

УДК 551.579

**АНАЛИЗ ПОВТОРЯЕМОСТИ ПОЧВЕННОЙ ЗАСУХИ НА ОСНОВЕ ИНДЕКСА ПАЛМЕРА**

Р.М. Илякова  
Канд. геогр. наук С.А. Долгих

*В настоящем исследовании для определения начала засухи и оценки ее интенсивности на территории Казахстана впервые используется метеорологический индекс Палмера (PDSI - Palmer Drought Severity Index).*

Засуха - это сложное метеорологическое явление, которое возникает при длительном отсутствии осадков, в сочетании с повышенной температурой и высокой испаряемостью. В результате чего иссекаются запасы влаги в воздухе и почве и создаются неблагоприятные условия для нормального развития растений. Наиболее распространенными определениями засухи являются: метеорологическая (или атмосферная), гидрологическая и сельскохозяйственная (почвенная). При дефиците осадков и повышенных температурах воздуха в вегетационный период отмечается метеорологическая засуха, по соотношению испарения или испаряемости и дефициту влажности почвы выделяется почвенная засуха, по уменьшению стока в реках – гидрологическая. Социально-экономические последствия засухи могут явиться результатом взаимодействия естественных условий и человеческих факторов, таких как изменения в землепользовании и растительном покрове, а также потребности в воде и использовании воды, так как чрезмерные заборы воды могут усугубить воздействие засухи [3, 5, 6, 8].

Сельскохозяйственная (почвенная) засуха представляет основную опасность, связанную с нанесением значительного ущерба сельскому и лесному хозяйствам, а также смежным отраслям экономики. В экстремальных случаях засухи могут привести к гибели животных и даже людей.

Своевременное выявление по четким критериям начала засухи, ее развитие и охвата территорий способствует принятию наиболее целесообразных в сложившихся условиях управленческих и хозяйственных решений, направленных на снижение ущерба от этого стихийного явления и сведение его к минимуму [2].

Явление засухи можно охарактеризовать тремя признаками, такими как **продолжительность, степень суровости и масштаб**. Анализ частоты засух с учетом продолжительности, суровости и масштаба сложен, поскольку каждая из этих характеристик может обладать собственным распределением вероятностей.

Для традиционных определений засухи и ее параметров используют такие метеорологические данные, как количество осадков, температура поверхности почвы и воздуха, влажность почвы и воздуха и др. Для разных природных условий предложены разнообразные индексы, позволяющие проводить мониторинг засухи. Одного индекса, универсального, пригодного для всех обстоятельств, не существует. Перечень используемых в США индексов для определения засухи представлен в работе Michael J. Hayes (National Drought Mitigation Center) [4].

Одним из выведенных показателей засухи является показатель степени «суровости» засухи Палмера (PDSI), разработанный в 1960 г. Это эмпирический безразмерный метеорологический показатель, базируемый на количестве осадков и температуре воздуха. Индекс Палмера наиболее популярен в США и используется для определения наступления засухи и выявления степени ее суровости. Этот индекс определяет метеорологическую почвенную засуху. Он основан на концепции «запас-расход» влаги уравнения водного баланса, учитывающего точный дефицит осадков и специфику местоположения. Индекс калиброван для однородных участков, поэтому он может хорошо работать на больших участках с одинаковой топографией.

Так как засуха может быть охарактеризована сравнением между текущими осадками и нормой осадков, определенной за длительный период времени в конкретном месте, Палмер предложил метод определения засухи, положив в основу период, в течение которого содержание почвенной влаги остается ниже нормы, формируя условия для метеорологической засухи. Кроме того, Палмер разработал PDSI таким образом, чтобы учитывать продолжительность засухи (или влажного периода). Мотивацией было следующее: аномально влажные месяцы в середине долгопериодной засухи не должны иметь большого воздействия на индекс, или ряд месяцев с осадками около нормы после сильной засухи не означают, что засуха закончится. Поэтому Палмер разработал критерии для определения начала и окончания засухи (или влажного периода), которые корректируют значения PDSI соответствующим образом.

PDSI является метеорологическим индексом засухи, реагирующим на аномально сухие или аномально влажные погодные условия. Когда условия меняются от сухих к нормальным, или влажным, то засуха, измеренная индексом Палмера, заканчивается. Речной сток, уровень водохранилищ и другие длительные гидрологические воздействия во внимание не принимаются [7].

В данной работе для расчета месячных значений PDSI использовались среднемесячные данные по температуре воздуха, месячным суммам осадков, нормы температуры воздуха, и данные о наименьшей полевой влагоемкости (НПВ). Наименьшая (полевая) влагоемкость - это максимальное количество капиллярно-подвешенной воды, которое может удерживать почва менисковыми или капиллярными силами после стекания всей гравитационной воды. Влагоёмкость зависит от гранулометрического состава почвы, от строения почвы, от количества гумуса, солонцеватости, засоленности почвы. Ее выражают в весовых, объемных процентах, м<sup>3</sup> на га, мм. Исходя из этих данных, могут быть определены основные уравнения водного баланса, включая эвапотранспирацию, пополнение почвы влагой, поверхностный сток и потерю влажности через поверхность почвы. Влияние людей на водный баланс, например за счет орошения, не рассматривается. Индекс Палмера плохо подходит для горных районов или областей, где высока повторяемость климатических экстремумов.

Программа и руководство пользователя для расчета индекса была предоставлена Национальным центром климатических данных (США). Программа написана на языке программирования C++ и предусматривает самокалибровку, основываясь на характеристиках климата в конкретной точке.

В данной работе PDSI рассчитывался за период 1971...2009 гг. по 27 станциям Северо-Казахстанской, Акмолинской, Костанайской и Павлодарской областей (табл. 1), где расположены основные площади посевов зерновых культур (в основном, яровой пшеницы).

Таблица 1

Список метеорологических станций, использованных для расчета индекса засухи Палмера за период 1971...2009 гг.

№№ пп	Метеостанция	№№ пп	Метеостанция
<b>Северо-Казахстанская область</b>		<b>Костанайская область</b>	
1.	Благовещенка	15.	Аршалинск
2.	Булаево	16.	Жетыгора
3.	Возвышенка	17.	Карасу

№№ пп	Метеостанция	№№ пп	Метеостанция
4.	Таинши	18.	Комсомолец
5.	Чкалово	19.	Михайловка
6.	Сергеевка	20.	Пресногорьковка
7.	Саумалколь	21.	Тобол
8.	Рузаевка	22.	Урицкий
9.	Тимирязево	23.	Железнодорожный
<b>Акмолинская область</b>		<b>Павлодарская область</b>	
10.	Атбасар	24.	Федоровское
11.	Балкашино	25.	Голубовка
12.	Жалтыр	26.	Успенка
13.	Щучинск	27.	Щербакты
14.	Есиль		

Классы периодов с различным увлажнением, выделенные с использованием значений индекса Палмера от минус 4 (экстремально сухой) до плюс 4 (экстремально влажной), табл. 2.

Особый интерес представляют случаи, когда значения PDSI указывают на умеренную, сильную и экстремальную засухи, т.е. засухи, способные нанести ущерб сельскому хозяйству.

Таблица 2

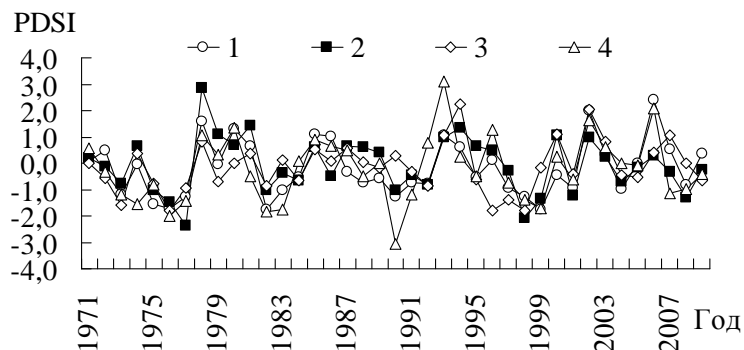
Классификация условий увлажнения по значениям индекса Палмера

Значение	Характеристика периода
от 4 и более	экстремально влажный
от 3 до 3,99	очень влажный
от 2 до 2,99	умеренно влажный
от 1 до 1,99	слабо влажный
от 0,5 до 0,99	возникающий влажный период
от 0,49 до - 0,49	около нормы
от - 0,5 до - 0,99	возникающий сухой период
от - 1,0 до - 1,99	слабо сухой (слабая засуха)
от - 2,0 до - 2,99	умеренно сухой (умеренная засуха)
от - 3,0 до - 3,99	очень сухой (сильная засуха)
от - 4,0 или менее	экстремально сухой (экстремальная засуха)

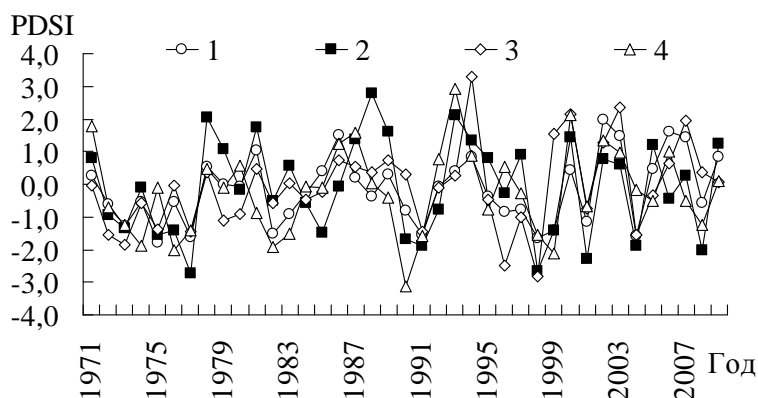
На рис. 1 представлен график значений индекса Палмера для теплого периода (апрель - сентябрь) для четырех областей Северного Казахстана, что позволяет отследить изменение условий увлажнения в течение всего вегетационного периода. По месячным значениям индекса Палмера можно проследить, как засуха постепенно переходит от умеренной (индекс менее минус 2) к экстремальной (индекс менее минус 4). Так, напри-

мер, в Северо-Казахстанской области в этот период слабая засуха переходит в умеренную, а затем в сильную (1975 г.), в Акмолинской и Павлодарской областях умеренная засуха в апреле - мае 1998 г. переходит в июне – сентябре в сильную и экстремальную, а в Костанайской области слабая засуха в июне (1995 г.) переходит в июле в экстремальную.

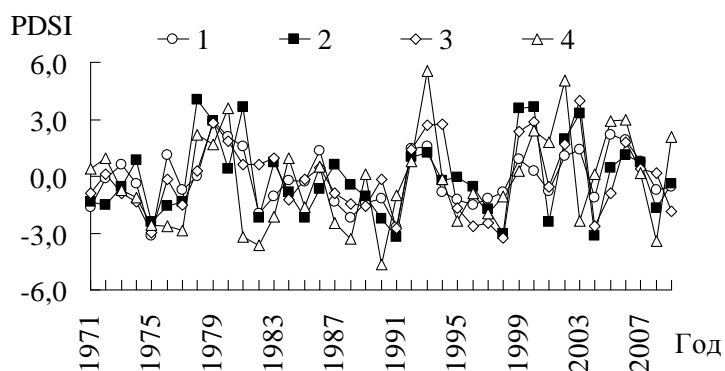
*a*



*б*



*в*



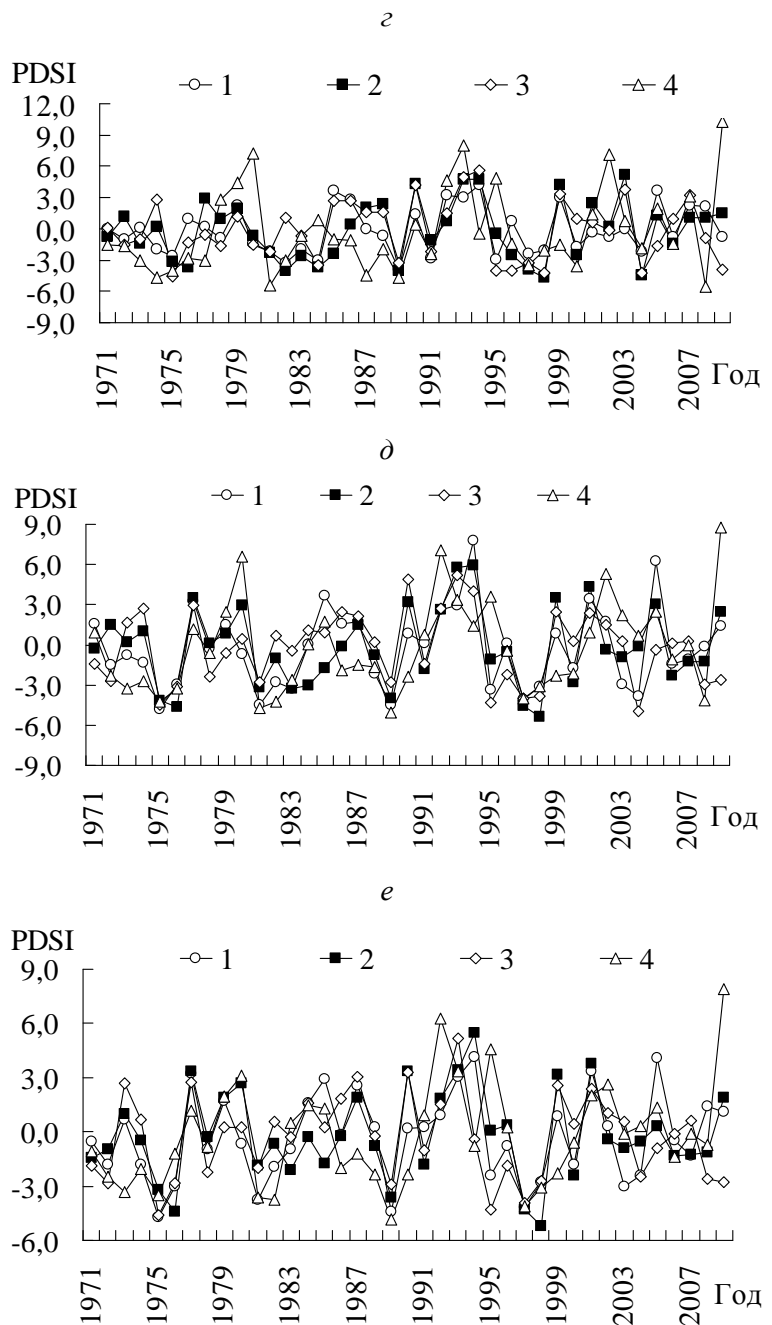


Рис. 1. Временной ход значений индекса Палмера, осредненных по областям Северного Казахстана за период 1971...2009 гг. а – апрель; б – май; в – июнь; г – июль; д – август; е – сентябрь. 1 – Северо-Казахстанская; 2 – Акмолинская; 3 – Костанайская; 4 – Павлодарская области.

Распределение повторяемости засух по интенсивности от умеренной (от минус 2 до 2,99) до сильной (от минус 3 до 3,99) и экстремальной (от минус 4 или менее) хорошо прослеживается в табл. 3. Наиболее часто происходят сильные и экстремальные засухи в Северо-Казахстанской, Акмолинской и Костанайской областях с июня по сентябрь, тогда как в Павлодарской области такие засухи встречаются и в более ранние месяцы вегетационного периода (апрель, май).

Таблица 3

Месяцы с засухой различной интенсивности, выявленные по значению PDSI на территории основных зерносеющих областей Казахстана в период с апреля по май 1971...2009 гг.

Год	Северо-Казахстанская			Акмолинская			Костанайская			Павлодарская		
	<-2	<-3	<-4	<-2	<-3	<-4	<-2	<-3	<-4	<-2	<-3	<-4
1972							8,9			8,9		
1973										7...9		
1974										8,9		7
1975	7	6	8,9	6	7,9	8		6	7...9	6	9	7...3
1976		8,9			7	8,9	9	8		4...7	8	
1977				4,5						6	7	
1978							8,9					
1981	7	9	8	7	8		7...9				6,9	7,8
1982	8	7		6		7					6,7,9	8
1983	7	8		7,9	8					6,8		
1984		7			7,8			7				
1985				6,7								
1986										9		
1987										6		7
1988										7,9	6	
1989		7	8,9		9	7,8	8,9	7				7...9
1990				6								
1991	6,7				6		6,7			8,9	4,5	6
1992										7		
1995	7,9	8							7...9	6		
1996				7			5,6,8		7			
1997	7		8,9		7	8,9	6	7,9	8			
1998	7,9	8		4,5	6	7...9	5,9	6,8	7	7	8...9	
1999										5,8,9	7	
2000				7...9								
2001				5,6								
2003	8	9								6		
2004	8	8			6	7	6,10		7,8			
2006				8								
2008				5			8,9				6...8	
2009							8,9	7				

Примечание: < -2 – умеренная засуха; < -3 – сильная засуха; < -4 – экстремальная засуха.

В процессе исследований [1] была создана база среднеобластной урожайности яровой пшеницы за период 1966...2010 гг., по результатам которой были установлены годы с сильными и средними засухами (табл. 4). Для сравнения характеристик засух установленных по урожайности с рассчитанными значениями PDSI были выбраны наиболее показательные 5 лет (1975, 1984, 1991, 1995, 1998 гг.). Это годы, когда засуха устанавливалась на преобладающей зерносеющей территории республики. Сравнивались три градации: слабая засуха «●» (от минус 1 до минус 1,99), умеренная засуха «\*» (от минус 2 до минус 2,99), сильная «\*\*» (от минус 3 до минус 3,99). Сравнение показало, что почти во все рассмотренные годы по значениям индекса PDSI интенсивность засухи немного ниже, чем установленная по урожайности. Для того, чтобы выяснить причину этого несоответствия, были построены графики децилей температуры и осадков, а также значений PDSI за эти годы для исследуемых областей. При этом учитывались количество осадков и температура воздуха не только за вегетационный, но и за холодный период, начиная с ноября предшествующего года (рис. 2).

Таблица 4

Засуха и ее интенсивность, определенные по значениям PDSI за период май – июль 1971...2009 гг. и по урожайности зерновых по основным зерносеющим областям Казахстана

Год	Северо-Казахстанская		Акмолинская		Костанайская		Павлодарская	
	засуха по		засуха по		засуха по		засуха по	
	PDSI	урожайности	PDSI	урожайности	PDSI	урожайности	PDSI	урожайности
1975	*	**	*	*	*	**	*	*
1984	●	*	●	**	●	**		
1991	*	*	*	*	*	**	●	*
1995	●	*		*	*	**		*
1998	●	*	**	**	**	**	●	*

Примечание: ● - слабая засуха, \* - умеренная засуха, \*\* - сильная засуха.

Рассмотрим Северо-Казахстанскую область. В 1975 г. осредненное по области значение PDSI показало умеренную засуху (\*), тогда как по урожайности в этом году была установлена сильная засуха (\*\*) (табл. 4). Если принимать во внимание PDSI отдельно за каждый месяц, то значение индекса определяет слабую засуху с апреля по май, но с июня по сентябрь



засуха переходит в сильную и даже экстремальную (значение температуры около 5-го дециля, а количество осадков не превышает 1-й дециль). Такая же картина наблюдалась и в 1984, 1995, 1998 гг., за исключением 1991 года, когда значение PDSI и установленная засуха указывали на умеренную. Примерно также развивались условия увлажнения и в других областях. Значения PDSI могут указывать на слабую засуху, когда значения температуры были близки к 10-му децилю, а количества осадков было меньше 1-го дециля. Это можно объяснить тем, что предыдущие месяцы были достаточно влажные, и за счет накопленных влагозапасов засуха в последующие месяцы была более мягкой (рис. 2).

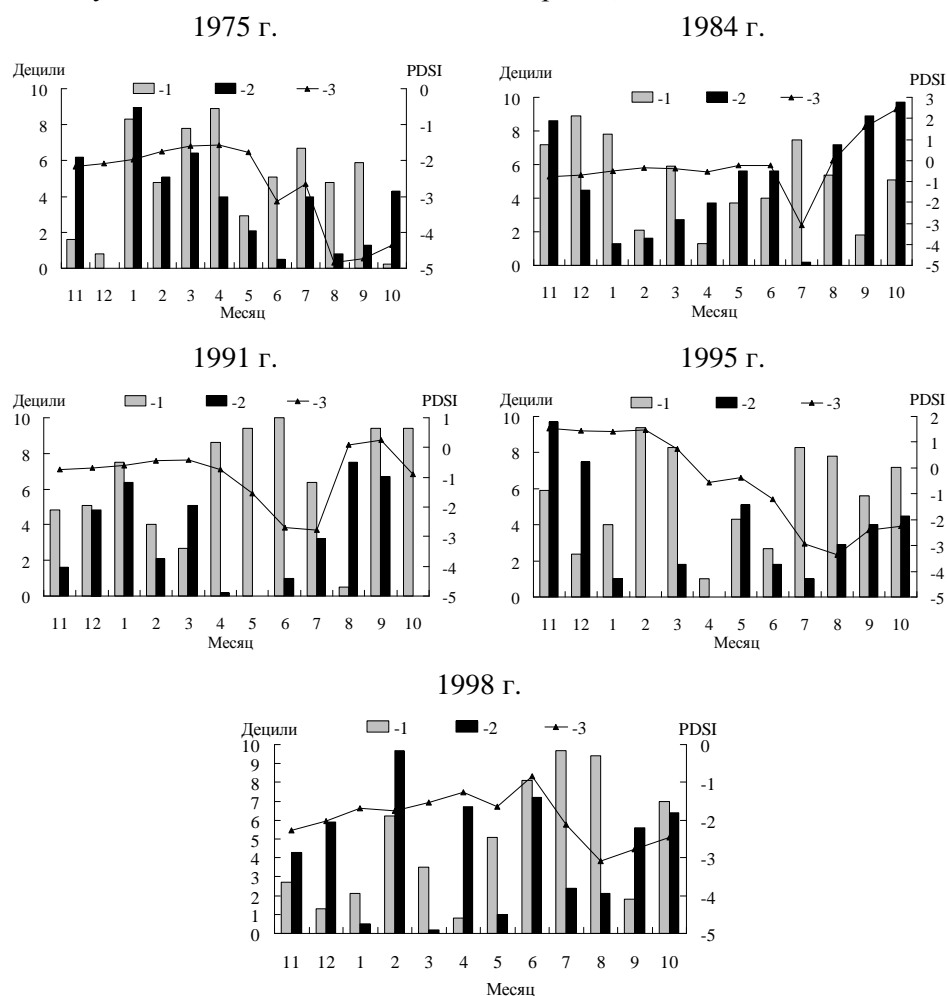


Рис. 2. Месячные значения PDSI (3), температуры воздуха, в децилях (1) и количества осадков, в децилях (2), осредненные по Северо-Казахстанской области в годы с засухой.

Далее выполнено сравнение осредненных по четырем областям Казахстана значений PDSI, температуры воздуха и количества осадков, выраженных в децилях, за период май – июль 1975, 1984, 1991, 1995, 1998 гг. (рис. 3).

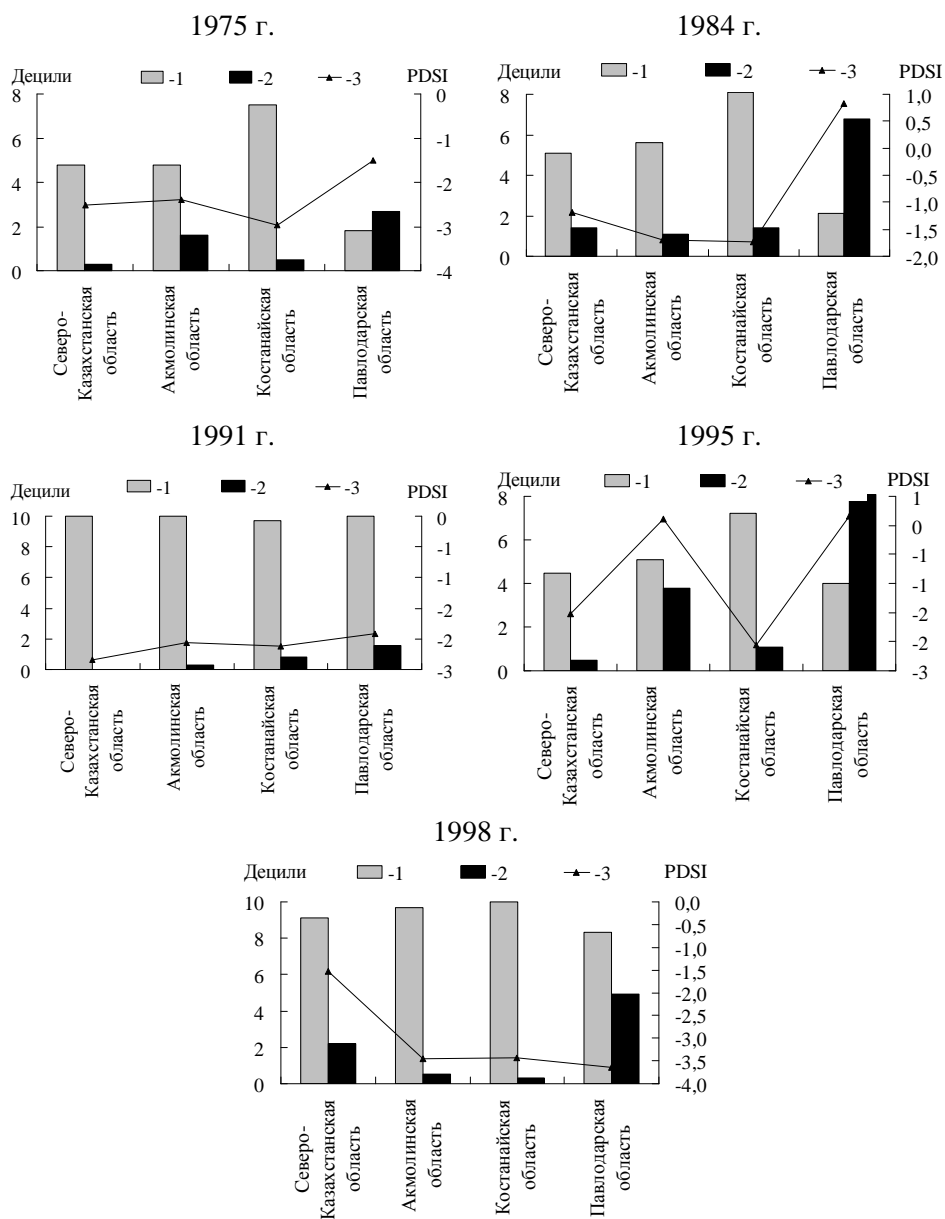


Рис. 3. Значения температуры воздуха, в децилях (1), количество осадков, в децилях (2) и PDSI (3), осредненные по северным областям Казахстана за период май – июль.

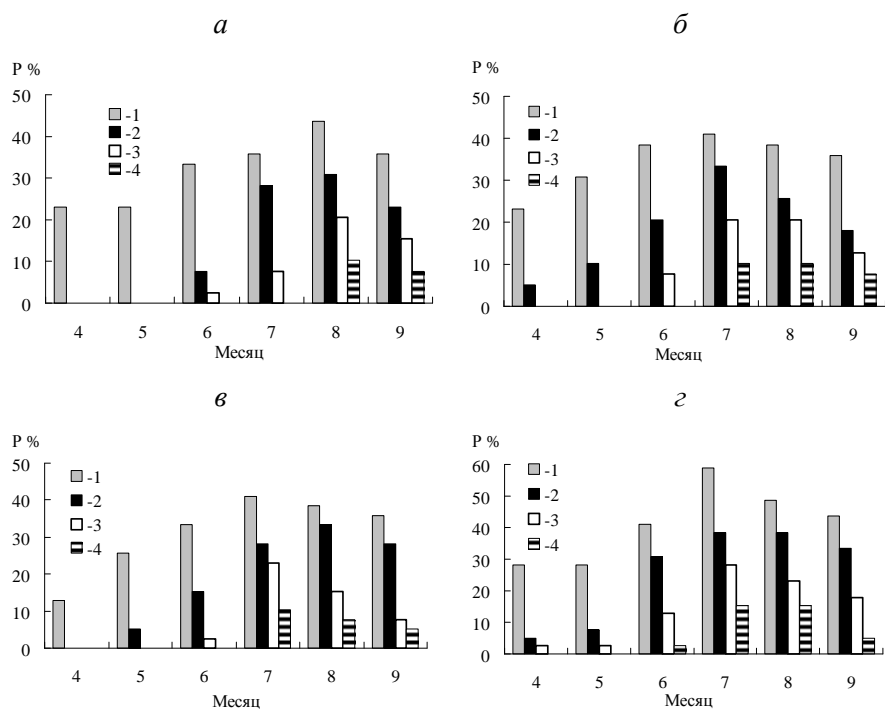
В 1975 г. в Костанайской области наблюдалась сильная засуха (PDSI равен минус 3, температура на уровне 7-го дециля и количество осадков ниже 1-го дециля). В 1984 г. наблюдалась слабая засуха в Северо-Казахстанской, Акмолинской и Костанайской области: PDSI – от минус 1,2 до минус 1,7, температура и количество осадков ниже 1-го дециля. В 1991 году умеренная засуха наблюдалась в Павлодарской области, и слабая в остальных трех областях: значения PDSI от минус 1,9 до минус 2,3. В 1995 году выделяется Костанайская область, где PDSI (минус 2,1) определяет засуху как слабую. Температура в этой области выше 7-го дециля, а количество осадков на уровне 1-го дециля. Сильные засухи (PDSI колеблется от минус 3,4 до минус 3,6) наблюдались в 1998 году сразу в трех областях Казахстана – Акмолинской, Костанайской и Павлодарской. Значения температуры в этот год составляли от 8-го до 1-го дециля, тогда как значения количества осадков не превышали 4-й дециль. Также можно заметить, что наиболее влажным был для Павлодарской области 1984 год, а для Акмолинской и Павлодарской - 1995 год. Таким образом, можно сделать вывод, что отрицательные значения индекса PDSI, температуры воздуха близкие к 10 децилю, а также количество осадков, не превышающих 1-й дециль, определяют сильные и экстремальные засухи.

Далее, используя полученные значения PDSI, выполнен анализ повторяемости засух различной интенсивности в период с апреля по сентябрь 1971...2009 гг. (рис. 4). Повторяемость умеренных засух с мая по июль в рассматриваемых областях колеблется от 8 до 38 %, сильных от 3 до 28 % и экстремальных - от 3 до 15 %. Установлено, что в период с 1971 по 2009 гг. наиболее подвержены опасным засухам Акмолинская, Костанайская и Павлодарская области. Сильная засуха в этих областях устанавливается 1 раз в 4...5 лет, а экстремальная - 1 раз в 7...10 лет (табл. 5).

Выполнен корреляционный анализ временного хода значений PDSI и урожайности для Северо-Казахстанской, Акмолинской, Костанайской и Павлодарской областей (рис. 5).

Полученные коэффициенты корреляции являются значимыми и значительно превышают критический при 5 % уровне значимости для данной длины ряда. Они составляют для Северо-Казахстанской области - 0,69, Акмолинской - 0,47, Костанайской – 0,60, Павлодарской – 0,58. То есть в большинстве случаев при значениях индекса, определяющих период как влажный, наблюдается более высокая урожайность яровой пшеницы и, наоборот, при значениях индекса, определяющих период как за-

сушливый, происходит снижение урожайности. Например, по Костанайской области индекс Палмера определяет 1999 год, как умеренно влажный, урожай в этот год был сравнительно высоким и составлял 15,1 ц/га.



*Рис. 4. Повторяемость засух различной интенсивности за период апрель – сентябрь 1971...2009 гг., определенной по классификации значений PDSI. а - Северо-Казахстанская область, б – Акмолинская область; в - Костанайская область; г – Павлодарская область. 1 – слабая, 2 – умеренная, 3 – сильная, 4 – экстремальная.*

По Павлодарской области PDSI определяет 2008 год как очень сухой, урожай в этот год составлял всего 3,9 ц/га. Но встречаются годы, где значения PDSI плохо коррелируют с урожайностью. Так, например, в Северо-Казахстанской области в 1982 и 1991 гг. была умеренная засуха, урожай составлял 10,1 и 5,3 ц/га, соответственно, в Павлодарской области 2005 г. был слабо влажный, урожай составлял всего 5,4 ц/га (рис. 5). Несоответствие можно объяснить тем, что на урожайность влияют не только погодные факторы, но и факторы, которые объединяют под общим термином – «культура земледелия». Это достижения генетики и селекции, количество и качество вносимых в почву удобрений, мероприятия по борьбе с вредителями и болезнями, мелиорация земель, наличие и совершенствование

сельскохозяйственной техники и так далее. Факторы этой группы обуславливают средний уровень урожайности сельскохозяйственных культур.

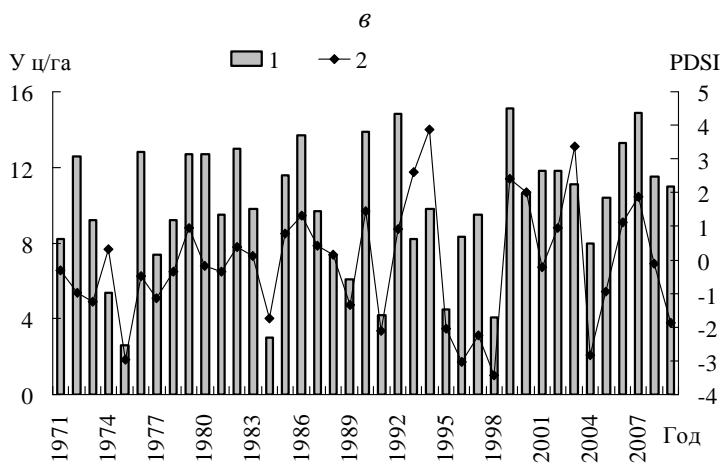
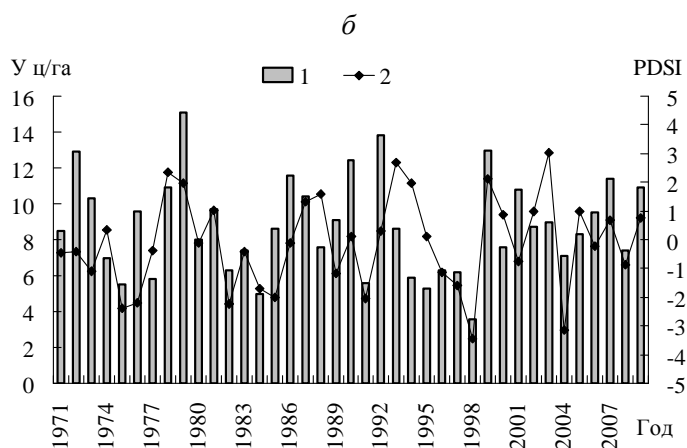
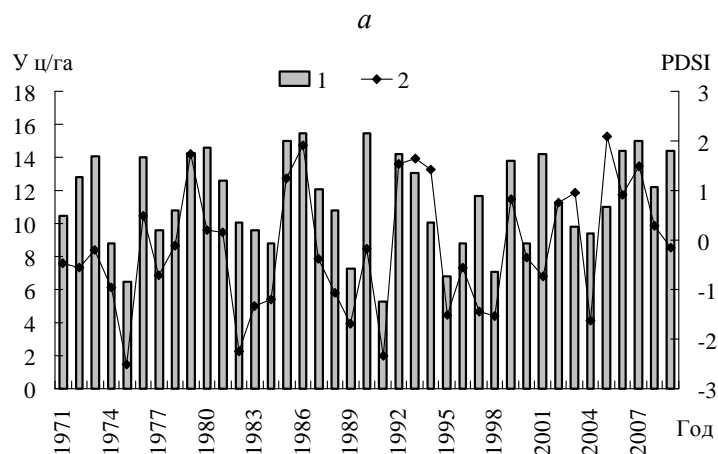
Таблица 5

Повторяемость засух различной интенсивности (%) за период 1971...2009 гг.

Интенсивность засухи	Месяц					
	апрель	май	июнь	июль	август	сентябрь
Северо-Казахстанская область						
слабая	23	23	33	36	44	36
умеренная			8	28	31	23
сильная			3	8	21	15
экстремальная					10	8
Вероятность повторения 1 раз в ... лет						
слабая	4	4	3	3	2	3
умеренная			13	4	3	4
сильная			39	13	5	7
экстремальная					10	13
Акмолинская область						
слабая	23	31	38	41	38	36
умеренная	5	10	21	33	26	18
сильная			8	21	21	13
экстремальная				10	10	8
Вероятность повторения 1 раз в ... лет						
слабая	4	3	3	2	3	3
умеренная	20	10	5	3	4	6
сильная			13	5	5	8
экстремальная				10	10	13
Костанайская область						
слабая	13	26	33	41	38	36
умеренная		5	15	28	33	28
сильная			3	23	15	8
экстремальная				10	8	5
Вероятность повторения 1 раз в ... лет						
слабая	8	4	3	2	3	3
умеренная		20	7	4	3	4
сильная			39	4	7	13
экстремальная				10	13	20
Павлодарская область						
слабая	28	28	41	29	49	44
умеренная	5	8	31	38	38	33
сильная	3	3	13	28	23	18
экстремальная			3	15	15	5
Вероятность повторения 1 раз в ... лет						
слабая	4	4	2	2	2	2
умеренная	20	13	3	3	3	3
сильная	39	39	8	4	4	6
экстремальная			39	7	7	20

Среднее значение индекса Палмера по областям за весь период наблюдений колеблется от минус 0,12 до минус 0,23. Эти значения попадают

в градацию от 0,49 до минус 0,49 и характеризуют условия увлажнения данного периода, как около нормы. Среднеобластная урожайность за весь наблюдаемый период тоже меняется незначительно (рис. 5).



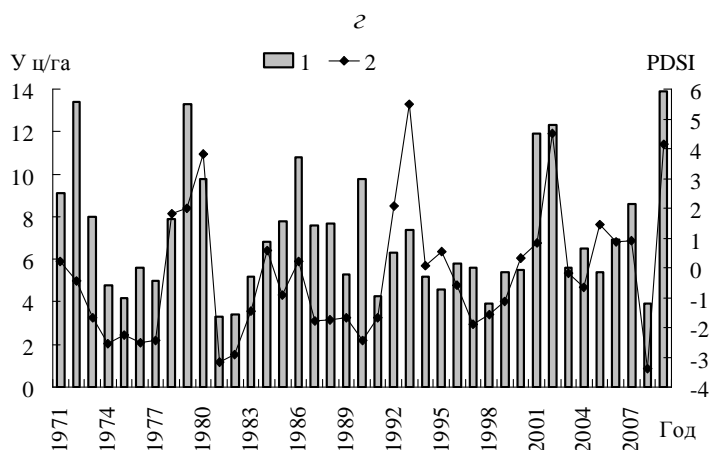


Рис. 5. Временной ход значений PDSI (2) и урожайности (1) за период 1971...2009 гг. по основным зерносеющим областям Казахстана. а - Северо-Казахстанская область, б – Акмолинская область; в – Костанайская область; г – Павлодарская область.

С учетом того, что индекс Палмера для территории северных областей показал хорошую согласованность с режимом температуры, осадков и урожайностью зерновых, его можно рекомендовать для включения в систему индексов для мониторинга и прогнозирования засухи в Казахстане.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Байшоланов С.С. О повторяемости засух в зерносеющих областях Казахстана. // Гидрометеорология и экология. – 2010. – №3. – С. 27-38.
2. Бедрицкий А.И. О влиянии погоды и климата на устойчивость и развитие экономики // Метеорология и гидрология. – 1997. - №10. – С. 5-11.
3. МГЭИК, 2007. «Резюме для политиков», в докладе «Изменение климата, 2007 г.: Последствия, адаптация и уязвимость. Материал Рабочей группы II к Четвертому докладу Межправительственной группы экспертов по изменению климата об оценках» [Парри, М.О. Канциани, Ж. Палютикофф, П. ван дер Линден, К. Хэнсон (ред.)]
4. Щербенко Е.В. Дистанционные методы выявления сельскохозяйственной засухи. - М.: Институт космических исследований РАН. – С. 1.
5. Climate Change 2001: Impacts, Adaptation, and Vulnerability – Contribution of Working Group II to the IPCC Third Assessment Report, 2001.
6. Climate Change 2001: The Scientific Basis – Contribution of Working Group I to the IPCC Third Assessment Report, 2001.
7. Karl, T.R.; and R.W. Knight. 1985. Atlas of Monthly Palmer Hydrological Drought Indices (1931–1983) for the Contiguous United States. Historical

Climatology Series 3–7, National Climatic Data Center, Asheville, North Carolina

8. Millennium Ecosystem Assessment, 2005. Ecosystems and Human Well-being: Desertification Synthesis. World Resources Institute, Washington, DC.

РГП «Казгидромет», г. Алматы

### **ПАЛМЕРДІҢ ҚУАҢШЫЛЫҚ ИНДЕКСІ НЕГІЗІНДЕ ТОПЫРАҚ ҚУАҢШЫЛЫҒЫНЫҢ ҚАЙТАЛАНУЫН ТАЛДАУ**

Р.М. Илякова

Геогр. ғылымд. канд. С.А. Долгих

*Зерттеулерде Қазақстан аумағындағы қуаңшылықтың басталуын анықтау және бағалау үшін алғаш рет Палмердің метеорологиялық индексі қолданылады (PDSI - Palmer Drought Severity Index).*