

## АТМОСФЕРНАЯ ЦИРКУЛЯЦИЯ ИЗБЫТОЧНО ВЛАЖНЫХ И СУХИХ ПЕРИОДОВ ОБЬ-ИРТЫШСКОГО МЕЖДУРЕЧЬЯ

Проанализирована связь между аномалиями сумм осадков за год, теплый и холодные периоды в Обь-Иртышском междуречье и формами атмосферной циркуляции Вангенгейма-Гирса и североатлантическим колебанием ( $I_{NAO}$ ) в XX – начале XXI в. Начиная с 80-х гг. прошлого столетия наблюдается незначительное уменьшение годового количества атмосферных осадков за счет уменьшения осадков в теплый период на фоне роста повторяемости форм циркуляции W и C. Корреляция между аномалиями осадков и  $I_{NAO}$  наблюдается лишь в отдельные месяцы.

**Ключевые слова:** климат; атмосферная циркуляция; осадки.

Внимание ученых всего мира привлекает растущая повторяемость аномальных природных явлений, в том числе климатических: засух, избыточно влажных периодов, наводнений и др. Изменчивость средних и аномальных величин связана с особенностями атмосферной циркуляции, физико-географическими особенностями и временем года.

Эти факторы, действуя в тесной взаимосвязи, определяют особенности распределения осадков в пространстве и во времени, как в течение года, так и от года к году.

Одним из основных факторов колебания сумм атмосферных осадков является атмосферная циркуляция. В связи с этим была использована типизация атмосферных процессов Вангенгейма-Гирса [1], в которой все многообразие атмосферных процессов в первом естественном синоптическом районе ( $45^\circ$  з.д. –  $95^\circ$  в.д.) северного полушария объединено в три формы циркуляции: западную (W), восточную (E), меридиональную (C). Процессы западной формы циркуляции отличаются наличием в тропосфере волн малой амплитуды и смещением барических образований с запада на восток. При развитии процессов восточной и меридиональной форм циркуляции в тропосфере образуются стационарные волны большой амплитуды, в результате наблюдается развитие меридиональных составляющих циркуляции.

Кроме того, использовался индекс зональной циркуляции Е.Н. Блиновой ( $I_B$ ), представляющий собой осредненную для определенной широты скорость географического ветра:

$$\bar{U}(\varphi) = \lambda \cos \varphi,$$

где  $\lambda$  – угловая скорость вращения атмосферы,  $a$  – радиус Земли;  $\varphi$  – широта. В периоды ускорения вращения Земли аномально развитыми являются зональные процессы, в периоды замедления – меридиональные [2].

В последнее время все большее внимание уделяется вопросу изменчивости тропосферной циркуляции и влияния переноса над Северной Атлантикой на климатические характеристики.

Понятие «североатлантическое колебание» подразумевает изменения поля давления и, как следствие, интенсивности зонального переноса над внетропической зоной Северной Атлантики, его количественное выражение – индекс ( $I_{NAO}$ ) – определяется как разность нормированных на стандартное отклонение аномалий приземного давления между Исландией (Рейкьявик или Стиккисхоульмур) и Азорскими островами (Понта-Дельгада) либо югом Пиренейского полуострова (Гибралтар или Лиссабон) [3. С. 676–679].

Исследования североатлантического колебания и его вклада в климатическую изменчивость приводят к выводу о его первостепенной роли как механизма атмосферной циркуляции Северного полушария. Однако, как правило, изучение вклада NAO в изменчивость климатических параметров ограничивается зимним сезоном, когда их корреляция с  $I_{NAO}$  наиболее велика [4. С. 63].

Основные задачи исследования: на основе составленного каталога аномально влажных и сухих периодов (годовых, теплого и холодного периодов) исследовать их повторяемость с 1936 по 2006 г.; определить роль атмосферных процессов форм W, E, C, индекса циркуляции Е.Н. Блиновой в формировании избыточно влажных и сухих периодов; выявить влияние североатлантического колебания  $I_{NAO} > 0$  и  $I_{NAO} < 0$  на циркуляцию и формирование избыточно влажных и сухих периодов Обь-Иртышского междуречья.

### Исходные данные и методика анализа

Для выявления аномально влажных и сухих периодов использованы длиннорядные данные многолетних наблюдений 17 метеорологических станций Западно-Сибирского УГМС за 1936–2006 гг., расположенных в ландшафтных зонах южной тайги, лесостепи и степи (табл. 1).

Суммы осадков за период с 1936 по 1966 гг. откорректированы по единой методике, т.е. приведены к показаниям осадкомера и исправлены поправкой на смачивание.

Год (и периоды года – теплый, холодный) относился к избыточно влажному, если сумма осадков превышала 120% средней многолетней нормы ( $\sum O \geq 120\%$ ), и к сухому, если сумма осадков составляла 80% и меньше средней многолетней нормы ( $\sum O \leq 80\%$ ). Аномалии осадков рассчитывались по отношению к средней многолетней норме вычисленной за весь исследуемый период (1936–2006 гг.).

Исследование повторяемости форм циркуляции W, E, C над рассматриваемой территорией проводилось за период 1936–2006 гг.; индекса циркуляции Е.Н. Блиновой – за период 1949–2006 гг. по сезонам года и отдельно по месяцам. С помощью линейных и кусочно-линейных трендов выявлялись тенденции изменчивости осадков, индекса и форм циркуляции за рассматриваемые периоды и в последнее двадцатилетие (рис. 1).

В ходе работы использованы среднемесячные данные  $I_{NAO}$  Климатического прогностического центра США за период 1950–2006 гг.

Повторяемость влажных ( $\Sigma O \geq 120\%$ ) и сухих ( $\Sigma \leq 80\%$ ) периодов в ландшафтных зонах\* Обь-Иртышского междуречья в 1936–2006 гг.

Ландшафтная зона	Год					
	$O \geq 120\%$		$81 > O < 119\%$		$\leq 80\%$	
	Число случаев	%	Число случаев	%	Число случаев	%
Южная тайга	6	6	61	87	4	7
Лесостепь	10	8	54	85	7	7
Степь	5	8	53	74	13	18
Теплый период (апрель – октябрь)						
Южная тайга	10	13	54	76	7	11
Лесостепь	10	13	48	72	13	15
Степь	12	15	45	65	14	20
Холодный период (ноябрь – март)						
Южная тайга	11	11	48	72	12	17
Лесостепь	16	24	36	49	19	27
Степь	19	27	34	49	18	24

\* Ландшафтные зоны и пункты наблюдений: Южная тайга (Средний Васюган, Новый Васюган, Пудино, Парабель, Кыштовка, Северное); Лесостепь (Барабинск, Каргат, Венгерово, Здвинск, Чулым, Ужаниха, Кочки); Степь (Краснозерское, Карасук, Кочки, Родино).

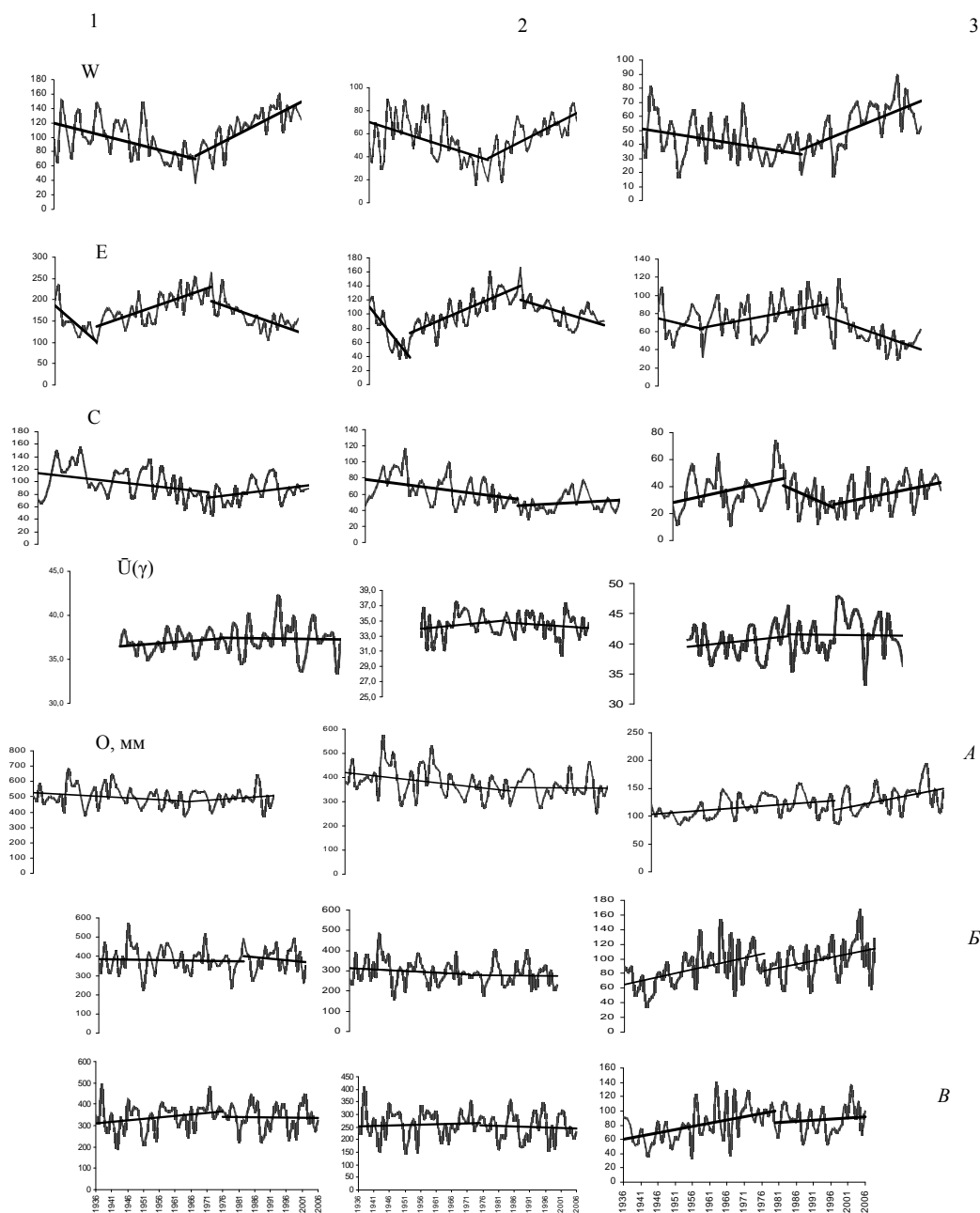


Рис. 1. Многолетние колебания атмосферных осадков, индекса и форм циркуляции W, E, C (дни): 1 – год; 2 – теплый период; 3 – холодный период; А – южная тайга; Б – лесостепь; В – степь; ..... временной ход, — кусочно-линейные тренды

### Повторяемость избыточно влажных и сухих периодов

Территория Обь-Иртышского междуречья характеризуется значительной изменчивостью климатических элементов. Годовые суммы осадков изменяются в пределах Обь-Иртышского междуречья от 580 мм в тайге до 380–310 мм в лесостепи и степи. В их распределении проявляется одна из общегеографических закономерностей – зональность. Наряду с зональностью в пространственной структуре отмечается провинциальность: годовая сумма осадков увеличивается с запада на восток – северо-восток от 340 до 420 мм.

Для региона характерен континентальный тип годового хода осадков, максимум приходится на теплый период, когда выпадает в среднем 75–80% годовой суммы осадков. В теплый период максимум приходится на летние месяцы. Максимальное количество осадков выпадает в июле (40–80 мм), за июнь–август выпадает 46–50% годовой нормы. Наименьшее в году количество осадков выпадает в феврале и марте. Осенью осадков выпадает больше, чем весной.

Повторяемость аномалий увлажнения свидетельствует о том, что дефицит осадков отмечается как в теплый, так и холодный периоды года. В целом наибольшая повторяемость аномальных периодов увлажнения характерна для лесостепной зоны (см. табл. 1). Причем дефицит осадков здесь чаще наблюдается в холодный период года (25–27%). Особенно сухо было в 1942, 1943, 1950, 1951, 1952, 1954, 1955, 1967 гг., когда сумма осадков была ниже средней многолетней нормы на 50%.

В последнее десятилетие XX в. и в начале XXI в. чаще отмечались влажные холодные периоды: 1990, 1994, 1997, 2001, 2002 гг. Особенно много осадков выпало в холодный период 2002 г. (180% нормы, северная лесостепь).

В теплый период чаще аномалии сумм осадков повторяются в южной лесостепи (20%). В большинстве случаев сумма выпавших осадков составляла 121–134% и только в 1946 г. – 153%, что на 2,5 раза больше средней многолетней нормы. В целом за год сумма осадков за рассматриваемый период (71 год) в ландшафтных зонах изменилась незначительно, при общей тенденции к снижению в лесостепной зоне и увеличению в южной тайге и степи.

Таким образом, для всех ландшафтных зон характерна значительная изменчивость осадков. Наибольшей повторяемостью избыточно влажных и сухих периодов отличается лесостепь. Чаще отрицательные аномалии сумм осадков наблюдаются в холодный период. Начиная с 1980-х гг., во всех ландшафтных зонах наблюдается уменьшение годового количества осадков, за исключением южной тайги, где прослеживается тенденция к снижению, но пока происходит на фоне положительной аномалии. Снижение годовой суммы осадков происходит за счет уменьшения осадков в теплый период, в то время как в холодный период отмечается тенденция к увеличению осадков.

### Макроциркуляционные условия влажных и сухих периодов

Для Обь-Иртышского региона установлено, что при процессах формы Е развивается циклоническое барическое поле и формируется область избытка осадков.

В период активизации процессов формы С над рассматриваемой территорией формируется антициклональное барическое поле.

Во время развития процессов формы W в холодный период отмечаются положительные аномалии осадков. В теплое время года циклонические процессы при форме W также характерны, но циклоны смещаются севернее рассматриваемого региона.

В период 1980–2006 гг. уменьшение годового количества осадков отмечается на фоне роста повторяемости форм циркуляции W и С и снижения формы Е (см. рис. 1).

В работе проведен корреляционный анализ между формами циркуляции Вангенгейма–Гирса, аномалиями осадков при  $I_{NAO} > 0$  и  $I_{NAO} < 0$  по месяцам для севера (южная тайга) и юга (степь) рассматриваемой территории. Распределение коэффициентов корреляции между аномалиями осадков при  $I_{NAO} > 0$  и  $I_{NAO} < 0$  и развитии разных форм циркуляции в ландшафтных зонах междуречья Оби и Иртыша значительно меняются от месяца к месяцу. Значимые коэффициенты корреляции между аномалиями осадков и индексом NAO выявлены лишь в отдельные месяцы, тем не менее вклад этих месяцев в климатический режим может быть существенным (табл. 2).

При  $I_{NAO} > 0$  аномально влажные периоды в южной тайге формируются в теплый период (июнь, июль, сентябрь) при развитии атмосферных процессов форм W и E ( $R = 0,32–0,40$ ), в степи (июнь) – формы E ( $R = 0,47$ ). Аномально сухие периоды формируются на рассматриваемой территории при развитии формы С ( $R = 0,31–0,49$ ). Аномально влажные периоды в южной тайге в холодный период года (ноябрь) формируются при активизации атмосферных процессов формы W ( $R = 0,53$ ), в степи (ноябрь, декабрь) – форм W и С ( $R = 0,43–0,44$ ), сухие – при развитии процессов формы E ( $R = 0,43$ ). В целом при  $I_{NAO} > 0$  наиболее тесная связь аномалии осадков с числом дней развития атмосферных процессов форм W и E, и  $I_b$  получена для декабря–февраля (XII–II) в южной тайге. Значения  $t$ -статистик составили 1.21–3.11 при достоверности 1.5. При использовании индекса циркуляции Блиновой значения  $t$ -статистики возрастает до 3,04–3,3, что подтверждает их репрезентативность.

При  $I_{NAO} < 0$  избыток осадков в холодный период года в южной тайге (ноябрь–март) и в степи (январь–март) отмечается при развитии атмосферных процессов форм W и С ( $R = 0,34–0,55$ ), дефицит осадков – при развитии формы E ( $R = 0,34–0,49$ ). В теплый период года наиболее тесные связи между аномалией осадков и атмосферной формой циркуляции E получены для степи, коэффициент множественной корреляции достигает 0,44.

Для южной тайги и степи значения  $t$ -статистик в анализируемые месяцы для показателей атмосферных форм циркуляции составляют 1,5–3,3, что подтверждает их репрезентативность.

В остальные месяцы на рассматриваемой территории региона, как в теплый, так и в холодный периоды коэффициенты парной и множественной корреляции слабые, что свидетельствует о более сложной природе атмосферных процессов, влияющих на формирование аномально влажных периодов.

Множественная и парная корреляция аномалии осадков при  $I_{\text{НСЛО}} > 0$  и  $I_{\text{НСЛО}} < 0$  по месяцам

Ландшафтная зона	Месяц, сезон	Число лет	Число случаев аномально влажных периодов/ форма циркуляции (n)	$I_{\text{НСЛО}} > 0$						$I_{\text{НСЛО}} < 0$						Формула			
				r			R			t-статистика			t-статистика						
				W	E	C	$\bar{U}(\gamma)$	$I_{\text{НСЛО}}$	$\bar{U}(\gamma)$	W	E	C	$I_{\text{НСЛО}}$	$\bar{U}(\gamma)$	W		E	C	$\bar{U}(\gamma)$
Южная тайга	июнь	25	8/ W(4)	0,31	-	-0,30	0,04	0,33	1,57	-	-	0,33	-	-	-	-	$X = 1,92W + 105,87$		
		31	5/ E(4)	-	0,38	-	-	0,31	-	-	-	-	-	-	-	-	$X = -1,94C + 117,74$		
	июль	29	6/E(5)	-	0,39	-0,47	-	0,45	2,15	-	-	-	-	-	-	-	$X = 2,18E - 57,00$		
		23	6/W(3)	0,39	-0,38	-	-	0,40	-	-	-	-	-	-	-	-	$X = 1,9E + 55,21$		
	ноябрь	23	6/W(3)	0,39	-0,38	-	-0,24	0,70	1,47	-	-	-	-	-	-	-	$X = -3,31C + 147,39$		
		30	10/W(8)	0,39	-0,42	-	-	0,71	1,21	-1,66	-	-	-	-	-	-	$X = 1,24W - 19,69 I_{\text{НСЛО}} + 4,14\bar{U}(\gamma) - 95,41$		
	зима	30	7/W(5)	0,44	-0,45	-	-	0,62	2,6	-1,48	-	-	-	-	-	-	$X = -1,1E - 18,29 I_{\text{НСЛО}} + 4,60\bar{U}(\gamma) - 91,20$		
		28	4	7/E(6)	0,36	-	-	0,53	0,52	2,6	-	-	-	-	-	-	$X = 0,34W + 3,73\bar{U}(\gamma) - 48,94$		
	лето	28	4	7/E(6)	0,36	-	-	0,38	0,28	1,62	-	-	-	-	-	-	-	$X = -0,29E + 3,69\bar{U}(\gamma) - 27,31$	
		25	5/E(3)	-	0,46	-0,49	-	0,52	0,50	1,62	-	-	-	-	-	-	-	$X = 0,49W + 2,07\bar{U}(\gamma) - 1,79$	
	Степь	июнь	23	9/W(5)	0,44	-	-	-	0,61	1,06	-	-	-	-	-	-	-	$X = -0,35W + 2,27\bar{U}(\gamma) + 37,65$	
			32	9/C(4)	-	-0,34	0,40	-0,24	0,47	-	-	-	-	-	-	-	-	$X = 0,74W + 21,22 I_{\text{НСЛО}} + 46,28$	
ноябрь		23	9/W(5)	0,44	-	-	-	0,65	1,06	-	-	-	-	-	-	-	$X = -3,31C + 147,39$		
		25	3	11/C(8)	-	-	-	0,49	0,50	1,62	-	-	-	-	-	-	-	$X = -0,35C - 29,38 I_{\text{НСЛО}} + 97,60$	
декабрь		32	9/C(4)	-	-0,34	0,40	-0,24	0,47	-	-	-	-	-	-	-	-	-	$X = 4,5E - 62,5$	
		25	3	11/E(5)	-	-	-	0,48	0,50	1,62	-	-	-	-	-	-	-	$X = -6,02C + 155,97$	
год		25	3	3	-	-	-0,34	-0,22	0,45	-	-	-	-	-	-	-	-	$X = 6,99\bar{U}(\gamma) - 241,49$	
		25	3	3	-	-	-	-0,22	0,45	-	-	-	-	-	-	-	-	$X = -1,54E + 30,78$	
Южная тайга		январь	24	8/C(6)	-	-	0,34	-	0,53	-	-	-	-	-	-	-	-	$X = 1,75C + 2,98\bar{U}(\gamma) - 23,83$	
			25	4/W(2)	0,56	-	-	-	0,58	2,0	-	-	-	-	-	-	-	$X = 2,61W + 54,34$	
		февраль	29	8	7/E(7)	0,35	-0,44	-	-0,22	0,50	1,56	-	-	-	-	-	-	-	$X = 1,96W - 17,65 I_{\text{НСЛО}} + 1,68\bar{U}(\gamma) + 16,36$
			28	7	5	-	-	-	0,45	0,53	-	-	-	-	-	-	-	-	$X = -1,86E - 14,36 I_{\text{НСЛО}} + 1,66\bar{U}(\gamma) + 63,15$
	март	33	11/C(7)	-	-0,52	0,41	-	0,42	2,30	-	-	-	-	-	-	-	-	$X = 11,92 I_{\text{НСЛО}} + 4,14\bar{U}(\gamma) - 72,54$	
		24	7/	5/ E(3)	0,44	-0,38	-	-0,30	0,60	2,57	-	-	-	-	-	-	-	$X = -2,10E + 107,38$	
	апрель	29	4	7	-	-	0,25	-	0,38	-	-	-	-	-	-	-	-	$X = 2,44C + 49,24$	
		26	3	3	-0,21	-	-	-0,16	0,35	-1,52	-	-	-	-	-	-	-	$X = 3,2W - 25,5 I_{\text{НСЛО}} + 29,87$	
	весна	24	8/C(6)	-	-	0,33	-	0,38	0,55	-	-	-	-	-	-	-	-	$X = -1,6E - 16,23 I_{\text{НСЛО}} + 54,81$	
		25	11/W(5)	0,51	-	-	-	0,44	0,55	1,52	-	-	-	-	-	-	-	$X = 0,42C + 13,39$	
	лето	29	9/	13/ C(5)	-	-0,54	0,41	-	0,59	-	-	-	-	-	-	-	-	$X = -3,22E + 2,52\bar{U}(\gamma) + 56,99$	
		26	3	3	-	-	-	-	0,57	-	-	-	-	-	-	-	-	$X = 3,44C + 4,09\bar{U}(\gamma) - 76,34$	
осень	24	8/C(6)	-	-	0,37	-	0,44	0,55	-	-	-	-	-	-	-	-	$X = 2,0E + 20,74 I_{\text{НСЛО}} + 104,29$		
	25	11/W(5)	0,51	-	-	-	0,44	0,55	1,52	-	-	-	-	-	-	-	$X = -2,66W + 5,18\bar{U}(\gamma) - 85,29$		
зима	28	7	5	-0,35	-	-	0,42	0,59	-2,08	-	-	-	-	-	-	-	$X = 4,3W - 35,99 I_{\text{НСЛО}} + 69,02$		
	24	8/W(4)	0,36	-0,37	-	-0,33	0,46	0,56	2,40	-	-	-	-	-	-	-	$X = -2,16E + 103,22$		
весна	26	7/	7/	-0,44	-	0,24	-0,39	0,49	-1,60	-	-	-	-	-	-	-	$X = -1,07W + 117,32$		
	26	6/E(5)	-	-	0,24	-	0,47	0,55	-	-	-	-	-	-	-	-	$X = 0,71C - 31,07 I_{\text{НСЛО}} + 49,95$		
лето	28	5	6/W(5)	-0,38	-	-	0,23	0,50	-2,53	-	-	-	-	-	-	-	$X = -55,77 I_{\text{НСЛО}} + 5,27\bar{U}(\gamma) - 86,28$		
	29	5/	5/	-	-	0,20	0,23	0,50	-	-	-	-	-	-	-	-	$X = -1,44W + 20,46 I_{\text{НСЛО}} + 92,49$		
осень	28	5	6/W(5)	-0,38	-	-	0,23	0,50	-2,53	-	-	-	-	-	-	-	$X = 0,42C + 5,88\bar{U}(\gamma) - 124,04$		
	29	5/	5/	-	-	0,20	0,23	0,50	-	-	-	-	-	-	-	-	$X = 0,42C + 5,88\bar{U}(\gamma) - 124,04$		

В ландшафтных зонах междуречья Оби и Иртыша наибольшая повторяемость аномальных периодов увлажнения характерна для лесостепной зоны.

В период 1980–2006 гг. уменьшение годового количества осадков отмечается на фоне роста годовой повторяемости форм циркуляции W и C, и снижения – формы E.

Наиболее тесная связь формирования аномально влажных холодных периодов на рассматриваемой территории отмечается при  $I_{NAO} < 0$ , при развитии атмосфер-

ных процессов форм W и C, сухих холодных периодов – формы E. При  $I_{NAO} > 0$  наиболее тесные связи отмечаются при формировании аномально влажных теплых периодов в южной тайге – при развитии атмосферных процессов форм W и E, в степи – формы E. Сухие теплые периоды на рассматриваемой территории отмечаются при  $I_{NAO} > 0$  при развитии атмосферных процессов формы C.

Авторы статьи выражают благодарность Г.М. Виноградовой за предоставленные данные об индексе циркуляции Е.Н. Блиновой.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Гирс А.А. Макроциркуляционный метод долгосрочных метеорологических прогнозов. Л.: Гидрометеониздат, 1974. 280 с.
2. Блинова Е.Н. К теории годового хода незональной циркуляции атмосферы // Труды ИФА. 1958. № 2. С. 5–22.
3. Hurrell J.W. Decadal trends in the North Atlantic Oscillation: Regional temperatures and precipitation // *Sciens*. 1995. Vol. 269. P. 676–679.
4. Попова В.В., Шмакин А.Б. Влияние североатлантического колебания на многолетний гидротермический режим Северной Евразии: Статистический анализ данных наблюдений // *Метеорология и гидрология*. 2003. № 5. С. 62–74.

Статья представлена научной редакцией «Науки о Земле» 29 сентября 2009 г.