

Термические условия формирования и реализации пожарных обстановок в степных регионах Северной Евразии

В. М. Павлейчик[✉], Э. Р. Языковаев, Ж. Т. Сивохин

Институт степи УрО РАН, Российской Федерации
(46000, г. Оренбург, ул. Пионерская, 11)

Аннотация. Цель – анализ многолетних изменений в температурном режиме степных регионов Северной Евразии в качестве одного из факторов пространственно-временной неоднородности пожарных обстановок.

Материалы и методы. Основными источниками послужили данные Глобальной исторической климатологической сети NOAA/NCEI (GHCN версия 4) и архивы FIRMS, содержащие сведения о посугочном распределении горевших территорий (продукт MCD64A1).

Результаты и обсуждение. Результаты расчета значений температурных отклонений от базового периода (1961-1990 годы) по 71 метеостанции в степных регионах Северной Евразии и на сопредельных территориях свидетельствуют о пространственной неоднородности в многолетней динамике аномалий и фиксируют наибольший прирост температур в Западно-Причерноморском секторе. Выявлено, что наиболее значимое и повсеместное нарастание температур (более 1 °C) отмечалось в 1991-2020 годы в мае, августе и октябре. Установлено увеличение продолжительности теплых метеорологических сезонов в среднем на 8-10 дней. Выявлено отсутствие тесной зависимости повышенной пожароопасности от интенсивности развития волн тепла. Подтверждено общерегиональное сокращение площадей пожаров на фоне усиления благоприятности метеоклиматических условий, а также установлена высокая вариативность сезонного распределения пожаров.

Выводы. Климатические и метеорологические показатели, принимаемые для сопоставления и анализа, отражают лишь степень благоприятности условий, но не обязательно соотносятся с фактической активностью пожаров.

Ключевые слова: температура, изменение климата, аномалии, тренды, природные пожары, многолетняя динамика, степная зона, Северная Евразия.

Источник финансирования: Исследование выполнено при поддержке гранта РНФ № 23-27-00134 «Природные пожары в степных регионах Евразии как индикатор природных и социально-экономических изменений».

Для цитирования: Павлейчик В.М., Языковаев Э.Р., Сивохин Ж. Т. Термические условия формирования и реализации пожарных обстановок в степных регионах Северной Евразии // Вестник Воронежского государственного университета. Серия: География. Геоэкология, 2025, № 1, с. 99-107. DOI: <https://doi.org/10.17308/geo/1609-0683/2025/1/99-107>

ВВЕДЕНИЕ

Наиболее заметным проявлением трансформации глобального климата является интенсивное увеличение температуры воздуха в последние 40-50 лет [12]. Значимые изменения отмечаются на территории России [1, 2, 6], для южных регионов прирост годовых температур в 1976-2020 годы в среднем составил 0,4-0,6 °C/10 лет, к концу XXI столетия ожидается снижение количества летних осадков на 5-15 % [7]. Трансформация климатической системы сопровождается разнообразными региональными откликами, проявляющимися, в том числе, усилением частоты возникновения аномальных метеорологических явлений.

В числе последствий климатических изменений рассматривается и проблема усложнения пожарных обстановок. Актуальность пирологических исследований обусловлена тем, что природные пожары остаются одной из проблем обеспечения экологической и экономической безопасности различных регионов мира, а также

механизмом трансформации природных ландшафтов и экосистем. Исследования, связанные с изучением пожарных режимов, так или иначе сталкиваются с необходимостью объяснения причин их многолетней неоднородности [10, 14]. В расчетах и долгосрочных прогнозах, наряду с рейтинговыми системами пожарной опасности, также применяют непосредственно показатели температуры и атмосферных осадков [14, 15, 18].

Основной задачей исследования стало выявление многолетней и сезонной динамики температуры воздуха как фактора пространственно-временной неоднородности пожарных обстановок в степных регионах Северной Евразии и на сопредельных территориях.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Для пространственно-временного анализа климатических изменений принята схема [5], образуемая пересечением зональных и секторальных границ. В качестве исходных данных приняты ряды метеона-



блодений за 1961-2020 годы по 71 метеостанции (МС) (рис. 1), источник – набор гомогенизированных данных глобальной климатологической сети NOAA/NCEI (GHCN версия 4). Анализируемый параметр – данные по температуре приземного слоя воздуха в суточном, месячном и годовом выражениях. В качестве базового принят период 1961-1990 годы.

Для части репрезентативных МС, расположенных в центральной части степного пояса, использованы данные по температуре из тематических справочников, базы данных ВНИИГМИ-МЦД и других источников. На их основе вычислены коэффициенты аномалий Багрова и Токарева, значения комплексного показателя пожарной опасности (индекс Нестерова), гидротермического коэффициента Селянинова (ГТК), «волны тепла» (количество дней с максимальными суточными температурами $+30^{\circ}\text{C}$ и выше). Рассчитаны коэффициенты линейного тренда и оценена их статистическая значимость – $p \leq 0,05$, $p \leq 0,01$ и $p \leq 0,001$. Схемы, отображающие пространственную динамику изменения температур, были сгенерированы с использованием аналитического сервиса NASA GISTEMP [16]. За исходные данные о многолетней динамике пожаров приняты архивы FIRMS за 2001-2020 годы (продукт MCD64A1).

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

К объективным сложностям оценки роли погодных условий и климатических показателей в формировании региональных пожарных обстановок можно отнести непродолжительность баз данных по пожарам и высокая значимость других факторов. Помимо баз данных FIRMS (2001-2020), приняты во внимание результаты собствен-

ных исследований по многолетней динамике пожаров (1985-2021) [4, 5] и данные из литературных источников по отдельным степным и пустынным регионам Северной Евразии [8, 11, 15, 17, 18, 19]. Исходя из анализа вышеуказанных источников в последнем 30-летнем периоде достаточно объективно выделяется три фазы: 1991-2000 – пожары единичны и охватывают небольшие площади на фоне высокого уровня пастбищной деградации угодий и земледельческой освоенности; 2001-2010 – период максимальной активности пожаров в условиях восстановившегося растительного покрова и формирования массивов залежных земель; 2011-2020 – период сокращения активности пожаров. Данная периодизация отображена на отдельных рисунках ниже по тексту (I, II, III соответственно).

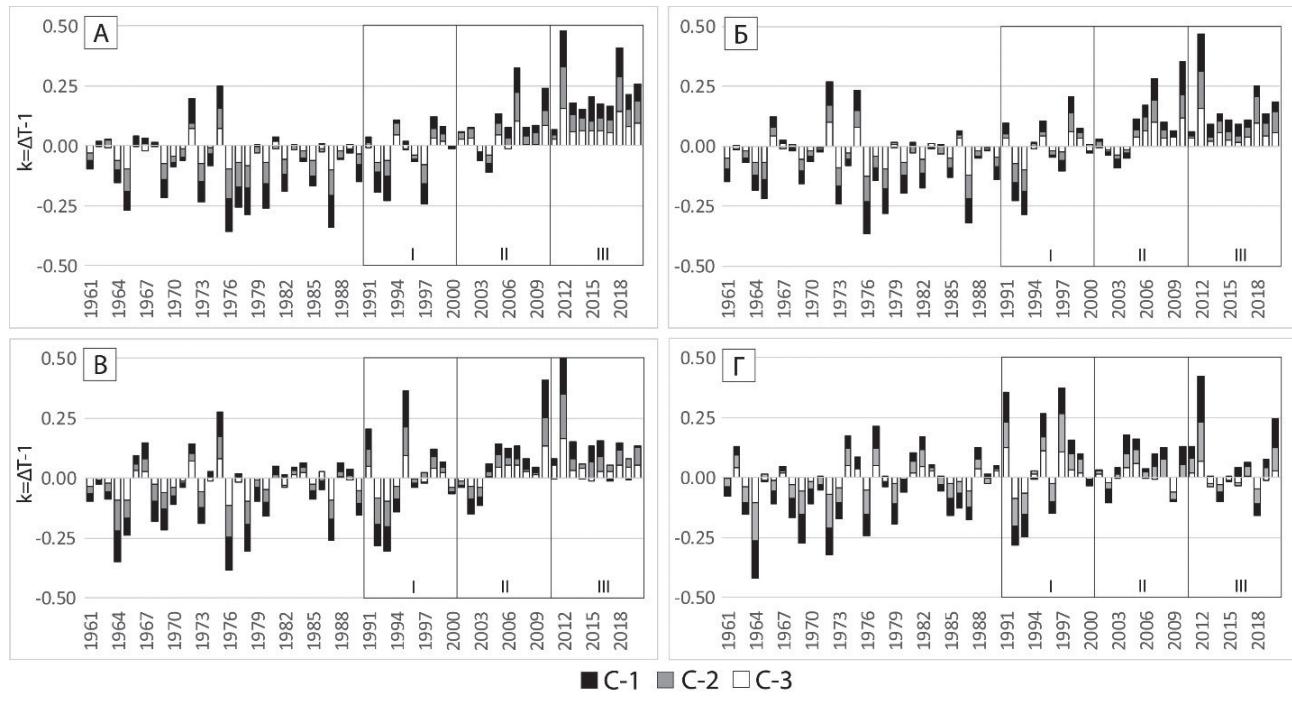
Первоначальным этапом исследований стало выявление наиболее общих закономерностей в трансформации климата степей Северной Евразии и прилегающих природных зон. Ниже (рис. 2) отражена динамика многолетнего распределения температур за пожароопасный период, нормированных пересчетом на модульный коэффициент значений отклонения от базового периода.

Выявлено, что наибольший прирост температур фиксируется в Западно-Причерноморском секторе, практически по всем природным зонам превышающая 1°C с максимумом в $1,23^{\circ}\text{C}$ в средних степях, что согласуется с долгосрочными прогнозами [12]. По мере продвижения на восток значения отклонений сокращаются по всем подзонам степи и по лесостепи до $0,65-0,70^{\circ}\text{C}$. Наименьшее потепление ($0,24^{\circ}\text{C}$) отмечается в южных степях Урало-Алтайского сектора. Еще один максимум отклонений температуры ($0,9-1,1^{\circ}\text{C}$) связан с подзона-



Условные обозначения: 1 – сеть МС международного обмена; 2 – МС, данные которых были приняты в расчетах; 3 – обозначения и границы секторов (А – Западно-Причерноморский, Б – Волго-Донской, В – Волго-Уральский, Г – Урало-Алтайский); 4 – природные зоны и подзоны (ЛС – лесостепь, С – степь (1, 2, 3 – северная, типичная и южная), П – пустыня (1, 2, 3 – северная, типичная и южная)); 5 – подзоны степной зоны

Рис. 1. Схема расположения МС в степной зоне Северной Евразии
[Fig. 1. The layout of the MS in the steppe zone of Northern Eurasia]



Условные обозначения: Секторы – А – Западно-Причерноморский, Б – Волго-Донской; В – Волго-Уральский, Г – Урало-Алтайский. Модульные коэффициенты отклонений – С-1 – северная степь, С-2 – средняя степь, С-3 – южная степь (данные представлены в накопленном виде)

Рис. 2. Многолетнее распределение аномалий средних температур за пожароопасный период (IV-X) по секторам и подзонам степной зоны

[Fig. 2. Long-term distribution of average temperature anomalies for the fire-hazardous period (IV-X) by sectors and subzone of the steppe zone]

ми пустынь в трех восточных секторах. Таким образом, в Волго-Уральском и Урало-Алтайском секторах, обладающих наиболее полным рядом природных зон и подзон, нарастание отклонений наблюдается с севера на юг, от лесостепи к пустыням.

При помощи аналитического сервиса NASA GISTEMP [16] определено, что по всей степной зоне Северной Евразии и сопредельным территориям, нарастание температур более 1 °C отмечалось в 1991-2020 годы в октябре, а также в августе (за исключением Урало-Алтайского сектора). В остальные месяцы пожароопасного периода значимые превышения затрагивали в основном Западно-Причерноморский сектор (июнь и июль). Резкое увеличение числа возгораний в начале 2000-х годов могло быть спровоцировано повышением температур в мае и в августе-сентябре, тогда как во многие другие месяцы (апрель, июнь, а также июль и октябрь для Урало-Алтайского сектора) температурные значения были ниже, чем в предшествующий период (1991-2000). Периоды 2001-2010 и 2011-2020 годы в целом не показывали значимых различий, а во временной отрезок август-октябрь температуры практически повсеместно и заметно сокращались, особенно в двух восточных секторах. Следовательно, в качестве одного из предположений возможной климатической обусловленности наступления и реализации периодов повышенной пожарной опасности можно рассматривать нарастание температур с августа по октябрь.

Из приводимых ниже данных (рис. 3) заметно, что два рассматриваемых 30-летия кардинально различаются по направленности многолетней динамики температур и значимости линейных трендов. Период 1991-2020 годы характеризуется практически повсеместным нарастанием температуры, за исключением слабо выраженных трендов апреля и октября. Повсеместная и отчетливо выраженная трансформация температурного режима наиболее всего затронула май и август, несколько менее значимые изменения отмечаются в июле. В 1991-2020 годы из всех секторов лишь Западно-Причерноморский испытывает постоянный рост температур по всем месяцам года.

Несомненно, что одним из последствий нарастания температур является перераспределение метеорологических сезонов года [9]. Так, для рассматриваемого региона характерной тенденцией стало сокращение продолжительности метеорологической зимы, и, соответственно, увеличение пожароопасного периода. Параметры смещения дат и продолжительности метеорологических сезонов показаны на примере МС Оренбург (рис. 4).

Нарастание продолжительности пожароопасных сезонов в среднем за весь период (1961-2020) составляет около 4-5 дней летом и столько же осенью. По летнему сезону обнаруживается чередование четырех периодов (1961-1974, 1975-1987, 1988-2003, 2004-2020) продолжительностью 13-16 лет каждый, между которыми отличия в продолжительности лета составляют уже 10-15 дней в

A (1961-1990)		IV				V				VI				
		ЧМ	ВД	ВУ	УА	ЧМ	ВД	ВУ	УА	ЧМ	ВД	ВУ	УА	
ЛС		-0,25	0,05	0,07	0,13	0,01	0,00	-0,07	-0,30	-0,21	-0,01	0,97	0,56	
C1		-0,09	0,18	0,06	0,08	-0,17	-0,13	-0,14	-0,19	-0,12	0,21	0,84**	0,55*	
C2		-0,09	0,22	0,12	-0,15	0,02	-0,39	-0,24	-0,16	-0,23	0,03	0,66*	0,43*	
C3		0,05	0,43	0,16	0,01	-0,08	-0,28	-0,32	-0,16	-0,21	0,26	0,55	0,17	
П1		0,58	0,27	0,19			-0,20	-0,34	-0,17		0,34	0,70	0,74***	
П2			0,50	0,18				-0,29	-0,43			0,49*	0,48*	
VII		VIII				IX				X				
		ЧМ	ВД	ВУ	УА	ЧМ	ВД	ВУ	УА	ЧМ	ВД	ВУ	УА	
-0,12	-0,39	0,19	0,04			-0,09	-0,33	0,29	0,44	-0,06	-0,30	0,03	-0,03	
-0,43	-0,08	0,20	0,11			-0,31	-0,15	0,01	0,47*	-0,30	-0,12	0,00	0,22	
-0,23	-0,17	0,16	0,21			-0,18	-0,14	-0,03	0,54**	-0,26	0,02	0,01	0,29	
-0,07	0,09	0,24	0,12			0,00	0,14	0,01	0,35	-0,07	0,19	0,17	0,26	
	0,25	0,49	0,58*				0,24	0,17	0,54*		0,34	0,38	0,40	
		0,34	0,44					0,25	0,28			0,36	0,45	
Б (1991-2020)		IV				V				VI				
		ЧМ	ВД	ВУ	УА	ЧМ	ВД	ВУ	УА	ЧМ	ВД	ВУ	УА	
ЛС		0,76*	0,44	-0,03	0,79	0,51**	0,86*	0,41	-0,05	0,83***	0,84*	-0,31	-0,10	
C1		0,26	-0,16	0,18	0,96**	0,84*	0,70	0,69	0,37	0,94**	0,32	-0,05	0,09	
C2		0,41	-0,03	0,08	0,81	0,77*	0,75	0,83*	0,32	0,93***	1,02**	0,16	-0,20	
C3		0,31	-0,02	-0,07	1,01*	0,84**	1,00**	1,07**	0,48	1,15***	1,15***	0,67	0,33	
П1		-0,04	-0,08	0,98			0,94**	1,16**	1,66***		0,86**	0,66	0,99*	
П2			0,08	0,43					1,23***	1,12***			0,80**	0,49
VII		VIII				IX				X				
		ЧМ	ВД	ВУ	УА	ЧМ	ВД	ВУ	УА	ЧМ	ВД	ВУ	УА	
0,54*	0,42	0,38	-0,01			0,87***	0,96**	0,81*	0,57**	1,17***	1,04**	0,18	0,34	
0,44	0,34	0,60	0,26			1,06***	0,62	0,92*	0,69**	1,12**	0,47	0,24	0,31	
0,42	0,70*	0,74*	0,08			0,88***	0,88**	0,94**	0,48	1,08***	0,86**	0,40	0,14	
0,66*	0,62*	0,96**	0,45			1,00***	0,74*	0,92*	0,83**	1,24***	0,59	0,37	0,41	
	0,60*	0,98**	1,51***				0,70*	0,97*	1,24**		0,58	0,50	0,77**	
		0,74***	0,85**					0,47	0,59*			0,34	0,35	

Условные обозначения: Секторы – ЧМ – Западно-Причерноморский, ВД – Волго-Донской; ВУ – Волго-Уральский; УА – Урало-Алтайский. Выделены ячейки с отрицательными значениями.

Уровни статистической значимости: * – $p \leq 0,05$, ** – $p \leq 0,01$ и *** – $p \leq 0,001$

Рис. 3. Помесячное распределение значений линейных трендов среднесуточных температур за периоды (А – 1961-1990, Б – 1991-2020)

[Fig. 3. Monthly distribution of values of linear trends of average daily temperatures for the periods (A – 1961-1990, B – 1991-2020)]

среднем выражении. Заметим, что фазы высокой активности пожаров (II-III на рис. 4 Б) соотносятся с повышенными значениями продолжительности метеорологического лета с тенденцией увеличения. Максимальные различия в продолжительности сезонов за 1961-2020 годы составляют 67 дней для безморозного периода (2008 – 258 дней, 1976 – 190 дней) и 62 дня для метеорологического лета (1975 – 150 дней, 1993 – 88 дней).

Расчет коэффициентов аномалий Багрова и Токарева за 30-летние и 10-летние (для 1991-2020 годов) периоды проведен для 21 МС, полученные результаты по

наиболее репрезентативным МС представлены ниже (табл.). Приводимые данные отражают однотипную общерегиональную направленность в нарастании температурных аномалий.

Очевидно, что продолжительный по времени повышенный температурный фон, часто сопровождающийся отсутствием атмосферных осадков и высокой скоростью ветра, является благоприятным для возникновения и распространения пожаров. Ниже (рис. 5) приведены данные по МС Оренбург, за волну тепла приняты дни с максимальной суточной температурой $>30^{\circ}\text{C}$.

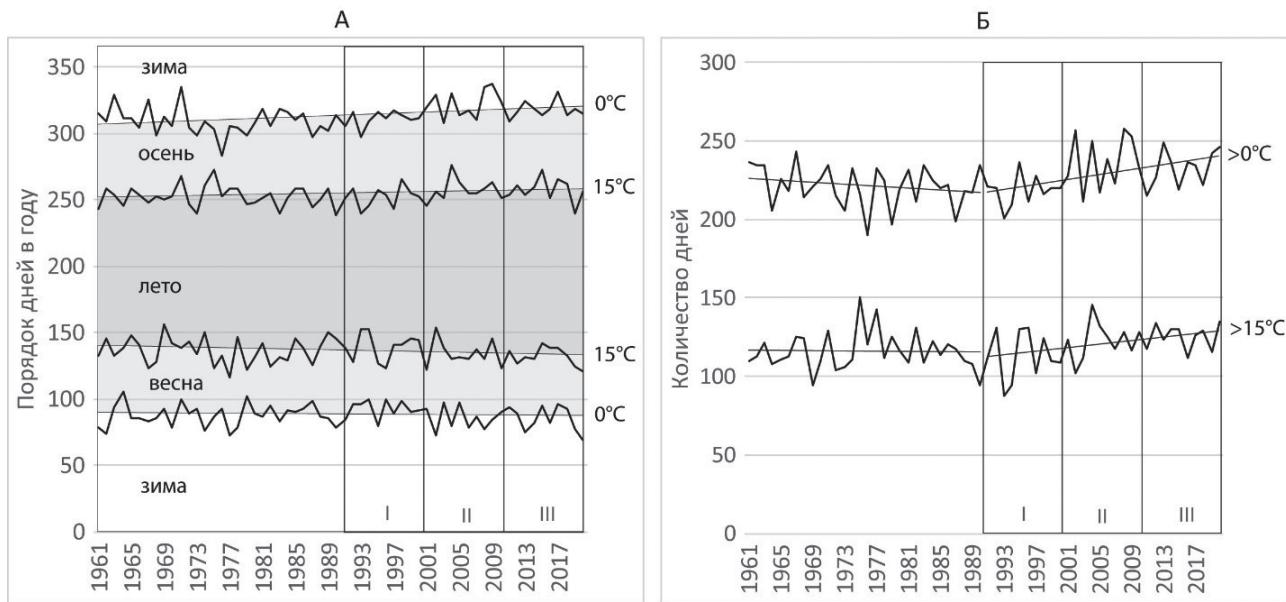


Рис. 4. Смещение дат (А) и продолжительности (Б) метеорологических сезонов года (МС Оренбург)
 [Fig. 4. Offset of dates (A) and duration (B) of meteorological seasons of the year (MS Orenburg)]

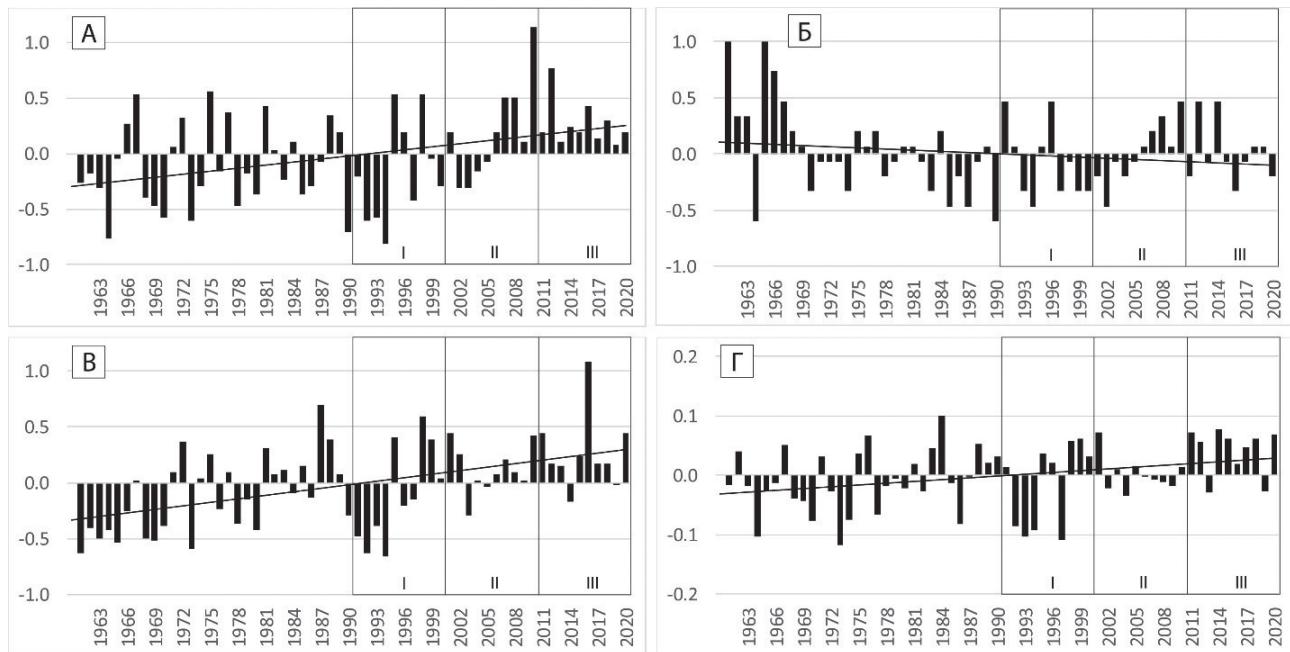
Таблица

Показатели аномалий температуры за периоды
 [Table. Indicators of temperature anomalies for periods]

Показатель* / Indicator*	Периоды / Periods						
	1901–1930	1931–1960	1961–1990	1991–2020	1991–2020		
					1991–2000	2001–2010	2011–2020
МС Стерлитамак (лесостепь)							
К-Багров		3,36	3,15	3,92	3,5	3,33	4,94
К-Токарев		0,38	0,07	2,76	0,63	2,91	4,75
N+/10 лет		13,67	15,33	27,67	16,0	33,0	34,0
Σ+/10 лет		43,33	40,6	131,17	55,08	115,67	222,78
МС Оренбург (северная степь)							
К-Багров	2,97	3,25	3,03	3,27	3,08	3,0	3,74
К-Токарев	-1,12	-0,64	-0,12	2,01	0,33	1,96	3,62
N+/10 лет	8,0	8,67	14,33	20,67	13,0	23,0	26,0
Σ+/10 лет	18,43	22,06	33,47	71,51	39,79	70,65	104,1
МС Уральск (типичная степь)							
К-Багров	2,63	3,22	3,01	3,39	3,1	3,1	3,98
К-Токарев	-1,35	-1,0	-0,26	2,3	1,11	1,79	3,98
N+/10 лет	8,8	8,67	14,67	22,0	18,0	21,0	27,0
Σ+/10 лет	17,63	22,68	33,13	74,05	51,18	59,31	111,67
МС Тайпак (южная степь/северная пустыня)							
К-Багров		3,28	3,18	3,5	3,16	3,21	4,13
К-Токарев		-1,27	0,15	2,36	0,53	2,41	4,13
N+/10 лет		10,0	13,67	24,33	19	25	29
Σ+/10 лет		26,36	37,53	87,62	55,16	86,33	121,37

Примечание. *К-Багров – индекс Багрова (средний), К-Токарев – индекс Токарева (средний), N+/10 лет – количество положительных месячных аномалий (в пересчете на 10 лет), Σ+/10 лет – сумма значений положительных аномалий (в пересчете на 10 лет).

[Note. *K-Bagrov – Bagrov index (average), K-Tokarev – Tokarev index (average), N+/10 years – the number of positive monthly anomalies (calculated for 10 years), Σ+/10 years – the sum of the values of positive anomalies (calculated for 10 years)].



Условные обозначения: Распределение отклонений от нормированных значений:

А – суммы дней с температурой $>30^{\circ}\text{C}$, Б – количества волн тепла за пожароопасный период,
В – средней продолжительности волн тепла (дней); Г – абсолютного годового максимума температуры ($^{\circ}\text{C}$)

Рис. 5. Характеристики волн тепла по МС Оренбург
[Fig. 5. Characteristics of heat waves according to MS Orenburg]

Несмотря на предполагаемую зависимость повышенной пожароопасности от интенсивности развития волн тепла, ни один из приведенных выше показателей не объясняет причину активизации пожаров в начале 2000-х годов. Лишь значения суммы дней с температурой $>30^{\circ}\text{C}$ с запозданием (с 2007 года) достигают стабильно высоких и постоянных значений с тенденцией сокращения. Замечено, что макрорегиональные волны тепла в отдельные годы и периоды могут как способствовать возникновению и массовому распространению пожаров, так и не оказывать существенного влияния. Данное несоответствие отражает один из аспектов методологической сложности при оценке роли климата и метеоусловий в формировании и реализации пожарных обстановок.

К вопросу о внутригодовой неоднородности развития пожаров приведем схему многолетнего распределения площадей пожаров по месяцам года (рис. 6 А). Заметен спад развития пожаров в 2001-2020 годах, а также разнообразие периодов, в которые природные возгорания получили максимальное развитие. Чаще всего, но далеко не всегда, наибольший вклад вносят пожары июля-августа (их доля в среднемноголетнем выражении достигает более 60 %), несколько меньше – июня и сентября. В отдельные исключительные годы максимум пожаров приходился на октябрь (71 % от площади пожаров за год в 2003 году), либо на июнь (70 % от площади пожаров за год в 2015 году). Это подтверждает, что пожарная обстановка может реализовываться в краткие сроки, независимо от метеоусловий остальной части пожароопасного периода.

Многолетнее распределение пожаров по месяцам в долях площади пожаров за год (рис. 6 Б) показывает на усиление роли пожаров в апреле и июне-августе и на сокращение доли пожаров в сентябре-октябре. Таким образом отмечается сокращение активности пожаров в осенние месяцы на благоприятном фоне потепления в эти же месяцы и увеличения продолжительности метеорологической осени.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Проведенное исследование позволило подтвердить последовательное нарастание температуры воздуха и усиление аномальности в степных, лесостепных и пустынных регионах Северной Евразии. Выявлено, что степень выраженности региональных откликов на глобальные климатические изменения пространственно дифференцирована исходя из широтно-зонального положения и степени континентальности. В многолетней динамике температуры воздуха зафиксирован макрорегиональный тренд, предполагающий усложнение пожарных обстановок. Вместе с тем, практически повсеместно наблюдается сокращение численности и совокупных годовых площадей пожаров.

Важно понимать, что пожарные режимы складываются из наличия и взаимодействия трех обязательных составляющих – наличие топлива, источников возгорания и благоприятных погодных условий для возникновения и распространения пожаров [13]. Со сложностью взаимодействий между этими тремя составляющими, а также с неопределенностью в отношении человеческого фактора связаны проблемы прогнозирования пожарных режимов [14]. Поэтому любой из метеорологиче-

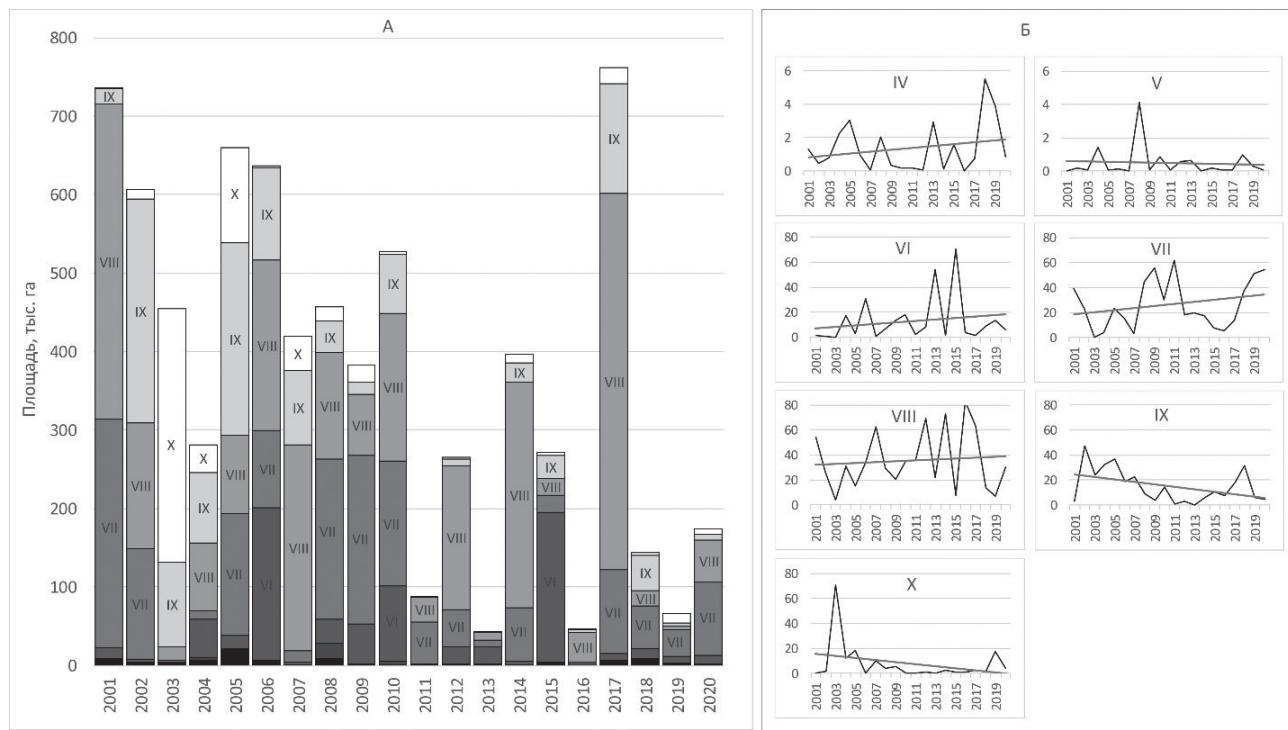


Рис. 6. Помесячное распределение площадей пожаров (А) и вклад пожаров по месяцам в % (Б).

Выборка по подзоне средних степей Волго-Уральского сектора

[Fig. 6. Monthly distribution of fire areas (A) and the contribution of fires by month in % (B).

Sample for the subzone of the middle steppes of the Volga-Ural sector]

ских показателей, принимаемых для сопоставления и анализа, отражает лишь степень благоприятности условий, но не обязательно соотносится с фактической активностью пожаров [3]. Наблюдающиеся изменения в региональном климате определяют необходимость корректировки противопожарных мероприятий и адаптации сложившихся систем природопользования, в том числе связанных с использованием огня в сельскохозяйственных целях.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Золотокрылин А. Н., Черенкова Е. А., Титкова Т. Б. Арифметизация засушливых земель Европейской части России и связь с засухами // *Известия РАН. Серия географическая*, 2020, № 2, с. 207-217.

2. Климатические изменения на территории России в конце XX – начале XXI века / Переведенцев Ю. П., Васильев А. А., Шерстюков Б. Г. и др. // *Метеорология и гидрология*, 2021, № 10, с. 14-26.

3. Особенности формирования и реализации пожароопасных обстановок в Урало-Каспийском регионе в аномально жаркие и засушливые годы / Павлейчик В. М., Языков Э. Р., Сивохин Ж. Т. и др. // *Известия Иркутского государственного университета. Серия «Науки о Земле»*, 2023, т. 43, с. 62-78.

4. Павлейчик В. М., Сивохин Ж. Т. Многолетняя динамика пожаров в южных степях Северного Прикаспия и Мугоджар // *Известия Иркутского государственного университета. Серия «Науки о Земле»*, 2023, т. 44, с. 88-106.

5. Павлейчик В. М., Чибисов А. А., Падалко Ю. А. Пирологическая обстановка в степях Северной Евразии // *Доклады Российской академии наук. Науки о Земле*, 2022, т. 505, № 2, с. 213-220.

6. Попова В. В. Современные изменения климата на севере Евразии как проявление вариаций крупномасштабной атмосферной циркуляции // *Фундаментальная и прикладная климатология*, 2018, т. 1, с. 84-111.

7. Третий оценочный доклад об изменениях климата и их последствиях на территории Российской Федерации. Санкт-Петербург: Росгидромет, 2022. 676 с.

8. Шинкаренко С. С., Дорошенко В. В., Берденгалиева А. Н. Динамика площади гарей в зональных ландшафтах юго-востока европейской части России // *Известия РАН. Серия географическая*, 2022, т. 86, № 1, с. 122-133.

9. Ширяева А. В., Ширяев М. В., Семенов В. А. Изменения продолжительности устойчивых теплого и холодного сезонов на территории России в начале XXI века // *Доклады Российской академии наук. Науки о Земле*, 2018, т. 481, № 2, с. 207-210.

10. A global wildfire dataset for the analysis of fire regimes and fire behavior / Artes T., Oom D., de Rigo D. et al. // *Scientific Data*, 2019, vol. 6, pp. 296.

11. An analysis of the dynamics of areas affected by steppe fires in Western Kazakhstan on the basis of Earth remote sensing data / Shinkarenko S. S., Berdengalieva A. N., Doroshenko V. V. et al. // *Arid ecosystems*, 2023, vol. 13, № 1, pp. 29-38.

12. *Climate Change 2021: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* / IPCC, 2021. 2391 p.

13. Climate-induced variations in global wildfire danger from 1979 to 2013 / Jolly W., Cochrane M., Freeborn P. et al. *Nature Communications*, 2015, no. 6, pp. 7537.

14. Defining pyromes and global syndromes of fire regimes / Archibald S., Lehmann C., Gómez-Dans J., et al. // *PNAS*, 2003, vol. 110, no. 16, pp. 6442-6447.

15. Dubinin M., Lushchekina A., Radeloff V. Climate, Livestock, and Vegetation: What Drives Fire Increase in the Arid Ecosystems of Southern Russia? // *Ecosystems*, 2011, vol. 14, pp. 547-562.
16. GISS Surface Temperature Analysis / NASA Goddard Institute for Space Studies. – URL: <https://data.giss.nasa.gov/gistemp/maps/> (accessed 12.05.2023). – Text: electronic.
17. Post-Soviet Land-Use Change Affected Fire Regimes on the Eurasian Steppes / Dara A., Baumann M., Hölzel N. et al. // *Ecosystems*, 2020, vol. 23, no. 3.
18. Xu Y., Lin Z., Wu C. Spatiotemporal Variation of the Burned Area and Its Relationship with Climatic Factors in Central Kazakhstan // *Remote Sensing*, 2021, vol. 13, no. 2, pp. 313.
19. Zong X., Tian X., Yin Y. Impacts of Climate Change on Wildfires in Central Asia // *Forests*, 2020, vol. 11, no. 8, pp. 802.

Конфликт интересов: Авторы декларируют отсутствие явных и потенциальных конфликтов интересов, связанных с публикацией настоящей статьи.

Поступила в редакцию: 25.01.2024
Принята к публикации: 20.02.2025

ATMOSPHERIC AND CLIMATE SCIENCES

UDC 502.57 (252.51): 614.84
DOI: <https://doi.org/10.17308/geo/1609-0683/2025/1/99-107>

ISSN 1609-0683

Thermal Conditions of Formation and Realization of Fire-Hazardous Situations in the Steppe Regions of Northern Eurasia

V. M. Pavleychik[✉], E. R. Yazykbaev, J. T. Sivohip

*Institute of Steppe of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences,
Russian Federation
(11, Pionerskaya Str., Orenburg, 46000)*

Abstract. The purpose is to analyze long-term changes in the temperature regime of the steppe regions of Northern Eurasia as one of the factors of spatial and temporal heterogeneity of fire situations.

Materials and methods. The main data sources for the analysis were data from the NOAA/NCEI Global Historical Climatology Network (GHCN version 4) and the FIRMS archives containing information on the daily distribution of burned areas (product MCD64A1).

Results and discussion. The results of calculating the values of temperature deviations from the base period (1961-1990) for 71 weather stations in the steppe regions of Northern Eurasia and adjacent territories reflect spatial heterogeneity in the long-term dynamics of anomalies and record the largest increase in temperatures in the Western Black Sea sector. It was revealed that the most significant and widespread increase in temperatures (more than 1 °C) was observed 1991-2020 in May, August and October. An increase in the duration of warm meteorological seasons by an average of 8-10 days has been established. The absence of a close dependence of the increased fire hazard on the intensity of the development of heat waves was revealed. A region-wide reduction in fire areas has been confirmed against the background of increasing favourable meteorological conditions. A high variability in the seasonal distribution of fires has been established.

Conclusions. The climatic and meteorological indicators used for comparison and analysis reflect only the degree of favorable conditions, but do not necessarily correlate with the actual activity of fires.

Key words: temperature, climate change, anomalies, trends, wildfires, long-term dynamics, steppe zone, Northern Eurasia.

Funding: The study was supported by the Russian National Science Foundation Grant No. 23-27-00134 «Wildfires in the steppe regions of Eurasia as an indicator of natural and socio-economic changes».

For citation: Pavleychik V. M., Yazykbaev E. R., Sivohip J. T. Thermal Conditions of Formation and Realization of Fire-Hazardous Situations in the Steppe Regions of Northern Eurasia. *Vestnik Voronezhskogo gosudarstvennogo universiteta. Seria: Geografi a. Geoekologiya*, 2025, № 1, p. 99-107 (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.17308/geo/1609-0683/2025/1/99-107>

REFERENCES

1. Zolotokrylin A. N., Cherenkova E. A., Titkova T. B. Aridizacija zasushlivykh zemel' Evropejskoj chasti Rossii i svyaz' s zasuhami [Aridization of drylands in the European part of Russia: secular trends and links to droughts]. *Izvestija RAN. Serija geograficheskaja*, 2020, no. 2, pp. 207-217. (In Russ.)
2. Klimaticheskie izmenenija na territorii Rossii v konce XX - nachale XXI veka [Climate change on the territory of Russia in the late 20th-early 21st centuries] / Perevedencev Ju. P., Vasil'ev A. A., Sherstjukov B. G. et al. *Meteorologija i gidrologija*, 2021, no. 10, pp. 14-26. (In Russ.)
3. Osobennosti formirovaniya i realizacii pozharoopasnyh obstanovok v Uralo-Kaspiskom regione v anomal'no zharkie i zasushlivye gody [Features of the formation and implementation of fire-hazardous situations in the Ural-Caspian region in abnormally hot and dry years] / Pavleychik V. M., Yazykbaev E. R., Sivo-

© Pavleychik V. M., Yazykbaev E. R., Sivohip J. T., 2025

✉ Vladimir M. Pavleychik, e-mail: vmpavleychik@gmail.com



The content is available under Creative Commons Attribution 4.0 License.

hip Zh. T. et al. *Izvestija Irkutskogo gosudarstvennogo universiteta. Serija «Nauki o Zemle»*, 2023, vol. 43, pp. 62-78. (In Russ.)

4. Pavleychik V.M., Sivohip Zh. T. Mnogoletnjaja dinamika pozharov v juzhnyh stepyah Severnogo Prikaspija i Mugodzhar [Long-term dynamics of fires in the southern steppes of the Northern Caspian Sea and Mugodzhar]. *Izvestija Irkutskogo gosudarstvennogo universiteta. Serija «Nauki o Zemle»*, 2023, vol. 44, pp. 88-106. (In Russ.)

5. Pavleychik V.M., Chibilev A.A., Padalko Ju.A. Pirologicheskaja obstanovka v stepyah Severnoj Evrazii [The pyrological situation in the steppes of Northern Eurasia]. *Doklady Rossijskoj akademii nauk. Nauki o Zemle*, 2022, vol. 505, no. 2, pp. 213-220. (In Russ.)

6. Popova V.V. Sovremennye izmenenija klimata na severe Evrazii kak projavlenie variacij krupnomasshtabnoj atmosfernoj cirkulacii [Modern climate changes in the north of Eurasia as a manifestation of variations of large-scale atmospheric circulation]. *Fundamental'naja i prikladnaja klimatologija*, 2018, vol. 1, pp. 84-111. (In Russ.)

7. *Tretij oceanochnyj doklad ob izmenenijah klimata i ih posledstvijah na territorii Rossijskoj Federacii* [The third assessment report on climate change and its consequences on the territory of the Russian Federation]. Saint Petersburg: Rosgidromet, 2022. 676 p. (In Russ.)

8. Shinkarenko S.S., Doroshenko V.V., Berdengalieva A.N. Dinamika ploshchadi garej v zonal'nyh landshaftah jugo-vostoka evropejskoj chasti Rossii [Burned areas dynamics in zonal landscapes of the South-East of the European part of Russia]. *Izvestija RAN. Serija geograficheskaja*, 2022, vol. 86, no. 1, pp. 122-133. (In Russ.)

9. Shirjaeva A.V., Shirjaev M.V., Semenov V.A. Izmenenija prodolzhitel'nosti ustojchivyh teplogo i holodnogo sezono na territorii Rossii v nachale XXI veka [Changes in the duration of stable cold and warm seasons at the beginning of the 21st century in Russia]. *Doklady Rossijskoj akademii nauk. Nauki o Zemle*, 2018, vol. 481, no. 2, pp. 207-210. (In Russ.)

Павлейчик Владимир Михайлович

Кандидат географических наук, ведущий научный сотрудник отдела ландшафтной экологии Института степи УрО РАН, г. Оренбург, Российская Федерация, ORCID: 0000-0002-2846-0442, e-mail: vmpavleychik@gmail.com

Языкова Ельдар Римьевич

Младший научный сотрудник отдела ландшафтной экологии Института степи УрО РАН, г. Оренбург, Российская Федерация, ORCID: 0009-0009-2818-5645, e-mail: eld178@mail.ru

Сивохип Жанна Тарасовна

Кандидат географических наук, доцент, ведущий научный сотрудник Института степи УрО РАН, г. Оренбург, Российская Федерация, ORCID: 0000-0001-5704-0554, e-mail: sivohip@mail.ru

10. A global wildfire dataset for the analysis of fire regimes and fire behavior / Artes T., Oom D., de Rigo D. et al. *Scientific Data*, 2019, vol. 6, pp. 296.

11. An analysis of the dynamics of areas affected by steppe fires in Western Kazakhstan on the basis of Earth remote sensing data / Shinkarenko S.S., Berdengalieva A.N., Doroshenko V.V. et al. // *Arid ecosystems*, 2023, vol. 13, no. 1, pp. 29-38.

12. *Climate Change 2021: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* / IPCC, 2021. 2391 p.

13. Climate-induced variations in global wildfire danger from 1979 to 2013 / Jolly W., Cochrane M., Freeborn P. et al. *Nature Communications*, 2015, no. 6, pp. 7537.

14. Defining pyromes and global syndromes of fire regimes / Archibald S., Lehmann C., Gómez-Dans J. et al. *PNAS*, 2003, vol. 110, no. 16, pp. 6442-6447.

15. Dubinin M., Lushchekina A., Radloff V. Climate, Livestock, and Vegetation: What Drives Fire Increase in the Arid Ecosystems of Southern Russia? *Ecosystems*, 2011, vol. 14, pp. 547-562.

16. *GISS Surface Temperature Analysis* / NASA Goddard Institute for Space Studies. – URL: <https://data.giss.nasa.gov/gistemp/maps/> (accessed 12.05.2023). – Text: electronic.

17. Post-Soviet Land-Use Change Affected Fire Regimes on the Eurasian Steppes / Dara A., Baumann M., Hölzel N. et al. *Ecosystems*, 2020, vol. 23, no. 3.

18. Xu Y., Lin Z., Wu C. Spatiotemporal Variation of the Burned Area and Its Relationship with Climatic Factors in Central Kazakhstan. *Remote Sensing*, 2021, vol. 13, no. 2, pp. 313.

19. Zong X., Tian X., Yin Y. Impacts of Climate Change on Wildfires in Central Asia. *Forests*, 2020, vol. 11, no. 8, pp. 802.

Conflict of interests: The authors declare no information of obvious and potential conflicts of interest related to the publication of this article.

Received: 25.01.2024

Accepted: 20.02.2025

Vladimir M. Pavleychik

Cand. Sci. (Geogr.), Leading Researcher at the Institute of Steppe of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences, Orenburg, Russian Federation, ORCID: 0000-0002-2846-0442, e-mail: vmpavleychik@gmail.com

Eldar R. Yazykbayev

Junior Researcher at the Institute of Steppe of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences, Orenburg, Russian Federation, ORCID: 0009-0009-2818-5645, e-mail: eld178@mail.ru

Zhanna T. Sivohip

Cand. Sci. (Geogr.), Assoc. Prof., Leading Researcher at the Institute of Steppe of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences, Orenburg, Russian Federation, ORCID: 0000-0001-5704-0554, e-mail: sivohip@mail.ru