

СОВРЕМЕННАЯ КЛАССИФИКАЦИЯ ЭЛЬ-НИНЬО И СОПОСТАВЛЕНИЕ СООТВЕТСТВУЮЩИХ КЛИМАТИЧЕСКИХ ОТКЛИКОВ В АТЛАНТИКО-ЕВРАЗИЙСКОМ РЕГИОНЕ

А.С. Лубков, Е.Н. Воскресенская, О.В. Марчукова

Институт природно-технических систем
РФ, г. Севастополь, ул. Ленина, 28
E-mail: andrey-ls2015@yandex.ru

В работе проведен сравнительный анализ результатов классификации Эль-Ниньо разных авторов. Показана выигрышность проведенной авторами объективной пространственно-временной классификации для изучения климатических откликов в Атлантико-Евразийском регионе. С использованием данных реанализа NCEP/NCAR о приземном атмосферном давлении за период 1948–2016 гг. для выделенных типов Эль-Ниньо статистическим методом получены оценки проявления событий в Азорском максимуме, Исландском минимуме и Сибирском максимуме. На этой основе сделаны соответствующие прогностические оценки типичных климатических аномалий в Атлантико-Евразийском регионе.

Ключевые слова: Эль-Ниньо, классификация, пространственно-временные особенности, атмосферные отклики, система океан-атмосфера.

Введение. Эль-Ниньо – одно из важнейших глобальных явлений межгодового масштаба в глобальной климатической системе, дальное действие которого проявляется в аномалиях погоды и климата не только над тропической зоной Тихого океана, но и во внетропических широтах [1, 2]. Изучением этого явления международное научное сообщество занимается уже более 30 лет. Однако до недавнего времени было получено однозначного понимания об условиях возникновения и эволюции всех наблюдаемых событий, а также особенностей их проявлений. В конце XX века стала понятна необходимость типизации этих событий, вследствие чего было предложено несколько подходов к их классификации. В итоге было выделено два принципиально разных варианта: пространственный и временной. Для большинства пространственных классификаций характерны следующие типы распространения аномалии температуры поверхности океана (АТПО) в экваториальной зоне Тихого океана. В одном случае это южноамериканское прибрежное потепление и распространение АТПО вдоль экватора в западном направлении, а в другом – распространение сформировавшихся теплых вод в его

центральной тихоокеанской части [3–5]. В обоих случаях это сопровождается существенными изменениями режима конвекции в атмосфере как над тропиками, так и во внетропических широтах.

Временной поход к классификации событий Эль-Ниньо ориентирован в первую очередь на анализ времени начала и продолжительности явления.

При классификации Ксю и Чана [6] за момент начала ЭН принимался месяц, когда АТПО в центральном приэкваториальном районе Тихого океана (5° ю.ш.–5° с.ш., 170°–120° з.д.) на 0,5°С превышала многолетнюю норму (среднемесячное значение за 1950–1997 гг.). На основании этих данных за период 1950–1997 гг. выделено 6 весенних событий, начало которых приурочено к апрелю-маю, и 6 летних, начало которых отмечается в июле или августе. Хории и Ханавы [7], исследуя АТПО в центре Тихого океана за 1871–2000 гг., выделили 3 типа событий ЭН: весенний с началом в апреле-июне и два летне-осенних с началом в июле-октябре. В работе [8] Воскресенской и Михайловой по данным АТПО в регионе Nino 3.4 (5° ю.ш.–5° с.ш., 170°–120° з.д.) и индекса Южного колебания выделено три типа событий Эль-Ниньо. Они различаются

по времени начала, продолжительности и интенсивности и по этим признакам получили условные названия: весенний, летне-осенний короткоживущий и летне-осенний продолжительный.

Как временной, так и пространственный подход к классификации имеет свои недостатки. Дело в том, что обычно анализ пространственного распространения АТПО проводится для фазы максимального развития температурной аномалии. При этом из вида упускается информация о локализации АТПО на ранних стадиях. Недостаток же временного подхода к классификации состоит в том, что не дает возможности учитывать распространение аномалии в поле АТПО.

По этой причине авторами был разработан новый подход к классификации [9], который объединяет в себе пространственные и временные особенности, а так же имеет высокую чувствительность к малоинтенсивным событиям Эль-Ниньо. Рассмотрев 31 выделенное событие Эль-Ниньо, с помощью иерархического подхода кластерного анализа, было выделено 2 типа явлений: *Весенне-летний восточный* (ВВТ) и *Осенний центральный* (ОЦТ). Для ВВТ свойственны интенсификация положительной аномалии температуры у берегов Южной Америки и ее последующее распространение в западном направлении. Начало этих событий приходится на май-июль, а максимальной фазы они достигают в октябре-декабре. ОЦТ характеризуется тем, что в центре Тихого океана отмечается интенсификация теплой АТПО. К этому же району приурочен центр локализации аномалии температуры в фазу максимального развития. Начало явления отмечается в сентябре-октябре, а максимальная фаза достигается в период с ноября по январь.

Вопрос изучения региональных проявлений Эль-Ниньо стал одним из ключевых в выполняемых в последние десятилетия международных проектах и программах. Инициаторами выступили правящие круги стран и регионов, сталкивающиеся регулярно с негативными последствиями этих событий, сопровож-

дающимися человеческими жертвами и экономическими потерями [3, 4, 10].

Задача идентификации экстремальных проявлений в регионах, прилегающих к Тихому океану, в значительной мере решена, и есть достаточно успешные результаты их моделирования. Для внетропических широт, в том числе и Атлантико-Европейского и Азиатского регионов, она остается крайне сложной. В отдельных работах, например [11–14], показана связь Эль-Ниньо с Североатлантическим и Арктическим колебаниями, которые играют ключевую роль в формировании климата Европы и Северной Атлантики. Однако этот вывод получен по результатам анализа событий без учета их типов, что могло существенно сгладить реальные проявления тихоокеанских аномалий.

Использование выявленных типов Эль-Ниньо дает возможность на более значимом уровне изучить региональные проявления событий Эль-Ниньо. При этом, в результате сложившегося к настоящему времени целому набору различных типизаций явления, возникает закономерный вопрос, какой же классификацией разумнее пользоваться для идентификации климатических изменений, и в частности, в Атлантико-Евразийском регионе, возникающих вследствие Эль-Ниньо?

На такой вопрос постараемся ответить в настоящей работе. Ее цель **сформируем следующим образом**: на основе анализа множественных результатов современной классификации изучить климатические отклики Эль-Ниньо и определить те, которые наилучшим образом соответствуют межгодовым аномалиям в Атлантико-Европейском регионе.

Материалы и методика. В работе использован массив среднемесячных данных реанализа NCEP/NCAR по приземному давлению за период 1948–2016 гг. с пространственным разрешением координатной сетки $2,5^\circ \times 2,5^\circ$ для сравнения откликов различных типов классификаций Эль-Ниньо.

Выделенные в работе [9] типы Эль-Ниньо сопоставлялись с известными ре-

зультатами разных авторов по пространственной [3, 5, 15] и временной [7, 8, 16] классификации (табл. 1).

При сравнении результатов пространственной классификации обнаружено некоторое сходство в полях аномалий температуры поверхности океана. Так ВВТ напоминает тип "cold tongue" (СТ), относящийся к классификации авторов Куга и Джина (Kug, Jin) [5], канонический (canonical) Эль-Ниньо, приве-

денный Ashok в работе [3] и восточный тип, полученный Воскресенской и Марчуковой [15] в более поздней классификации явления. Осенний центральный тип Эль-Ниньо в свою очередь похож по пространственному распределению АТПО на "warm pool" (WP) и "mixed" классификации Куга и Джина [5], на modoki классификации Ашока (Ashok) [3] и на центральный тип, предложенный авторами в работе [15].

Таблица 1. Классификации, участвующие в сравнении (WP – warm pool; СТ – cold tongue; ЛОК – летне-осенний короткоживущий; ЛОП – летне-осенний продолжительный; В – весенний; ЛО – летне-осенний; * – продолжение ЛОП событий Эль-Ниньо по классификациям Воскресенской, 2010 и Хори)

Тип	Параметры классификации Лубкова и Воскресенской 2017			Пространственные классификации			Временные классификации			
	Мес./год Начала	Эль-Ниньо Месяц макс. фазы	Значение в макс. фазу, °С	Kug	Ashok	Воскресенская 2015	Horii	Xu	Воскресенская 2010	Воскресенская 2006
Весенне-летний восточный	5/1877	12-2	2,71	-	-	-	В	-	В	-
	5/1888	11-1	2,37	-	-	-	В	-	В	-
	7/1896	11-1	1,64	-	-	-	ЛОК	-	ЛОК	-
	8/1899	12-2	1,59	-	-	-	ЛОП	-	ЛОК	-
	6/1902	9-11	1,61	-	-	-	В	-	В	-
	7/1904	9	0,97	-	-	-	ЛОП*	-	ЛОП*	-
	5/1905	8-11	1,37	-	-	-	*	-	*	-
	6/1918	11-1	1,36	-	-	-	ЛОК	-	ЛОП	-
	4/1925	12-2	1,49	-	-	-	ЛОК	-	ЛОК	-
	7/1930	11-1	1,75	-	-	-	В	-	ЛОП	-
	7/1951	10-11	1,07	-	Canonical	Центрок	ЛОК	summer	ЛОК	В
	4/1957	11-1	1,43	-	Modoki	Вост	В	spring	В	ЛО
	7/1963	10-12	1,19	-	Modoki	Центрок	ЛОК	summer	В	В
	4/1965	10-12	1,74	-	Modoki	-	В	spring	В	В
	4/1969	10-12	1,05	-	Canonical	-	*(69)	-	*(69)	В
	4/1972	10-12	2,26	СТ	Canonical	Восток	В	spring	В	В
	5/1976	9-11	1,12	СТ	Canonical	Центр	ЛОП*	summer	ЛОК	ЛО
	5/1982	11-1	2,51	СТ	Canonical	Восток	В	spring	В	ЛО
	5/1997	10-12	2,49	СТ	Canonical	Восток	В	spring	В	В
9/2006	12	0,93	-	Canonical	Восток	-	-	ЛОК	-	
4/2015	11-1	2,43	-	-	Восток	-	-	-	-	
Осенний центральный	10/1885	11-12	1,03	-	-	-	-	-	ЛОП	-
	9/1911	11-1	1,51	-	-	-	ЛОК	-	ЛОК	-
	1/1940	3-5/1941	1,35	-	-	-	ЛОП	-	ЛОП	-
	11/1968	11-12	0,83	-	Modoki	-	ЛОП*	summer	ЛОП*	В
	10/1977	11-12	0,75	WP	Modoki	Центр	*(76)	-	ЛОК	-
	10/1986	7-9	1,53	mixed	Modoki	Центр	ЛОП	-	ЛОП	ЛО
	10/1991	12-2	1,35	mixed	Modoki	Восток	В	spring	В	В
	10/1994	11-1	0,98	WP	Modoki	Центр	ЛОК	summer	ЛОК	В
	9/2002	11-12	1,16	WP	Modoki	Центр	-	-	ЛОК	-
	7/2009	11-1	1,52	-	-	Центр	-	-	-	-

Сравнение результатов временной классификации разных авторов показало, что практически все весенние типы этой классификации [7, 8] согласуются с ВВТ. Исключением стало лишь Эль-Ниньо 1991 г., которое по анализируемому в работе данным началось осенью (см. табл. 1). В сравнении с классификацией Ксю и Чана (Xu, Chan) [6] в ОЦТ попали два летних типа, что связано с различием в подходах интенсификации событий Эль-Ниньо.

Предложенные виды классификации сравнивались между собой на предмет атмосферных откликов разных типов явления Эль-Ниньо в районах локализации важнейших атмосферных центров действия атмосферы в Атлантико-Евразийском регионе: Азорского максимума (25° – 50° с.ш., 40° з.д.– 10° в.д.), Исландского минимума (50° – 75° с.ш., 40° з.д.– 10° в.д.) и Сибирского зимнего максимума (45° – 70° с.ш., 70° – 125° в.д.). В рассмотрении не участвовали классы, выделенные на уровне низкой статистической значимости, в нашем случае, количество событий в которых не превышало пяти.

Сравнение проводилось следующим образом. Для каждого класса строились композитные карты естественных аномалий приземного давления. Далее, для каждой узловой точки на пространственной сетке $2,5^{\circ} \times 2,5^{\circ}$ оценивалась повторяемость композитной величины по следующему алгоритму:

- последовательно для каждого события Эль-Ниньо, входящего в текущий класс, сравнивалась величина естественной аномалии давления и величина с композитной карты, деленная пополам;
- в случае, если аномалия соответствовала по знаку и превышала по модулю заданное условие, в счетчик на текущем шаге добавлялась единица;
- после завершения сравнения по узловым точкам и событиям текущего класса, значение счетчика делилось на количество событий, умноженное на количество узловых точек. Назовем в текущей работе это отношение *средней повторяемостью класса*.

Полученная величина находилась для каждого класса различных классификаций в месяцы октябрь–декабрь года

"0" Эль-Ниньо и с января по август "+1" года. При этом для каждого месяца выбирались несколько классов, отличительной чертой которых была высокая в сравнении с остальными величина повторяемости. При отборе так же учитывалась длина ряда. По этой причине классификация Куга не анализировалась. Результаты отбора приведены в табл. 2 (классификация Хори не вошла в таблицу из-за отсутствия значимых результатов).

Результаты и обсуждение. Оценки проявлений классификации Эль-Ниньо разных авторов в Атлантико-Евразийских откликах наиболее характерных географо-климатических районах: Азорском максимуме, Исландском минимуме и Сибирском максимуме, приведены в табл. 2. При этом типы классификации, включающие 5 и менее событий, не приведены. Из сравнения видно, что объективная пространственно-временная классификация [9] показала большую повторяемость реальных откликов. Охарактеризуем полученный результат.

При весенне-летнем восточном типе с октября по декабрь года "0" наблюдается значимое усиление Сибирского и Азорского максимума и ослабление влияния Исландского минимума, что может привести к ранней зиме в Центральной Азии и Северной Европе и сухому теплему лету в Южной Европе. Март "+1" года характеризуется значимой отрицательной аномалией давления в Сибирском максимуме, что может стать причиной теплой весны в Центральной Азии.

При осеннем центральном типе в октябре года "0" отмечается ослабление Сибирского максимума и усиление Исландского минимума, что может приводить к проникновению циклонов в Центральную Азию. В декабре "0" года значительно усиливается Североатлантическое колебание (САК). В феврале "+1" года Исландский минимум смещается на юг, в то же время Азорский максимум ослабевает (рис. 1). Подобные условия могут привести к смещению траекторий циклонов в Центральную и Южную Европу. С февраля по апрель "+1" года Сибирский антициклон смещается к юго-

западу, что способствует свободному распространению арктической воздушной массы в Восточную и Юго-восточную Европу, и, как следствие, наступлению поздней весны в этих регионах. В апреле "+1" года наблюдаются схожие с февральскими условия изменения САК: Исландский минимум смеща-

ется к югу, а Азорский максимум ослабевает. В июле "+1" года отмечено усиление Азорского максимума и ослабление Исландского минимума, вследствие чего июнь должен быть сухим и жарким для средних широт Европы. В августе "+1" года САК заметно усиливается.

Таблица 2. Результаты сравнения классификации Эль-Ниньо. А – Азорский максимум, И – Исландский минимум, С – Сибирский максимум, "+" – положительная аномалия давления, "-" – отрицательная аномалия давления, "+/-" – в центре действия атмосферы присутствуют как положительные, так и отрицательные аномалии давления, что может говорить о его смещении

месяц	Центр действия атм.	Achok		Лубков		Xu		Воскресенская, 2015		Воскресенская, 2010			Воскресенская, 2006	
		sanonical	modoki	ВВТ	ОЦТ	Spring	Summer	Центральный	Восточный	ЛОК	ЛОП	В	ЛО	В
год "0"	10	А			+		+					+		
		И			+	-								-
		С			+	-								
	11	А	+									+		
		И		+				+						+
		С			+									
	12	А				+		+				+		
		И			+	-		+						
		С			+			+						+
Год "+1"	1	А												
		И					-					-		-
		С		+				-						
	2	А										+		
		И				+/-								
		С	+	-					-					-
	3	А							+					
		И					-		+/-				-	-
		С				+/-								
	4	А				+/-		-						
		И				-								
		С			-	+/-		-	-					
	5	А						+	-					
		И										+		
	6	А										+		
		И												
	7	А				+								
		И		+		+		+						
	8	А		+		+								
		И				-								

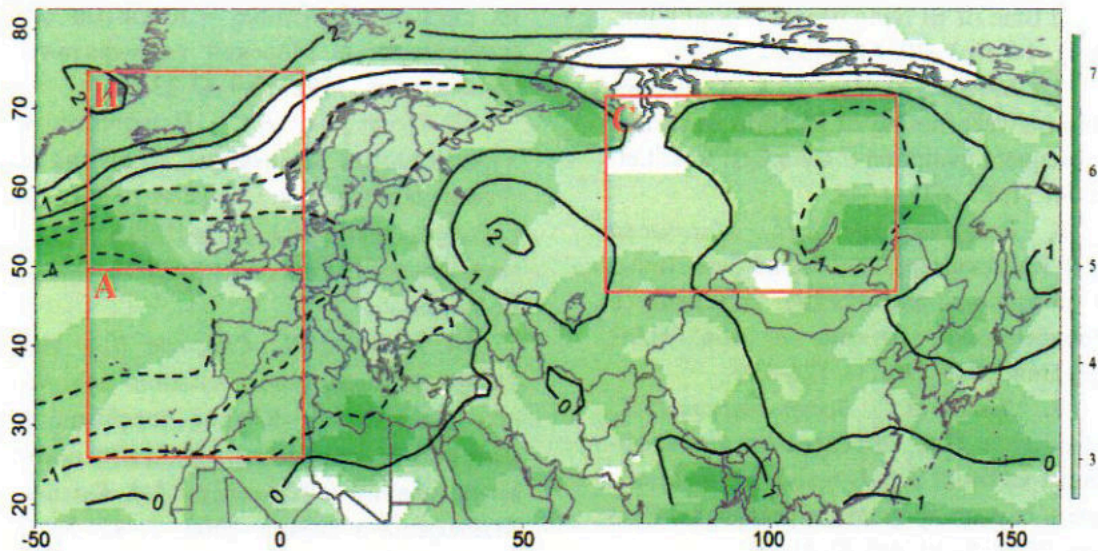


Рис. 1. Композитная карта аномалий приземного давления в феврале "+1" года осеннего центрального типа Эль-Ниньо. А – Азорский максимум, И – Исландский минимум, С – Сибирский максимум. Оттенками зеленого цвета обозначена повторяемость аномалии

Заключение. Сравнительный анализ существующего набора классификаций Эль-Ниньо разных авторов показал выигрышность объективной пространственно-временной классификации для изучения климатических откликов в Атлантико-Евразийском регионе.

С учетом выделенных типов событий Эль-Ниньо получена характеристика откликов в Азорском максимуме, Исландском минимуме и Сибирском максимуме. На этой основе сделаны прогностические оценки типичных климатических аномалий в регионе.

Для событий весеннего восточного типа свойственны ранние зима и весна в центральной Азии, при этом Северной Европе типична холодная ранняя зима, а Южной – теплая и сухая.

Для событий осеннего центрального типа ключевыми особенностями являются усиление Североатлантического колебания в декабре "+1" года, приводящее к относительно теплой и влажной погоде в центральной и Северной Европе и сухой – в Южной и Восточной. При этом смещение Сибирского антициклона в феврале-апреле на юго-запад может привести к поздней весне для юго-восточной Европы.

Работа выполнена частично при финансовой поддержке грантов РФФИ проект № 16-05-00231 А и проект 16-35-00186 мол_а.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Philander S.G. El Niño, La Niña and the Southern Oscillation. San Diego: Academic Press. 1990. 289 p.
2. McPhaden M.J., Zebiak S.E., Glantz M.H. ENSO as an integrating concept in Earth science // Science. 2006. V. 314. № 5806. P. 1740–1745.
3. El Nino Modoki and its possible teleconnection / K. Ashok, S.K. Behera, S.A. Rao [et al.] // J Geophys Res. 2007. № 112. C11007.
4. Yuan Y., Yang H., Li C.Y. Study of El Nino events of different types and their potential impact on the following summer precipitation in China (in Chinese) // Acta Meteorol Sin. 2012. № 70. P. 467–478.
5. Kug J.S., Jin F.F., An S.I. Two types of El Nino events: Cold tongue El Nino and warm pool El Nino // J. Clim. 2009. № 22. P. 1499–1515.
6. Xu J., Chan J.C.L. The role of the Asian-Australian monsoon system in the

onset time of El Nino events // *J. of Clim.* 2001. 14. № 3. PP. 418–433.

7. *Horii T., K. Hanawa K.* A relationship between timing of El Nino onset and subsequent evolution // *Geophys. Res. Lett.* 2004. 31. P. 1634–1648.

8. *Воскресенская Е.Н., Михайлова Н.В.* Классификация событий Эль-Ниньо и погодно-климатические аномалии в Черноморском регионе // *Доп. НАН України.* 2010. № 3. С. 124–130.

9. *Лубков А.С., Воскресенская Е.Н., Марчукова О.В.* Объективная классификация явлений Эль-Ниньо // *Использование и охрана природных ресурсов в России.* 2017. № 1 (149). С. 41–44.

10. *Lin X.C., Yu S.Q.* El Nino and rainfall during the flood season (June-August) in China (in Chinese) // *Acta Meteorol Sin.* 1993. № 51. P. 434–441.

11. *Polonsky A., Voskresenskaya E.* Interannual variability in the Tropical and North Atlantic associated with the Pacific Ocean ENSO events // *Contemporary Climatology. Proc. of the meeting of the Commission on Climatology of the IGU.* Brno. 1994. P. 467–472.

12. *Воскресенская Е.Н., Полонский А.Б.* Североатлантические колебания и

их связь с Эль-Ниньо – Южными осцилляциями // *Морской гидрофизический журнал.* 1992. № 4. С. 23–30.

13. *Нестеров Е.С.* Изменчивость характеристик атмосферы и океана в Атлантико-европейском регионе в годы событий Эль-Ниньо и Ла-Нинья // *Метеорология и гидрология.* 2000. № 8. С. 74–83.

14. *Мохов И.И., Смирнов Д.А.* Исследование взаимного влияния процессов Эль-Ниньо – Южное колебание и Северно-Атлантического и Арктического колебаний // *Известия РАН. Физика атмосферы и океана.* 2006. Т. 42. № 5. С. 650–667.

15. *Воскресенская Е.Н., Лубков А.С., Марчукова О.В.* Пространственная классификация Эль-Ниньо и условия формирования события 2015 года // *Системы контроля окружающей среды.* Севастополь: ИПТС. 2015. № 2 (22). С. 80–90.

16. *Воскресенская Е.Н., Михайлова Н.В.* Эль-Ниньо разных типов и особенности их проявления в Атлантико-Европейском регионе // *Системы контроля окружающей среды.* Севастополь: МГИ НАНУ. 2006. С. 307–310.

RECENT EL-NIÑO CLASSIFICATION AND ASSOCIATED CLIMATE RESPONSE COMPARISONS FOR THE ATLANTIC-EURASIAN REGION

A.S. Lubkov, E.N. Voskresenskaya, O.V. Marchukova

Institute of Natural and Technical Systems, Russian Federation, Sevastopol, Lenin St., 28

Comparative study of El Niño classification after different authors results and approaches. The preferences of objective spatio-temporal classification which done earlier by the authors of present paper were shown for climate manifestation study over the Atlantic-Eurasian region. Using of NCEP/NCAR reanalysis data on sea level pressure in 1948–2016 the El-Nino types manifestations were estimated in Azor high, Iceland low and Siberian anticyclone. На этой основе сделаны соответствующие прогностические оценки типичных климатических аномалий в Атлантико-Евразийском регионе. Next, the previous predictions of typical climate anomalies in the Atlantic-Eurasian region associated with El Niño types were done in the paper.

Keywords: El Niño, classification, spatio-temporal features, atmospheric responses, ocean-atmosphere system.