 1.6°C до 8.2°C.

Для всей территории Приаралья и сопредельных территорий Средней Азии установлено значимое повсеместное повышение абсолютных минимальных температур воздуха за холодное полугодие (т.е. в целом за год) и зиму (1-2, 12), а также для большинства метеостанций (для 7-и осенью (9-11) и весной (3-5)). При этом для более половины метеостанций отмечается также повышение абсолютных минимальных температур воздуха в теплое полугодие и летний сезон. На всех метеостанциях (исключая лето в Чарджоу) отсутствует тенденция к понижению минимальных температур воздуха. Основные тенденции повышения абсолютных минимальных температур воздуха в Приаралье очень схожи с тенденциями изменений средних температур воздуха. Изменения происходят как во все холодные (для всех 8-и метеостанций:  $r_{av}=+0.28$ ,  $r_{max}=+0.39$ ,  $r_{min}=+0.18$ ), так и в теплые полугодия (для 6-и метеостанций:  $r_{av}=+0.30$ ,  $r_{max}=+0.42$ ,  $r_{min}=+0.17$ ), однако в холодные полугодия изменения на 11-15% больше по своим значениям, чем в теплые ( $\Delta_{av}=4.1°C$ ,  $\Delta_{max}=7.5°C$ ,

$\Delta_{\min}=2.4^{\circ}\text{C}$  – для холодных полугодий и  $\Delta_{\text{av}}=3.5^{\circ}\text{C}$ ,  $\Delta_{\max}=6.8^{\circ}\text{C}$ ,  $\Delta_{\min}=2.1^{\circ}\text{C}$  – для теплых полугодий). В сезонном изменении абсолютных минимальных температур воздуха преобладает безусловное повышение зимой (для всех метеостанций:  $r_{\text{av}}=+0.26$ ,  $r_{\max}=+0.36$ ,  $r_{\min}=+0.17$ ), весной (для 7-и метеостанций:  $r_{\text{av}}=+0.33$ ,  $r_{\max}=+0.40$ ,  $r_{\min}=+0.16$ ), осенью (для 7-и метеостанций:  $r_{\text{av}}=+0.32$ ,  $r_{\max}=+0.42$ ,  $r_{\min}=+0.23$ ) и отчасти летом (для 4-х метеостанций:  $r_{\text{av}}=+0.42$ ,  $r_{\max}=+0.61$ ,  $r_{\min}=+0.23$ ).

При этом фактическое повышение абсолютной минимальной температуры воздуха (табл. 5) в среднем по всем анализируемым метеостанциям составило: в целом за год (1-12) и за зиму (1-2, 12) – на  $3.8^{\circ}\text{C}$  (от  $2.4^{\circ}\text{C}$  до  $5.1^{\circ}\text{C}$ ), за основные холодное (1-3, 10-12 месяца) и теплое (4-9 месяца) полугодия – на  $4.2^{\circ}\text{C}$  (от  $2.4^{\circ}\text{C}$  до  $7.5^{\circ}\text{C}$ ) и на  $3.5^{\circ}\text{C}$  (от  $2.1^{\circ}\text{C}$  до  $6.8^{\circ}\text{C}$ ) соответственно, а также за остальные сезоны года – за осень – на  $5.3^{\circ}\text{C}$  (от  $2.4^{\circ}\text{C}$  до  $8.2^{\circ}\text{C}$ ), за весну – на  $5.0^{\circ}\text{C}$  (от  $3.4^{\circ}\text{C}$  до  $7.8^{\circ}\text{C}$ ), за лето – на  $3.2^{\circ}\text{C}$  (от  $1.6^{\circ}\text{C}$  до  $3.4^{\circ}\text{C}$ ).

**Таблица 5.** Модуль изменения абсолютных минимальных и максимальных температур воздуха (в  $^{\circ}\text{C}$ ) по трендам за многолетний период для восьми метеостанций Приаралья и сопредельных территорий.  
**Table 5.** Module of the variation in the absolute minimum and maximum air temperatures ( $^{\circ}\text{C}$ ) with respect to the trends over the long-term period for the eight meteorostations in the Aral Sea region and neighboring areas.

Период времени в месяцах	Модуль изменения минимальной температуры воздуха, $^{\circ}\text{C}$								Модуль изменения максимальной температуры воздуха, $^{\circ}\text{C}$							
	1. Аральск	2. Чимбай	3. Иргиз	4. Торгай	5. Туркестан	6. Тамды	7. Чарджоу	8. Самарканд	1. Аральск	2. Чимбай	3. Иргиз	4. Торгай	5. Туркестан	6. Тамды	7. Чарджоу	8. Самарканд
Тепл. пол. (4-9)	2.1	4.0	-	6.8	-	3.0	2.2	2.8	3.9	3.3	1.8	-	-	1.4	-	1.2
Холод. пол. (1-3, 10-12)	3.1	2.8	3.6	2.4	7.5	3.7	4.4	5.4	4.4	-	-	3.0	2.6	3.0	-	-
Тепл. пол. (5-10)	3.1	-	-	4.9	-	3.0	-	2.7	3.9	2.9	1.8	-	-	1.4	-	1.2
Холод. пол. (1-4, 11-12)	3.1	2.8	3.6	2.4	7.5	3.7	4.4	5.4	5.0	3.6	-	-	-	3.8	-	2.4
Весна (3-5)	7.8	3.7	4.0	4.5	-	3.4	4.3	4.0	3.5	1.8	-	-	-	-	-	-
Лето (6-8)	1.6	2.9	-	-	-	3.9	1.1	4.4	3.8	3.0	1.8	-	-	1.2	-	1.2
Осень (9-11)	4.0	3.6	-	6.2	8.2	6.2	2.4	6.3	4.7	1.9	-	2.4	1.8	3.8	1.4	1.2
Зима (1-2, 12)	3.1	2.7	3.3	2.4	5.1	3.4	4.5	5.0	3.6	-	-	2.2	-	2.6	-	-

Таким образом, максимальные по частоте положительные изменения абсолютных минимальных температур воздуха произошли в холодное полугодие и зимой, а максимальные по амплитуде положительные изменения отмечаются для осени и весны. Изменения летом и в теплые полугодия меньше как по частоте, так и по амплитуде. В среднем для региона Приаралья и сопредельных территорий заморозки в теплое полугодие снизились на  $3.5^{\circ}\text{C}$ , в то время как самые сильные морозы ослабли на  $4.2^{\circ}\text{C}$ .

И только для 10 из 72 анализируемых кривых многолетних изменений абсолютных минимальных температур воздуха (или в 14% случаях) не установлено достоверных трендов их изменений. Практически для всех метеостанций и анализируемых периодов времени (исключение только летом в Чарджоу) в регионе Приаралья и сопредельных территориях установлены значимые достоверные повышения абсолютных минимальных температур воздуха. Основной тенденцией в многолетней динамике абсолютных минимальных температур воздуха является их повышение в холодное полугодие и зимой, а также значимое безусловное повышение их осенью и весной.

Анализ относительных коэффициентов изменений (ОКИ) абсолютных минимальных температур воздуха (совокупно /годовых, полугодических и сезонных) в регионе Приаралья и сопредельных территорий показал, что значимые достоверные изменения произошли в 85% случаев (от общего кол-

ва анализируемых кривых), что немного превышает этот показатель для средних температур воздуха (82%). При этом основная доля (88% от всех установленных достоверных трендов) этих изменений лежат в пределах 15-30%. Минимальных и максимальных значений ОКИ – 10 и 3% (табл. 6). Таким образом, можно сказать, что повышение абсолютных минимальных температур воздуха в данном регионе также безусловно и повсеместно как для годового цикла, так и для отдельных периодов и сезонов года, а сами эти изменения также составляют от одной трети до половины от возможных.

**Таблица 6.** Относительный коэффициент изменений (ОКИ, %) динамики абсолютны минимальных и максимальных температур воздуха за многолетний период по восьми метеостанциям Приаралья и сопредельных территорий. **Table 6.** Relative coefficient of variations (RCV, %) in the dynamics of the absolute minimum and maximum air temperatures over the long-term period for the eight meteostations in the Aral Sea region and neighboring areas.

Период времени в месяцах	ОКИ минимальной температуры воздуха, %								ОКИ максимальной температуры воздуха, %							
	1. Аральск	2. Чимбай	3. Иргиз	4. Торгай	5. Туркестан	6. Тамды	7. Чарджоу	8. Самарканд	1. Аральск	2. Чимбай	3. Иргиз	4. Торгай	5. Туркестан	6. Тамды	7. Чарджоу	8. Самарканд
Тепл. пол. (4-9)	11	29	-	27	-	17	18	22	35	38	19	-	-	14	-	20
Холод. пол. (1-3, 10-12)	18	12	24	16	26	17	22	27	25	-	-	13	15	15	-	-
Тепл. пол. (5-10)	17	-	-	25	-	16	-	21	35	34	19	-	-	14	-	20
Холод. пол. (1-4, 11-12)	18	13	24	16	26	17	22	27	33	16	-	-	-	18	-	18
Весна (3-5)	25	19	15	15	-	11	23	23	23	13	-	-	-	-	-	-
Лето (6-8)	16	25	-	-	-	28	11	43	34	34	19	-	-	10	-	20
Осень (9-11)	15	16	-	24	28	23	12	35	34	17	-	16	16	29	16	13
Зима (1-2, 12)	18	12	22	16	18	16	23	25	17	-	-	16	-	8	-	-

Для абсолютных максимальных температур воздуха (холодных/теплых полугодий, весны, лета, осени и зимы) величины значимых коэффициентов корреляции лежат в пределах от +0.18 (осень в Самарканде) до +0.59 (теплое полугодие в Чимбае). При этом фактические повышения абсолютных максимальных температур воздуха в регионе Приаралья и сопредельных территорий лежат в пределах 1.2°C до 5.0°C (табл. 5), при среднем значении повышения для всех станций и периодов в 2.6°C.

В многолетней динамике абсолютных максимальных температур воздуха по полугодиям и сезонам года на изучаемой территории установлена самая меньшая доля изменений для всех анализируемых метеорологических характеристик. Из 72 анализируемых кривых чуть более половины (43 кривых или 60% случаев) имели достоверный значимый тренд повышения своих значений.

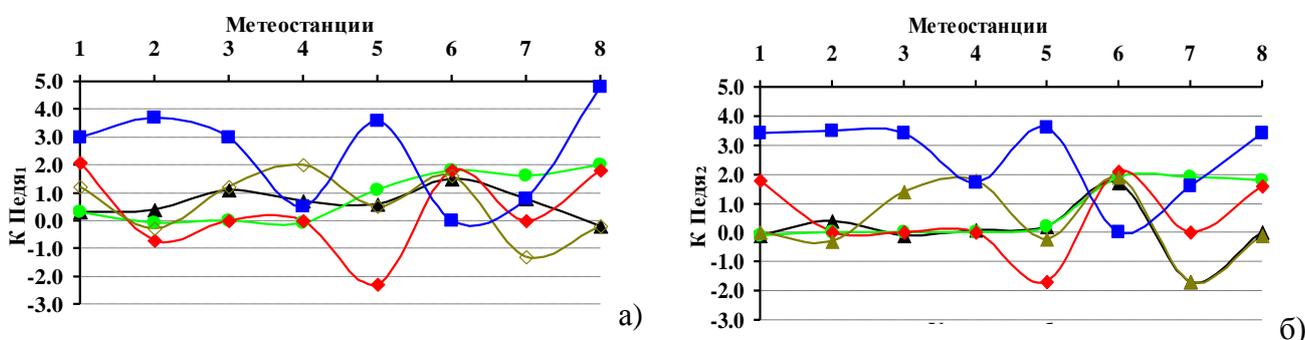
При этом, выделяется лишь одна общая тенденция в изменении абсолютных максимальных температур воздуха – это безусловное их повышение осенью (для 7-и метеостанций), а также частично летом (для 5-и станций), в теплые (для 5-и станций) и в холодные (для 4-х станций) полугодия. Минимальные по частоте встречаемости изменения наблюдаются весной (для 2-х станций) и зимой (для 3-х станций; табл. 5).

Фактическое повышение абсолютной максимальной температуры воздуха для установленных трендов составляет (табл. 5): осенью – на 2.5°C (от 1.2°C до 4.7°C), летом – на 2.2°C (от 1.2°C до 3.8°C), в основное и в альтернативное теплые полугодия (4-9 и 5-10) – на 2.2-2.3°C (от 1.2°C до 3.9°C), в основное холодное (1-3, 10-12) полугодие – на 3.3°C (от 2.6°C до 4.4°C) и в альтернативное холодное (1-3, 11-12) полугодие – на 3.7°C (от 2.4°C до 5.0°C). Таким образом, по частоте

встречаемости повышение максимальных температур выше в теплые периоды, а по амплитуде изменений более значительны (на 1-1.5°C) сдвиги в холодные периоды.

Анализ *относительных коэффициентов изменений* (ОКИ) абсолютных максимальных температур воздуха (совокупно /годовых, полугодовых и сезонных) в регионе Приаралья и сопредельных территорий Средней Азии показал, что значимые достоверные изменения произошли только в 60% случаев (от общего кол-ва анализируемых кривых), что сопоставимо по частоте изменений с показателем ОКИ осадков (61%). При этом основная доля (79% от всех установленных достоверных трендов) этих изменений (этого ОКИ) лежат в пределах 15-30% (табл. 6). Минимальных и максимальных значений ОКИ приблизительно поровну – 10 и 11%. Таким образом, можно сказать, что повышение абсолютных максимальных температур воздуха в данном регионе также характерная тенденция в годовом цикле, а произошедшие изменения, достигают от одной трети до половины возможных.

*Изменение индексов засушливости Педя.* Анализируя кривые (рис. 3а, б), построенные на основании полученных в процессе анализа индексов засушливости Педя ( $I_{\text{Педя 1}}$  и  $I_{\text{Педя 2}}$ ), легко заметить, что изменения влажностно-температурного режима годового цикла (1-12) очень близко с изменениям за весенний сезон (3-5).



**Рис. 3.** Распределение индексов засушливости Педя 1 (а) и Педя 2 (б) за отдельные сезоны года (весна, лето, осень, зима) и общий годовой период по метеостанциям Приаралья и сопредельных территорий. Цифрами обозначены метеостанции: 1 – Аральск, 2 – Чимбай, 3 – Иргиз, 4 – Тургай, 5 – Туркестан, 6 – Тамды, 7 – Чарджоу, 8 – Самарканд. *Условные обозначения:*  $\blacktriangle$  – годовой (1-12 месяцев);  $\blacklozenge$  – летний (6-8);  $\blacksquare$  – зимний (1-2, 12);  $\bullet$  – весенний (3-5);  $\blacklozenge$  – осенний (9-11).  
**Fig. 3.** Distribution of the aridity index Pedy 1 (a) and Pedy 2 (b) for certain seasons of the year (spring, summer, autumn, winter), and the total annual period at weather stations Aral Sea region and adjacent territories. These numbers refer to the weather station: 1 – Aralsk, 2 – Chimbay, 3 – Irgiz, 4 – Turgay, 5 – Turkestan, 6 – Tamdy 7 – Chardzhou, 8 – Samarkand. *Legend:*  $\blacktriangle$  – annual (1-12 months);  $\blacklozenge$  – summer (6-8);  $\blacksquare$  – winter (1-2, 12);  $\bullet$  – spring (3-5);  $\blacklozenge$  – autumn (9-11).

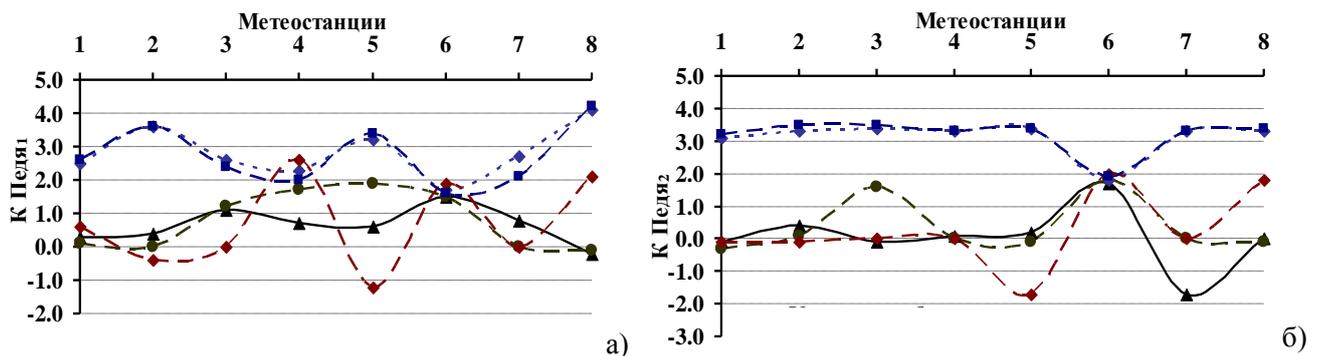
В тоже время распределения кривых индексов засушливости Педя ( $I_{\text{Педя 1}}$  и  $I_{\text{Педя 2}}$ ) для летнего и зимнего сезонов года находятся в противофазе (рис. 3а, б) друг к другу. Это характеризует разнонаправленные процессы в разные сезоны года, которые определяют будущее влажностно-температурного режима. Так, в летний и весенний сезоны года влажностно-температурный режим для половины метеостанций останется без изменений. Летом для метеостанций Иргиз, Тургай, Чарджоу и Чимбай индексы засушливости Педя чрезвычайно низкие ( $I_{\text{Педя 1}}=0.0, 0.0, 0.0, -0.7$  и  $I_{\text{Педя 2}}=0.0, 0.0, 0.0, 0.0$ ). В то время как для другой части метеостанций (Аральск, Тамды, Самарканд) в этом аридном регионе летом на фоне возрастания температур сильно увеличиться дефицит осадков и усилится формирование атмосферных засух ( $I_{\text{Педя 1}}=2.1, 1.8, 1.8$  и  $I_{\text{Педя 2}}=1.8, 2.1, 1.6$ ), поскольку индексы засушливости для них имеют значения, близкие к 2 и выше. И только для единственной станции Туркестан летом возможно будет ожидать некоторое понижение температур при повышении увлажнения ( $I_{\text{Педя 1}}=-2.3$  и  $I_{\text{Педя 2}}=-1.7$ ). Весной, так же, как и летом для половины метеостанций (Аральск, Чимбай, Иргиз, Тургай), находящихся в северной части исследуемого региона, не будут заметны изменения во влажностно-температурном режиме по сравнению с современными

( $I_{\text{Педа}1} = 0.3, -0.1, 0.0, -0.1$  и  $I_{\text{Педа}2} = -0.1, 0.0, 0.0, 0.0$ ). Для остальных метеостанций (Туркестан, Тамды, Чарджоу, Самарканд) заметно усилится дефицит осадков на фоне повышения температуры ( $I_{\text{Педа}1} = 1.1, 1.8, 1.6, 2.0$  и  $I_{\text{Педа}2} = 1.9, 1.9, 1.8$ ). Похожая на летнюю ситуация с изменением увлажнения наблюдается также для осени. Для половины метеостанций (Чимбай, Туркестан, Самарканд) изменений в увлажнении осенью или не произойдет вовсе ( $I_{\text{Педа}1} = -0.3, 0.5, -0.2$  и  $I_{\text{Педа}2} = -0.3, -0.2, -0.1$ ) или возможно очень слабое повышение увлажнения. И только для одной метеостанции – Чарджоу осенью будет заметно ощущаться понижение температур на фоне повышения увлажнения ( $I_{\text{Педа}1} = -1.3$  и  $I_{\text{Педа}2} = -1.7$ ). Для другой половины метеостанций (Аральск, Иргиз, Тургай, Тамды) на фоне повышения температур будет сокращаться увлажнение и усилится засуха ( $I_{\text{Педа}1} = 1.2, 1.2, 2.0, 1.6$  и  $I_{\text{Педа}2} = 1.4, 1.8, 1.9$ ).

Таким образом, основной тенденцией в сезонном изменении влажностно-температурного режима в регионе Приаралья и сопредельных территорий Средней Азии будет повышение аридизации в вегетационный период и, особенно весной, что существенно ухудшит и без того сложные условия выращивания сельскохозяйственных культур в этом аридном регионе.

В тоже время зима здесь характеризуется существенным повышением температур и увеличением осадков. Так, в среднем для всех 8-и станций по двум холодным полугодиям (основному и альтернативному) индексы засушливости Педа 1 и Педа 2 чрезвычайно высоки:  $I_{\text{Педа}1} = 2.8$  (от 1.6 до 4.2), а  $I_{\text{Педа}2} = 3.2$  (от 1.8 до 3.5).

Таким образом, существующая в настоящее время тенденция повышения температуры на фоне увеличения увлажнения зимой в этом регионе в будущем будет только усиливаться. Две разнонаправленные тенденции в холодные и теплые периоды объясняют слабую изменчивость индекса засушливости Д.А. Педа в общем годовом цикле (рис. 4а, б).



**Рис. 4.** Распределение индексов засушливости Педа 1 (а) и Педа 2 (б) за теплые и холодные полугодия, а также общий годовой период по метеостанциям региона Приаралья и сопредельных территорий. Условные обозначения:  $\blacktriangle$  – годовой (1-12 месяцев);  $\bullet$  – за теплое полугодие (4-9 месяцев);  $\circ$  – за холодное полугодие (1-3, 10-12 месяцев);  $\blacklozenge$  – за теплое полугодие (5-10 месяцев);  $\blacksquare$  – за холодное полугодие (1-4, 11-12 месяцев). **Fig. 4.** Distribution of the aridity index Pedy 1 (a) and Pedy 2 (b) of the warm and cold half-year, as well as the total annual period at weather stations Aral Sea region and adjacent territories. Legend:  $\blacktriangle$  – the annual (1-12 months);  $\bullet$  – the warmer half of the year (4-9 months);  $\circ$  – cold half of the year (1-3, 10-12 months);  $\blacklozenge$  – the warmer half of the year (5-10 months);  $\blacksquare$  – cold half of the year (1-4, 11-12 months).

Как видно из рисунка 3а, годовой индекс засушливости Д.А. Педа 1 ( $I_{\text{Педа}1}$ ), рассчитанный по отношению к базовому периоду (1961-1990 гг.), для большей части метеостанций (для 6-и: Аральск, Чимбай, Тургай, Туркестан, Чарджоу, Самарканд) изменяется очень слабо. Для двух других станций (Иргиз и Тамды) эти изменения в годовой период также не очень высоки ( $I_{\text{Педа}1} = 1.1, 1.5$ ). Таким образом, в общем годовом цикле региона Приаралья и сопредельных территорий Средней Азии не отмечается существенных изменений во влажностно-температурном режиме. Несмотря на годовое увеличение выпадения суммарных атмосферных осадков, регион также, как и раньше будет развиваться в аридных условиях с общим дефицитом увлажнения.

Однако, если рассматривать изменения индекса засушливости Д.А. Педея по сравнению со всем периодом инструментальных наблюдений ( $I_{\text{Педея}2}$ ), то окажется, что заметные изменения проявятся только лишь для двух станций (Тамды –  $I_{\text{Педея}2}=1.7$  и Чарджоу –  $I_{\text{Педея}2}=-1.7$ ). Значения индекса засушливости Д.А. Педея 2 ( $I_{\text{Педея}2}$ ) для одной из станций (Тамды) характеризуют усиление засушливости при повышении температур почти до критического уровня засух, при которых индекс Д.А. Педея 2 должен быть равен или больше 2. На другой станции (Чарджоу) наоборот, ожидается понижение температур при увеличении увлажнения. На всей основной территории Приаралья совокупное изменение температурного режима и увлажнения территории в общем годовом цикле, практически, будут не заметны ( $I_{\text{Педея}2}$  от  $-0.1$  до  $0.4$ ).

Как видно из таблицы 7, несмотря на незначительные изменения индексов засушливости Д.А. Педея ( $I_{\text{Педея}1}$  и  $I_{\text{Педея}2}$ ) для всего годового цикла, существуют значительные внутригодовые изменения в перераспределении совокупного воздействия влагообеспеченности и термического режима в результате климатических флуктуаций для регионе Приаралья и сопредельных территорий Средней Азии.

**Таблица 7.** Значения индексов засушливости Д.А. Педея (1 и 2) по различным внутригодовым периодам для восьми метеостанций региона Приаралья и сопредельных территорий. **Table 7.** Values of Ped's drought indices (1 and 2) over the different intraannual periods for the eight meteorostations in the Aral Sea region and neighboring areas.

Период времени в месяцах	Индекс засушливости Педея 1 ( $I_{\text{Педея}1}$ )								Индекс засушливости Педея 2 ( $I_{\text{Педея}2}$ )							
	1. Аральск	2. Чимбай	3. Иргиз	4. Торгай	5. Туркестан	6. Тамды	7. Чарджоу	8. Самарканд	1. Аральск	2. Чимбай	3. Иргиз	4. Торгай	5. Туркестан	6. Тамды	7. Чарджоу	8. Самарканд
Годовое (1-12)	0.3	0.4	<b>1.1</b>	0.7	0.6	<b>1.5</b>	0.8	-0.2	-0.1	0.4	-0.1	0.1	0.2	<b>1.7</b>	<b>-1.7</b>	0.0
Тепл. пол. (4-9)	0.1	0.0	<b>1.2</b>	<b>1.7</b>	<b>1.9</b>	<b>1.5</b>	0.0	-0.1	-0.3	0.1	<b>1.6</b>	0.0	-0.1	<b>1.8</b>	0.0	-0.1
Холод. пол. (1-3; 10-12)	<b>2.5</b>	<b>3.6</b>	<b>2.6</b>	<b>2.3</b>	<b>3.2</b>	<b>1.7</b>	<b>2.7</b>	<b>4.1</b>	<b>3.1</b>	<b>3.3</b>	<b>3.4</b>	<b>3.3</b>	<b>3.4</b>	<b>1.8</b>	<b>3.3</b>	<b>3.3</b>
Тепл. пол. (5-10)	0.6	-0.4	0.0	<b>2.6</b>	<b>-1.2</b>	<b>1.9</b>	0.0	<b>2.1</b>	-0.1	-0.1	0.0	0.0	<b>-1.7</b>	<b>2.0</b>	0.0	<b>1.8</b>
Холод. пол. (1-4; 11-12)	<b>2.6</b>	<b>3.6</b>	<b>2.4</b>	<b>2.0</b>	<b>3.4</b>	<b>1.6</b>	<b>2.1</b>	<b>4.2</b>	<b>3.2</b>	<b>3.5</b>	<b>3.5</b>	<b>3.3</b>	<b>3.4</b>	<b>1.9</b>	<b>3.3</b>	<b>3.4</b>
Весна (3-5)	0.3	-0.1	0.0	-0.1	<b>1.1</b>	<b>1.8</b>	<b>1.6</b>	<b>2.0</b>	-0.1	0.0	0.0	0.0	0.2	<b>1.9</b>	<b>1.9</b>	<b>1.8</b>
Лето (6-8)	<b>2.1</b>	-0.7	0.0	0.0	<b>-2.3</b>	<b>1.8</b>	0.0	<b>1.8</b>	<b>1.8</b>	0.0	0.0	0.0	<b>-1.7</b>	<b>2.1</b>	0.0	<b>1.6</b>
Осень (9-11)	<b>1.2</b>	-0.3	<b>1.2</b>	<b>2.0</b>	0.5	<b>1.6</b>	<b>-1.3</b>	-0.2	0.0	-0.3	<b>1.4</b>	<b>1.8</b>	-0.2	<b>1.9</b>	<b>-1.7</b>	-0.1
Зима (1-2; 12)	<b>3.0</b>	<b>3.7</b>	<b>3.0</b>	0.5	<b>3.6</b>	0.0	<b>0.8</b>	<b>4.8</b>	<b>3.4</b>	<b>3.5</b>	<b>3.4</b>	<b>1.7</b>	<b>3.6</b>	0.0	<b>1.6</b>	<b>3.4</b>

Во все холодные полугодия (1-3, 10-12 и 1-4, 11-12) для всех метеостанций и в зимний сезон (1-2, 12) для 5-и метеостанций (табл. 7) характерны максимально высокие (от 1.6 до 4.8) значения индексов засушливости Д.А. Педея ( $I_{\text{Педея}1}$  и  $I_{\text{Педея}2}$ ). При этом сами значения индекса засушливости Д.А. Педея 2, который отражает совокупную динамику изменений влажностно-температурного режима за весь многолетний период наблюдений, несколько больше ( $I_{\text{Педея}2}=3.2$ ), чем для индекса Д.А. Педея 1 ( $I_{\text{Педея}1}=2.8$ ), который отражает таковые изменения по сравнению с базовым периодом (1961-1990 гг.). Таким образом, заметно, что тенденция климатических изменений в регионе Приаралья и сопредельных территорий Средней Азии стремится к значительно более теплому и влажному холодному периоду. Уже сейчас зимой для 5-и из 8-и метеостанций (Аральск, Чимбай, Иргиз, Туркестан и Самарканд) индекс Д.А. Педея 1 ( $I_{\text{Педея}1}$ ) лежит в пределах от 3 до 4.8, что означает чрезвычайно теплую и увлажненную (включая снег) зиму. При этом в дальнейшем следует ожидать таких же изменений для всех станций (за исключением Тамды) в сторону потепления и увеличения выпадения атмосферных осадков в зимний период ( $I_{\text{Педея}2}$  от 1.6 до 3.6 для 7-и станций).

Таким образом, для изучаемого региона выявлена еще одна основная тенденция климатических АРИДНЫЕ ЭКОСИСТЕМЫ, 2016, том 22, № 4 (69)

изменений, заключающаяся в увеличении увлажнения территории при повышении температурного режима в холодное полугодие и зимний сезон.

*Проявление климатических изменений в экосистемах.* Поскольку климат – один из основных факторов, формирующих экосистемы, претерпевает сегодня быстрые динамические сдвиги, то в экосистемном покрове исследуемого региона будут наблюдаться очень существенные изменения.

Таким образом, для наземных и водных экосистем региона Приаралья и сопредельных территорий в настоящее время и в будущем ожидается существенный недостаток увлажнения в вегетационный период, а также формирование засух весной, летом и осенью, при очень значительном повышении во все сезоны и полугодия средних, а также абсолютных минимальных и максимальных температур воздуха. Более существенное повышение температур воздуха в холодные полугодия будет способствовать меньшему промерзанию почв и большей их влагоудерживающей способности в холодный период. Это приведет к активизации почвенных процессов в зимний период, что ранее было менее выражено. Таким образом, процесс засоления и испарения в почвах будет происходить не только в теплое полугодие, но также и в холодный период. Это, наряду с антропогенной зарегулированностью стока и снижением частоты заливания верхних и средних уровней поймы приведет к полному высыханию, опустыниванию и засолению ранее незасоленных или слабозасоленных пойменных и дельтовых территорий, а также к ухудшению качества земель при орошении.

### Выводы

Таким образом, в ходе проведенных исследований, для региона Приаралья и сопредельных территорий Средней Азии были установлены некоторые основные тенденции климатических изменений, а также оценена величина этих изменений как для отдельных климатических характеристик (осадков, средней, минимальной, и максимальной температуры воздуха), так и для их совокупного воздействия.

1. Для региона Приаралья и сопредельных территорий в многолетней динамике сумм атмосферных осадков, средних, абсолютных максимальных и минимальных температур воздуха установлены некоторые общие закономерности их изменений.

- Основной тенденцией в многолетнем изменении сумм атмосферных осадков является их значимое повышение в годовом цикле в основном за счет холодного полугодия и зимнего сезона и, отчасти за счет теплого полугодия, что связано с их сезонным повышением зимой и осенью.
- В изменении средних температур воздуха основной тенденцией является повышение среднегодовых температур воздуха за счет повышения их как в холодное, так и в теплое полугодия. При этом повышение средних температур в холодное и теплое полугодия отличаются незначительно: чуть повыше оно в холодные периоды (на 10-20%). Такое положение определяется тем, что основная доля в повышении средних температур воздуха в сезонном распределении приходится на весну и осень.
- В многолетней динамике абсолютных минимальных температур воздуха основной тенденцией является повышение их в холодное полугодие и зимой, а также значимое безусловное повышение их осенью и весной. В среднем для региона Приаралья и сопредельных территорий заморозки в теплое полугодие снизились на 3.5°C, в то время как самые сильные морозы ослабли на 4.2°C. Таким образом, установлено ослабление как весенних заморозков, так и зимних морозов, что, наряду с повышением среднегодовых температур воздуха, может улучшить условия сельскохозяйственного производства.
- Наименьшие изменения произошли в многолетней динамике абсолютных максимальных температур воздуха. Отмечается безусловное повышение их осенью, летом и в теплые полугодия, а также частично в холодные полугодия. По частоте встречаемости повышение максимальных температур выше в теплые периоды, а по амплитуде изменений более значительны (на 1-1.5°C) сдвиги в холодные периоды.

2. На основе анализа индексов засушливости Д.А. Педя для региона Приаралья и сопредельных территорий Средней Азии были установлены определенные тенденции совокупного изменения влажностно-температурного режима. В целом они слабо проявляются для общего годового цикла, но значительны во внутригодовом распределении. Основная тенденция совокупных климатических изменений в регионе Приаралья и сопредельных территорий в настоящем и будущем – это

значительно более теплые и влажные зима и холодное полугодие. Второй особенностью совокупных климатических изменений для данного региона является очень сильное увеличение аридизации в основной период вегетации – весенне-летне-осенний и, особенно весной, что существенно ухудшит и без того сложные условия выращивания сельскохозяйственных культур в этом аридном регионе.

3. Анализ относительных коэффициентов изменений (ОКИ) многолетних метеорологических характеристик в регионе Приаралья и сопредельных территорий Средней Азии показал, что для большей части установленных достоверных трендов (в 66% случаев для осадков, в 88% случаев для абсолютной минимальной и в 79% случаев для абсолютной максимальной температуры воздуха) изменения уже лежат в пределах от 15% до 30%. При этом в 45% случаев для средней температуры воздуха значения относительного коэффициента изменений, лежат в интервале от 30 до 50%, а 12% составляют значения ОКИ более 50% (51-66%). Таким образом, по величине значений изменения для всех анализируемых климатических характеристик очень существенны, особенно они велики для средних температур воздуха.

4. Выявленные тренды климатических изменений наряду с антропогенными воздействиями негативно отразятся на естественной и культурной растительности региона Приаралья и сопредельных территорий Средней Азии. Поддержание сельскохозяйственного производства в регионе потребует увеличения мелиоративного обводнения, поскольку будут формироваться больше засух в весенний, летний и осенний сезоны года. Изменения климата без дополнительных усилий по обводнению сельскохозяйственных, пойменных и дельтовых территорий приведет к нарушению естественной модели динамики растительности. Будут формироваться более пустынные ксерофитные, экстроксерофитные и экстроголофитные фитоценозы, в то время как мезофитные, ксеромезофитные, пойменные и дельтовые на прежде слабо и средnezасоленных почвах подвергнутся полной необратимой редукции и опустыниванию.

5. Климатические изменения в регионе Приаралья и сопредельных территориях Средней Азии имеют как общие, так и отличительные черты с таковыми для Центральной и Южной частей Европейской части России. Так, например, повышение увлажнения и температур воздуха как в годовом цикле, так и по отдельным сезонам года отмечается для всех территорий. Для всех регионов отмечается безусловное потепление в холодное полугодие и зимний период, которое сопровождается увеличением выпадения атмосферных осадков. Для всех регионов повышение максимальных температур воздуха наименьшее по частоте встречаемости. А повышение средних и минимальных температур воздуха достигло средних значений, составляющих от 30 до 50% от возможных. В тоже время, при оценке совокупного влияния изменений осадков и температуры воздуха выявляются существенные отличия. Если для Центральной части Европейской России – это преимущественно гумидный вариант потепления, то для Южной части России и Приаралья – это аридный вариант потепления (Кузьмина и др., 2013, Кузьмина, Трешкин, 2009, 2014).

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Второй оценочный доклад Росгидромета об изменениях климата и их последствиях на территории Российской Федерации. Техническое резюме. М.: Федеральная служба по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды (Росгидромет), 2014. 93 с.
- Кузьмина Ж.В. 2007. Анализ многолетних метеорологических трендов на Юге России и Украины (от лесостепи до пустынь) // Аридные экосистемы. Т. 13. № 32. С. 53-67.
- Кузьмина Ж.В., Каримова Т.Ю., Трешкин С.Е., Феодоритов В.М. 2011. Влияние климатических изменений и зарегулирования речного стока на динамику растительности долин рек // Использование и охрана природных ресурсов в России. № 2 (116). С. 34-40.
- Кузьмина Ж.В., Трешкин С.Е. 2009. Изменения основных метеорологических характеристик на юге Европейской части России // Глобальные изменения климата и прогноз рисков в сельском хозяйстве / Ред. А.Л. Иванов, В.И. Кирюшин. М.: Россельхозакадемия. С. 402-416.
- Кузьмина Ж.В., Трешкин С.Е. Тугай и возможности их восстановления в современный период // Аридные экосистемы. 2012. № 3 (52). С. 44-59.
- Кузьмина Ж.В., Трешкин С.Е. 2014. Климатические изменения в бассейне Нижней Волги и их влияние на состояние экосистем // Аридные экосистемы. Т. 20. № 3 (60). С. 14-32.
- Кузьмина Ж.В., Трешкин С.Е., Каримова Т.Ю. 2013. Воздействие основных тенденций совокупного влияния климатических и гидрологических изменений на сукцессионную динамику растительности в мелиоративно трансформируемых экосистемах зоны южной тайги // Материалы Международной практической

- конференции «Современные проблемы использования мелиорированных земель и повышения их плодородия», г. Тверь, 27-28 июня 2013 г. Тверь. С. 246-252.
- Оценочный доклад об изменениях климата и их последствиях на территории Российской Федерации. 2008. Техническое резюме. М.: Федеральная служба по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды (Росгидромет). 89 с.
- Педь Д.А. 1975. О показателях засухи и избыточного увлажнения // Труды Гидрометцентра СССР. Вып. 156. С. 19-39.
- Переведенцев Ю.П., Исмагилов Н.В., Шерстюков Б.Г., Наумов Э.П., Шанталинский К.М., Гоголь Ф.В. 2008. Современные изменения климата республики Татарстан // Вестник ВГУ. Серия: География, Геоэкология. № 2. С. 13-23.
- Kuzmina Zh.V., Treshkin S.Ye. Phytomelioration of Solonchaks in the Uzbekistan Pre-Aral Region Under Recent Climate Change//Aralkum a Man-Made Desert. The Desiccated Floor of the Aral Sea (Central Asia)/Eds. S-W. Breckle et al. Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 2012. Pp. 407-429.
- Climate Change. 2013. The Physical Science Basis // Working Group I Contribution to the fifth Assessment report of the intergovernmental panel on climate change / Edited by Thomas F. Stocker, Dahe Qin, Gian-Kasper Plattner, Melinda M.B. Tignor, Simon K. Allen, Judith Boschung, Alexander Nauels, Yu Xia, Vincent Bex, Pauline M. Midgley. Cambridge University Press, 32 Avenue of the Americas, New York, NY 10013-2473, USA. 1535 p. /http://www.climatechange2013.org.

## CLIMATE CHANGE IN THE ARAL SEA REGION AND CENTRAL ASIA

© 2016. Zh.V. Kuzmina\*, S.E. Treshkin\*\*

*\*Institute of Water Problems Russian Academy of Sciences*

*Russia, 119333 Moscow, Gubkina str., 3. E-mail: jannaKV@yandex.ru*

*\*\*Federal Agency for Scientific Organizations*

*Russia, 119334 Moscow, Leninskiy prospekt, 32a. E-mail: biost@yandex.ru*

The long-term annual, semiannual, and seasonal dynamics of the main meteorological ecosystem characteristics (total atmospheric precipitation and average, maximum, and minimum air temperature) are analyzed for the Aral Sea region and central Asia by their trends for a long-term period of 70–125 years until 2014 with the use of the diurnal records from eight meteorological stations of the WMO (the Aral Sea, Chimbai, Tamdy, Torgai, Irgiz, Samarkand, Turkestan, Chardzhou). Based on an analysis of the combined humidity-temperature regime for the long-term period, the main trends of climate changes are established, the share of variations in each meteorological characteristic is estimated by the proposed relative coefficient of variations in meteorological characteristics (RCV), and the impact of the climate changes on the ecosystems is studied.

*Keywords:* air temperature, total atmospheric precipitation, relative coefficient of variations in main meteorological characteristics (RCV), Ped's drought index 1, Ped's modified drought index 2, climate changes.