Физико-географические исследования

УДК 551.583(470.325)(045)

О.В. Крымская, И.А. Крымский, А.А. Крымская, Ж.А. Буряк

ИЗМЕНЕНИЯ АГРОКЛИМАТИЧЕСКИХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ В XXI ВЕКЕ НА ТЕРРИТОРИИ БЕЛГОРОДСКОЙ ОБЛАСТИ[1]

Исследование посвящено анализу агроклиматических показателей, характеризующих термический режим и увлажнение территории Белгородской области, и выявлению временных тенденций их изменчивости с 1971 по 2022 гг. За последние пятьдесят лет установлен повсеместный рост сумм активных температур – на 13 %, продолжительности периода активной вегетации – на 6 %. Преобладающей тенденцией является сокращение осадков теплого периода в большинстве пунктов и рост количества осадков в холодный период года на востоке области. По условиям увлажнения большая часть области перешла из зоны недостаточного увлажнения ($1{,}3 \geq$ ГТК > 1) в статус засушливой зоны ($1 \geq$ ГТК $> 0{,}7$). В XXI веке произошли изменения в продолжительности сезонов года: зимний сезон сократился в среднем на 3 недели, а летний и осенний – увеличились на 2 и 1 неделю соответственно. В продолжительности весны значительных изменений не обнаружено, но ее наступление сместилось на более ранние сроки.

Ключевые слова: термические ресурсы, показатели увлажненности, изменение климата, Белгородская область.

DOI: 10.35634/2412-9518-2024-34-1-54-64

Белгородская область, занимая всего 0,2 % от площади страны, обеспечивает 4,5 % общероссийского производства продукции сельского хозяйства, являясь по этому показателю лидером ЦФО [1]. Для повышения эффективности сельскохозяйственного производства, включающего получение высоких урожаев и развитие высокопродуктивного животноводства, настоятельной необходимостью становится оценка климата для наиболее рационального использования природных ресурсов территории.

Начало глобального потепления обычно соотносят с серединой 70-х годов прошлого века. Согласно оценкам Росгидромета, средние темпы потепления приземного воздуха над сушей за период 1976–2020 гг. составили 0,295 °С/10 лет в глобальном масштабе, а на территории Белгородской области потепление климата происходило примерно в 2 раза интенсивнее, составив 0,7 °С за 10 лет [2–4].

Первые десятилетия этого периода преобладало так называемое «потепление по зимнему типу», поскольку рост температур отмечался преимущественно в холодном полугодии, чаще всего с января по март. Сравнение климатических норм для среднемесячных температур воздуха за два периода (1961–1990 гг. и 1991–2020 гг.) показало увеличение температур этих месяцев на всех метеостанциях Белгородской области в среднем на 2–2,5 °С. Но с конца XX века наметилось увеличение температур теплого времени года, при этом наиболее существенно выросли среднемесячные температуры воздуха с июня по август – в среднем на 1–1,5 °С [5; 6].

За исследуемый период изменения в суммах осадков метеостанций области были не столь однозначны: значительное увеличение (на 57 %) по сравнению с периодом 1961–1990 гг. зафиксировано в суммах осадков холодного полугодия (с октября по март) на востоке области (Новый Оскол), уменьшение осадков теплого полугодия зафиксировано в Валуйках (на 11 %), Белгороде (на 18 %) и Готне (на 25 %) [2].

Сравнение полученных данных с аналогичными суммами, приведенными в научно-прикладном справочнике по климату СССР [7], показывает, что наблюдавшееся ранее преобладание осадков теплого полугодия над осадками холодного времени года сохранилось лишь для Б.-Фенино (север области). В остальных пунктах разнонаправленные тенденции в изменении этих показателей привели к сокращению разницы между осадками, выпадающими в разные периоды года.

Оценивая в целом для области изменения в условиях увлажнения, можно утверждать, что преобладающей тенденцией является сокращение осадков теплого периода и рост количества осадков в холодный период года.

[1] Работа выполнена в рамках программы «Приоритет – 2030» №20180180 «Управление процессом воспроизводства экосистем в агроландшафтах».

Полученные результаты в целом согласуются с выводами аналогичных работ, оценивающих региональные проявления глобального потепления климата [8–11]. Рост теплообеспеченности периода активной вегетации, отмечаемый на значительной части земледельческой зоны России, не обеспечивается необходимым количеством осадков, что ведет к повышению засушливости климата в основных зернопроизводящих регионах страны [12]. Повторяемость засух в Центральном Черноземье сейчас в среднем составляет 10 % [13].

Наблюдаемые и ожидаемые климатические изменения определяют необходимость в долгосрочном агроэкономическом планировании для успешной адаптации российского аграрного производства к негативным изменениям климата. Сложность агроэкологической интерпретации наблюдаемых изменений климата определяется тем, что связи между климатом и агроэкосистемами нелинейны, а результаты хозяйственной деятельности определяются многими факторами. В то же время не вызывает сомнения, что продуктивность агроэкосистем в значительной мере определяется компонентами климатической системы, среди которых важнейшие – поток солнечной радиации, температура и влажность воздуха и почвы, режим осадков.

Целью данного исследования является анализ агроклиматических показателей территории Белгородской области и выявление пространственно-временных тенденций их изменчивости.

Объекты и методы исследований

Информационной основой исследования являются открытые данные суточных наблюдений за температурой воздуха и атмосферными осадками за 1980–2022 гг. пяти метеорологических станций, расположенных на территории Белгородской области, а также фондовые материалы Росгидромета за период 1970–2022 гг. [2; 14].

Для расчетов был написан макрос на языке *VBA MS Excel*, позволивший определить даты устойчивого перехода среднесуточной температуры воздуха через 0 °С (начало весны, начало зимы), 5 °С (начало и конец периода вегетации), 10 °С (начало и конец периода активной вегетации), 15 °С (начало и конец лета), суммы активных температур, суммы осадков за год и период активной вегетации, показатели увлажнения.

Изменения в режиме осадков во многом определяются особенностями атмосферной циркуляции. В соответствии с исследованиями института географии РАН в 1981–1997 гг. наблюдался рост продолжительности выходов южных циклонов на Европейскую территорию России, что привело к росту осадков. В конце XX века был отмечен рост блокирующих антициклональных процессов, что определило нестабильность внутригодового режима осадков с тенденцией их дефицита в летний период и участившейся повторяемостью метеорологических экстремумов [15; 16].

При определении биоклиматического потенциала территории оцениваются термические условия, обеспеченность влагой вегетационного периода и условия перезимовки растений. К числу агроклиматических показателей, характеризующих термические условия, относят: продолжительность вегетационного периода и периода активной вегетации, суммы активных температур, даты ранних осенних и поздних весенних заморозков, средние температуры воздуха наиболее теплого месяца, средние из абсолютных максимумов температуры воздуха.

Обеспеченность влагой в период вегетации оценивают по: суммам осадков по месяцам вегетационного периода, суммам активных температур, продолжительности и вероятности периодов без осадков, вероятности суховеев.

Анализ изменений, произошедших в увлажнении вегетационного периода за период с 1980 по 2020 гг., был проведен с использованием нескольких показателей: индекса сухости Будыко (ИС), гидротермического коэффициента Селянинова (ГТК) и коэффициента увлажнения Сапожниковой (КУ) [17]. Коэффициент увлажнения (КУ) учитывает осадки теплого и холодного периодов, но последние входят с меньшим удельным весом. В этом основное отличие метода оценки влагообеспеченности по С.А. Сапожниковой от ГТК Селянинова, где учитываются только осадки с июня по август. Испаряемость оценивается по суммам активных температур ($T_{ср.сут.}$>10 °С) за разные периоды и с разными удельными весами. Если коэффициенты КУ и ГТК определяются отношением осадков к испаряемости, то индекс сухости представляет обратный им показатель, поскольку определяется отношением испаряемости к годовому количеству осадков. Формулы для расчетов указанных показателей увлажнения:

$$КУ = \frac{0{,}5 \cdot P_х + P_т}{0{,}18 \cdot \sum T_{10}} \quad (1)$$

$$ГТК = \frac{P_{VI\text{-}VIII}}{0{,}1 \cdot \sum T_{VI\text{-}VIII}} \quad (2)$$

$$ИС = \frac{0{,}18 \cdot \sum T_{10}}{P} \quad (3)$$

где P – сумма годовых осадков; $P_{VI\text{-}VIII}$ – сумма осадков за период с июня по август; $P_х$ и $P_т$ – сумма осадков холодного и теплого периодов года; $0{,}18 \cdot \sum T_{10}$ – испаряемость за год; $0{,}1 \cdot \sum T_{VI\text{-}VIII}$ – испаряемость за июнь–август [11; 18].

Результаты и их обсуждение

За период 1981–2020 гг. были отмечены положительные статистически значимые тренды в изменении температур месяцев теплого полугодия – с июня по сентябрь от 0,7 до 0,9 ºС/10 лет. В холодном полугодии такая тенденция отмечена для октября (0,6–0,7 ºС/10 лет) и для марта (0,8–0,9 ºС/10 лет). Положительные тренды в изменении температур остальных месяцев года оказались статистически не значимы.

Рост среднемесячных температур не был монотонным: сравнение осредненных по десятилетиям значений показало, что в последнем десятилетии (2011–2020 гг.) по сравнению с предыдущим десятилетним периодом произошел значительный (более чем на 1 ºС) рост температур в апреле, июне и декабре. Такой же по величине рост температур был отмечен при сравнении периодов 1991–2000 гг. и 2001–2010 гг. в марте, июле, августе, сентябре, ноябре и декабре. Значительное потепление февраля было отмечено при сравнении периодов 1981–1990 и 1991–2000 гг. Лишь в январе и октябре наблюдался постепенный рост их значений от периода к периоду. Период 1991–2000 гг. характеризовался самыми низкими средними температурами мая, ноября и декабря.

Изменения показателей термического режима территории Белгородской области за последние 40 лет проследим на примере среднемесячных температур воздуха января и июля, осредненных методом скользящих средних с периодом в двадцать лет. В табл. 1 приведены средние значения за двадцатилетие, предшествовавшее указанному году.

Таблица 1

Изменения показателей термического режима территории Белгородской области за 1981–2020 гг.

Метеостанция	Год		
	2000	2010	2020
Средняя температура января, °С			
Б.-Фенино	–6,4	–6,1	–6,2
Белгород	–5,7	–5,5	–5,7
Валуйки	–5,3	–5,1	–5,0
Готня	–5,9	–5,6	–5,7
Новый Оскол	–5,8	–5,6	–5,5
Средняя температура июля, °С			
Б.-Фенино	19,0	20,1	20,6
Белгород	19,7	20,7	21,4
Валуйки	20,3	21,4	22,0
Готня	19,2	20,3	20,8
Новый Оскол	20,0	21,1	21,7

Очевидно, что рост как январских, так и июльских температур был наибольшим между периодами 1981–2000 гг. и 1990–2010 гг., но затем рост июльских температур продолжился, хоть и с меньшей скоростью, а январских – практически прекратился. На наш взгляд, это следствие преобладания меридиональной атмосферной циркуляции, приводящей к росту повторяемости блокирующих анти-

циклонов, с которыми связаны как положительные (летом), так и отрицательные (зимой) аномалии температуры.

Одним из показателей, с помощью которого можно оценить степень благоприятности условий для перезимовки сельскохозяйственных культур, является повторяемость мягких зим (с температурой самого холодного месяца года не ниже –5 °С). Подсчет числа случаев мягких зим по десятилетним периодам показал, что на западе (Готня) и севере (Б.-Фенино) области такие зимы стали фиксироваться в два раза реже, в остальных пунктах также произошло снижение повторяемости мягких зим, но не столь значительное.

Наряду с этим на погоду в регионе оказывают влияние выходы на территорию южных циклонов, несущих обильные осадки. Особую тревогу вызывает тенденция увеличения в лесостепной зоне повторяемости сильных ливней [19], перемежающихся с длительными бездождными периодами. Такие изменения в режиме осадков способствуют развитию водной эрозии почв, что резко снижает их потенциальную продуктивность.

В последнем десятилетнем периоде зафиксировано учащение сильных снегопадов в Новом Осколе, при этом месячные суммы осадков более чем в 2 раза превышали норму (из 8 таких случаев 7 пришлось на период 2010–2020 гг.). В XXI веке в Белгороде, Валуйках и Б.-Фенино таких обильных снегопадов не зафиксировано, в Готне был лишь один такой случай.

Наблюдаемые в последние десятилетия изменения в термическом режиме территории области должны были отразиться на продолжительности сезонов года. Наиболее значительные изменения коснулись основных сезонов – зимы и лета. В табл. 2 приведены средние значения за двадцатилетие, предшествовавшее указанному году.

Таблица 2

Изменение продолжительности сезонов года на территории Белгородской области за 1981–2022 гг.

Метеостанция	Год			
	2000	2010	2020	2022
Продолжительность летнего сезона, сут.				
Б.-Фенино	107	107	117	117
Белгород	111	114	124	124
Валуйки	112	116	127	127
Готня	109	110	118	118
Новый Оскол	112	115	122	121
Продолжительность зимнего сезона, сут.				
Б.-Фенино	131	118	104	107
Белгород	125	114	99	101
Валуйки	113	104	95	98
Готня	126	115	100	101
Новый Оскол	120	112	98	100

Если в XX веке максимальной продолжительностью отличался зимний сезон, то в последние 20 лет из-за увеличения на 1,5–2 недели летнего сезона и одновременно сокращения зимы на 20–25 дней, теперь именно лето – наиболее длинный сезон в Белгородской области.

В продолжительности весны значительных изменений не обнаружено, но ее наступление сместилось на более ранние сроки. Осенний сезон увеличился более чем на 10 дней на севере и западе области и на 3–6 дней в центре и на востоке области.

Важнейшими климатическими индексами для оценки термических ресурсов являются суммы среднесуточных температур, превышающих 10 °С, и продолжительность периодов со среднесуточной температурой, превышающей 5 и 10 °С. Для оценки изменений в продолжительности вегетационного периода были определены даты устойчивого перехода среднесуточной температуры воздуха через 5 и 10 °С по всем пяти метеостанциям за период с 1971 по 2022 годы. Данные, полученные скользящим осреднением с периодом двадцать лет, приведены в табл. 3.

За последние пятьдесят лет продолжительность вегетационного периода на территории области увеличилась в среднем на две недели (от 13 до 16 дней). Следует отметить, что с 80-х годов прошлого

века увеличилась и изменчивость этой характеристики, что свидетельствует о неустойчивости установления новых границ вегетационного периода, когда раннее весеннее потепление прерывается вторжениями арктического воздуха.

Продолжительность периода активной вегетации за исследуемый период также увеличилась, на севере области (Б.-Фенино) – на 4 дня, в остальных пунктах увеличение составило от 8 до 11 дней. Наименьшая изменчивость этой характеристики отмечена в Б.-Фенино, наибольшая – на юге (Валуйки) и востоке (Новый Оскол) области.

Таблица 3

Изменения агроклиматических показателей скользящих двадцатилетних периодов гидрометеостанций Белгородской области

Последний год периода	Продолжительность периода со среднесуточной температурой, превышающей 5 °С, сут.									
	Б.-Фенино		Белгород		Валуйки		Готня		Н. Оскол	
	M	σ	M	σ	M	σ	M	σ	M	σ
1990	**194**	**13,1**	**198**	**12,9**	**202**	**15,9**	**196**	**12,2**	**197**	**12,8**
1995	195	13,0	198	13,5	204	15,4	197	12,2	198	13,1
2000	197	13,4	201	14,1	209	13,5	200	13,1	201	13,7
2005	197	13,1	201	13,1	209	15,1	200	13,1	203	13,6
2010	201	16,1	206	15,7	211	14,0	205	15,7	207	15,0
2015	203	18,0	208	17,0	212	15,7	207	16,9	208	16,9
2020	206	18,2	212	18,1	215	17,7	211	18,4	211	16,2
2022	**207**	**17,9**	**214**	**18,0**	**215**	**18,5**	**211**	**19,2**	**213**	**16,1**
Последний год периода	Продолжительность периода со среднесуточной температурой, превышающей 10 °С, сут									
1990	**160**	**16,3**	**161**	**15,4**	**166**	**14,4**	**158**	**12,3**	**162**	**13,8**
1995	154	12,5	159	16,0	167	16,4	156	13,0	161	15,2
2000	156	12,8	162	15,3	167	15,6	159	13,1	163	15,3
2005	157	12,3	164	14,2	169	15,4	162	13,7	163	16,5
2010	159	13,1	165	14,9	170	16,3	163	15,8	165	17,8
2015	163	11,8	168	13,5	171	14,7	165	13,3	168	15,8
2020	164	11,4	173	13,4	176	14,9	169	12,4	171	14,9
2022	**164**	**12,6**	**172**	**15,2**	**175**	**16,3**	**167**	**13,5**	**170**	**16,2**

Примечание: M – оценка математического ожидания случайной величины; σ – оценка среднеквадратического отклонения.

Произошедшие изменения в продолжительности периода активной вегетации должны были проявиться увеличением сумм активных температур, поэтому аналогичная работа была проведена для определения тенденций в изменении сумм активных температур. Полученные результаты сведены в табл. 4.

Сумма активных температур за последние 50 лет увеличилась в среднем на 13 %. При этом уменьшилась и изменчивость этой характеристики, что косвенно свидетельствует об устойчивости выявленной тенденции.

Учитывая рост теплообеспеченности вегетационного периода, актуальной задачей является оценка происходящих изменений в увлажненности территории Белгородской области, поскольку большая часть региона относится к зоне лесостепи, т.е. недостаточного увлажнения.

Разделив период исследования на две части (1981–2000 гг. и 2001–2020 гг.), определили повторяемость формирования условий засушливости в каждом из них. Значение ГТК<1, характеризующее условия как засушливые и очень засушливые, во втором периоде отмечалось в 1,5 (Белгород, Б.-Фенино, Валуйки, Новый Оскол) и в 2,5 (Готня) раза чаще, чем в первом периоде. Максимальная повторяемость засушливых условий (71 %) характерна для Белгорода, в остальных пунктах она составляла 50–60 %.

Осреднение среднегодовых значений ГТК методом скользящих средних подтвердило рост засушливости вегетационных периодов, наиболее значительно проявившийся в Белгороде и Готне в конце XX века, а в Валуйках – в последнем десятилетнем периоде XXI века (табл. 5).

Таблица 4

Изменения сумм активных температур скользящих двадцатилетних периодов гидрометеостанций Белгородской области

Последний год периода	Суммы среднесуточных температур, превышающих 10 °С									
	Б.-Фенино		Белгород		Валуйки		Готня		Н. Оскол	
	M	σ	M	σ	M	σ	M	σ	M	σ
1990	**2461**	**314**	**2611**	**320**	**2732**	**293**	**2493**	**308**	**2626**	**316**
1995	2412	259	2568	272	2687	255	2456	266	2580	274
2000	2482	219	2643	222	2759	215	2541	221	2673	218
2005	2494	216	2663	235	2792	224	2571	238	2693	257
2010	2584	228	2755	266	2889	255	2659	246	2798	278
2015	2709	237	2882	280	3004	250	2772	247	2912	270
2020	2767	198	2979	246	3102	210	2845	208	2982	238
2022	**2760**	**202**	**2979**	**247**	**3094**	**218**	**2826**	**223**	**2975**	**240**

Примечание: M – оценка математического ожидания случайной величины; σ – оценка среднеквадратического отклонения.

Анализ осредненных по десятилетиям значений ИС показал несколько иную картину: за последние сорок лет отмечены незначительные изменения в Новом Осколе и Б.-Фенино, быстрое равномерное увеличение засушливости в Белгороде, рост засушливости в последнем десятилетии в Готне и Валуйках (табл. 5).

Таблица 5

Изменение показателей увлажнения скользящих десятилетних периодов по данным метеостанций Белгородской области

Гидротермический коэффициент (ГТК)										
Последний год периода	Б.-Фенино		Белгород		Валуйки		Готня		Н. Оскол	
	M	σ	M	σ	M	σ	M	σ	M	σ
1990	1,22	0,35	1,21	0,28	1,10	0,33	1,36	0,41	1,07	0,35
2000	1,12	0,27	0,89	0,26	1,03	0,26	1,07	0,35	0,98	0,28
2010	0,99	0,30	0,89	0,46	1,01	0,38	1,00	0,43	0,95	0,27
2020	1,17	0,38	0,75	0,25	0,82	0,21	0,90	0,28	0,95	0,43
Индекс сухости (ИС)										
Последний год периода	Б.-Фенино		Белгород		Валуйки		Готня		Н. Оскол	
	M	σ	M	σ	M	σ	M	σ	M	σ
1990	0,76	0,17	0,75	0,11	0,87	0,18	0,72	0,18	0,92	0,17
2000	0,78	0,17	0,90	0,21	0,89	0,20	0,75	0,15	0,92	0,24
2010	0,83	0,14	1,04	0,18	0,94	0,17	0,80	0,16	0,94	0,20
2020	0,88	0,18	1,19	0,24	1,07	0,16	1,00	0,19	0,93	0,15
Коэффициент увлажнения (КУ)										
Последний год периода	Б.-Фенино		Белгород		Валуйки		Готня		Н. Оскол	
	M	σ	M	σ	M	σ	M	σ	M	σ
1990	1,09	0,31	1,07	0,14	0,92	0,18	1,13	0,29	0,90	0,19
2000	1,08	0,21	0,93	0,18	0,93	0,15	1,10	0,26	0,93	0,21
2010	0,96	0,26	0,76	0,16	0,85	0,17	1,00	0,30	0,86	0,27
2020	0,93	0,19	0,67	0,15	0,73	0,11	0,80	0,13	0,84	0,20

Примечание: M – оценка математического ожидания случайной величины; σ – оценка среднеквадратического отклонения.

Оценка временной изменчивости КУ, осредненного по десятилетиям, позволила сделать следующие выводы: оптимальное увлажнение вегетационного периода в конце XX века в Б.-Фенино и Готне сменилось в XXI веке слабой засушливостью; в Белгороде оптимальное увлажнение фиксировалось до 90-х годов XX века, а в XXI веке условия характеризовались как засушливые; в Валуйках

последние 10 лет условия вегетационного периода отмечаются как засушливые, а до этого – как слабо засушливые; в Новом Осколе на протяжении всего периода условия отличались слабой засушливостью (табл. 5).

Изменения показателей (КУ, ИС и ГТК) за последние 40 лет, осредненные методом скользящих средних по десятилетним периодам, приведены в табл. 5.

Наглядное представление о произошедших изменениях условий увлажнения дает рисунок [20].

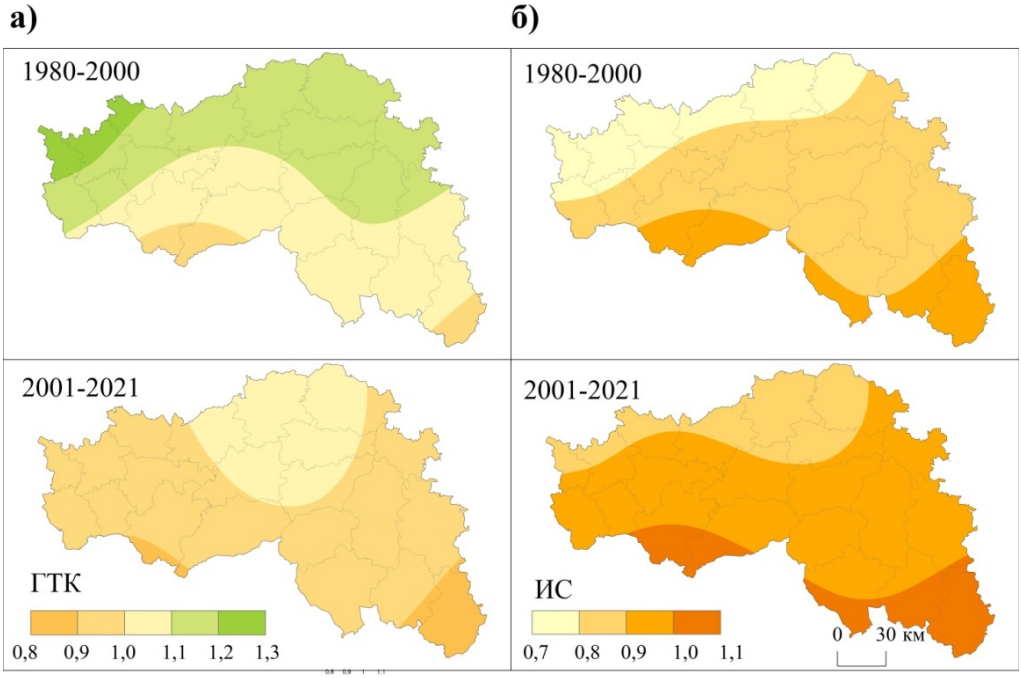

Рис. Пространственно-временная изменчивость агроклиматических параметров по территории Белгородской области: а) ГТК; б) индекса сухости (ИС)

Таблица 6

Статистические характеристики временных рядов показателей увлажнения (КУ, ГТК, ИС) по данным метеостанций Белгородской области за 1980-2022 гг.

Метеостанция	Среднее значение	Стандартное отклонение	Коэффициент линейного тренда	Вклад тренда в дисперсию, %
Коэффициент увлажнения по Сапожниковой				
Белгород	0,86	0,21	–0,11/10 лет	**42,6**
Готня	1,00	0,27	–0,10/10 лет	**20,3**
Валуйки	0,86	0,17	–0,05/10 лет	**14,3**
Б.-Фенино	1,0	0,24	–0,04/10 лет	5,3
Новый Оскол	0,88	0,22	–0,03/10 лет	2,1
ГТК по Селянинову				
Белгород	0,94	0,35	–0,14/10 лет	**23,3**
Готня	1,07	0,41	–0,15/10 лет	**22,4**
Валуйки	0,99	0,30	–0,08/10 лет	**10,7**
Б.-Фенино	1,10	0,35	–0,06/10 лет	4,4
Новый Оскол	0,98	0,33	–0,05/10 лет	3,4
Индекс сухости по Будыко				
Белгород	0,96	0,24	0,11/10 лет	**31,2**
Готня	0,83	0,19	0,08/10 лет	**27,2**
Валуйки	0,94	0,19	0,06/10 лет	**14,5**
Б.-Фенино	0,82	0,17	0,04/10 лет	7,3
Новый Оскол	0,93	0,19	0,01/10 лет	0,1

Для оценки выявленных тенденций в изменении показателей увлажнения были рассчитаны средние значения, стандартные отклонения, по уравнениям линейного тренда были получены средние скорости изменения исследуемых характеристик и вклад тренда в дисперсию (табл. 6).

Статистически значимые линейные тренды (с достоверностью 95 %) получены в изменении всех исследуемых показателей увлажнения для трех пунктов: Белгород, Готня и Валуйки. Оценив скорости изменения каждого показателя, можно сделать вывод, что наиболее интенсивно засушливость увеличивается в Белгороде и Готне (на 0,1/10 лет в среднем), в Валуйках примерно в два раза медленнее. Изначально засушливость вегетационного периода в Валуйках была выше, чем в Готне и Белгороде, но в последние годы значения показателей увлажнения исследуемых пунктов выровнялись.

Выводы

В конце XX–начале XXI века на территории Белгородской области отмечены значительные климатические изменения, проявившиеся в росте температур воздуха всех месяцев года, режиме осадков, продолжительности основных сезонов года.

Проведенный анализ позволяет сделать следующие выводы:

1. За последние 20 лет летний сезон увеличился на 1,5–2 недели, одновременно зима сократилась на 20–25 дней, теперь именно лето – наиболее длинный сезон в Белгородской области.

2. За последние пятьдесят лет продолжительность вегетационного периода на территории области выросла на 13–16 дней, а период активной вегетации увеличился примерно на 10 дней (на севере области – вдвое меньше).

3. Сумма активных температур за последние 50 лет увеличилась в среднем на 13 %.

4. Преобладающей тенденцией является сокращение осадков теплого периода в большинстве пунктов (исключение – Новый Оскол) и рост количества осадков в холодный период года на востоке области.

5. Значение ГТК<1, характеризующее условия как засушливые и очень засушливые, в XXI веке отмечалось в 1,5 (Белгород, Б.-Фенино, Валуйки, Новый Оскол) и в 2,5 (Готня) раза чаще, чем в конце XX века. Максимальная повторяемость засушливых условий (71 %) характерна для Белгорода, в остальных пунктах она составляла 50–60 %.

6. Судя по значениям ИС за последние сорок лет, отмечены незначительные изменения засушливости в Новом Осколе и Б.-Фенино, быстрое равномерное увеличение засушливости в Белгороде, рост засушливости в последнем десятилетии в Готне и Валуйках.

7. Судя по значению КУ за сорок лет, произошло усиление засушливости в Б.-Фенино и Готне (с оптимального до слабо засушливого); в Белгороде (с оптимального до засушливого); в Валуйках (со слабо засушливого до засушливого); в Новом Осколе на протяжении всего периода условия отличались слабой засушливостью.

8. Статистически значимые линейные тренды (с достоверностью 95 %) получены в изменении всех исследуемых показателей увлажнения для трех пунктов: Белгород, Готня и Валуйки. Оценив скорости изменения каждого показателя, можно сделать вывод, что наиболее интенсивно засушливость увеличивается в Белгороде и Готне (на 0,1/10 лет в среднем), в Валуйках примерно в два раза медленнее.

9. По условиям увлажнения большая часть Белгородской области перешла из зоны недостаточного увлажнения ($1{,}3 \geq$ ГТК > 1) в статус засушливой зоны ($1 \geq$ ГТК $> 0{,}7$).

10. Рост теплообеспеченности, при дефиците увлажнения, который отмечается для исследуемой территории, увеличивает климатические риски, связанные с недостатком увлажнения почвы.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Регионы России. Социально-экономические показатели. Стат. сб. М.: Росстат, 2022. 1122 с.
2. Специализированные массивы для климатических исследований / ВНИИГМИ-МЦД, 2000. URL: http://aisori-m.meteo.ru/waisori/ (дата обращения: 23.01.2024).
3. Третий оценочный доклад об изменениях климата и их последствиях на территории Российской Федерации. Общее резюме. СПб.: Наукоемкие технологии, 2022. 124 с.
4. Доклад о климатических рисках на территории Российской Федерации. СПб.: Главная геофизическая обсерватория им. А.И. Воейкова, 2017. 106 с.

5. Лебедева М.Г., Крымская О.В., Чендев Ю.Г. Изменения условий атмосферной циркуляции и региональные климатические характеристики на рубеже XX–XXI вв. (на примере Белгородской области) // Научные ведомости Белгородского государственного университета. Серия: Естественные науки. 2017. Вып. 40. С. 157–163.
6. Крымская О.В., Крымский И.А. Изменение термического режима на территории Белгородской области за последние 30 лет // Климатические изменения и сезонная динамика ландшафтов. Екатеринбург, 2021. С. 53–57.
7. Научно-прикладной справочник по климату СССР. Серия 3. Многолетние данные. Части 1-6. Выпуск 28. Л.: Гидрометеоиздат, 1990. 365 с.
8. Буряк Ж.А., Терехин Э.А. Геоинформационное моделирование пространственно-временной изменчивости агроклиматических условий // Региональные геосистемы. 2020. Т. 44, № 3. С. 333–342.
9. Золотокрылин А.Н., Черенкова Е.А., Титкова Т.Б. Аридизация засушливых земель Европейской части России и связь с засухами // Известия Российской академии наук. Сер. географическая. 2020. Т. 84, № 2. С. 207–217.
10. Шайхулмарданова Л.В., Гурьянов В.В., Переведенцев Ю.П. Изменение климатических условий на территории Приволжского федерального округа в XIX – XXI веках // Учен. зап. Казан. ун-та. Сер. Естеств. науки. 2018. Т. 160, № 3. С. 531–541.
11. Сиротенко О.Д., Павлова В.Н. Методы оценки влияния изменений климата на продуктивность сельского хозяйства // Методы оценки последствий изменения климата для физических и биологических систем. М.: Росгидромет, 2012. С. 165–189.
12. Глобальный климат и почвенный покров России: проявления засухи, меры предупреждения, борьбы, ликвидация последствий и адаптационные мероприятия (сельское и лесное хозяйство): Национальный доклад / Под ред. Р.С.Х. Эдельгериева. Москва: ООО «Издательство МБА», 2021. Том 3. 700 с.
13. Павлова В.Н., Караченкова А.А., Варчева С.Е. Региональный мониторинг агроклиматических условий формирования урожая при изменении климата // Труды Главной геофизической обсерватории им. А.И. Воейкова. 2020. № 596. С. 55–77.
14. Фондовые материалы Росгидромета за 1970–2022 гг. [Электронный ресурс]. URL: http//meteoinfo.ru/
15. Petin A.N., Lebedeva M.G., Krymskaya O.V., Chendev Y.G., Kornilov, A. G., Lupo A.R. Regional manifestations of changes in atmospheric circulation in the Central Black Earth Region (by the example of Belgorod Region) // Adv. Environ. Biol. 2014. Vol. 8. №10. P. 544–547.
16. Кононова Н.К. Сезонные особенности колебаний циркуляции атмосферы и температуры воздуха на Европейской территории России в XXI веке // Региональные эффекты глобальных изменений климата. Воронеж, 2012. С.58–62.
17. Сапожникова С.А. Опыт интегральной сельскохозяйственной оценки климата территории социалистических стран Европы // Агроклиматическое районирование пяти основных сельскохозяйственных культур на территории социалистических стран Европы. София: Изд-во Болгарской АН, 1976. С. 30–36.
18. Сиротенко О.Д. Методы оценки изменений климата для сельского хозяйства и землепользования: Методическое пособие. М.: Росгидромет, 2007. 77 с.
19. Chizhikova N., Yermolaev O., Golosov V., Mukharamova S., Saveliev A. Changes in the regime of erosive precipitation on the European part of Russia for the period 1966–2020 // Geosciences. 2022. Vol. 12. P. 279.
20. Буряк Ж.А., Крымская О.В., Крымская А.А., Терехин Э.А. Пространственно-временная изменчивость биоклиматического потенциала Центрального Черноземья // Ученые записки Казанского университета. Серия Естественные науки. 2024. Том 166, № 1. С.126–144.

Поступила в редакцию 23.01.2024

Крымская Ольга Владимировна, кандидат географических наук, доцент
кафедры географии, геоэкологии и безопасности жизнедеятельности Института наук о Земле
E-mail: krymskaya@bsu.edu.ru

Крымский Илья Александрович, аспирант
кафедры географии, геоэкологии и безопасности жизнедеятельности Института наук о Земле
E-mail: krymskyilya@ya.ru

Крымская Анна Александровна, эксперт центра валидации и верификации углеродных единиц
E-mail: krymskaya_a@bsu.edu.ru

Буряк Жанна Аркадьевна, кандидат географических наук, старший научный сотрудник
отдела геоинформатики Федерально-регионального центра аэрокосмического
и наземного мониторинга объектов и природных ресурсов
E-mail: buryak@bsu.edu.ru

ФГОУ ВО «Белгородский государственный национальный исследовательский университет»
308015, Россия, г. Белгород, ул. Победы, д. 85

O.V. Krymskaya, I.A. Krymsky, A.A. Krymskaya, Zh.A. Buryak

CHANGES IN AGROCLIMATIC INDICATORS IN THE XXI CENTURY IN THE BELGOROD REGION

DOI: 10.35634/2412-9518-2024-34-1-54-64

The study is dedicated to the analysis of agroclimatic indicators characterizing the thermal regime and humidification of the Belgorod region and the identification of temporal trends in their variability from 1971 to 2022. Over the past fifty years, there has been a widespread increase in the sums of active temperatures, by 13%, and the duration of the active growing season, by 6%. The prevailing trend is a reduction in precipitation during the warm period in most locations and an increase in precipitation during the cold period of the year in the eastern part of the region. According to moisture conditions, most of the region has transitioned from a zone of insufficient moisture (1,3 ≥ HTC > 1) to the status of an arid zone (1 ≥ HTC > 0,7). In the 21st century, there have been changes in the length of the seasons: the winter season has shortened by an average of 3 weeks, while the summer and autumn seasons have increased by 2 and 1 week, respectively. No significant changes were found in the duration of spring, but its onset has shifted to earlier dates.

Keywords: thermal resources, indicators of moisture, climate change, Belgorod region.

REFERENCES

1. *Regiony Rossii. Sotsial'no-ekonomicheskie pokazateli. Statisticheskiy sbornik* [Regions of Russia. Socio-economic indicators. Statistical collection], Moscow: Rosstat, 2022, 1122 p. (in Russ.).
2. *Spetsializirovannye massivy dlya klimaticheskikh issledovaniy* [Specialized arrays for climate research] / VNIIGMI-MCD, 2000, Available at: http://aisori-m.meteo.ru/waisori/ (accessed 23.01.2023) (in Russ.).
3. *Tretiy otsenochnyy doklad ob izmeneniyakh klimata i ikh posledstviyakh na territorii Rossiyskoy Federatsii. Obshchee rezyume* [Third assessment report on climate change and its consequences on the territory of the Russian Federation. General summary], St. Petersburg: Naukoemkie tekhnologii, 2022, 124 p. (in Russ.).
4. *Doklad o klimaticheskikh riskakh na territorii Rossiyskoy Federatsii* [Report on climate risks in the territory of the Russian Federation], St. Petersburg: Glavnaya geofizicheskaya observatoriya im. A.I. Voeykova, 2017, 106 p. (in Russ.).
5. Lebedeva M.G., Krymskaya O.V., Chendev Y.G. [Changes in the atmospheric circulation conditions and regional climatic characteristics at the turn of XX–XXI centuries (on example of Belgorod region)], in *Nauchnye vedomosti Belgorodskogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya: Estestvennye nauki,* 2017, iss. 40, pp. 157-163 (in Russ.).
6. Krymskaya O.V., Krymsky I.A. [Changes in the thermal regime in the Belgorod region over the last 30 years], in *Klimaticheskie izmeneniya i sezonnaya dinamika landshaftov*, Yekaterinburg, 2021, pp. 53-57 (in Russ.).
7. *Nauchno-prikladnoy spravochnik po klimatu SSSR. Seriya 3. Mnogoletnie dannye. Chasti 1-6. Vyp. 28.* [Scientific and applied reference book on the climate of the USSR. Series 3. Long-term data. Parts 1-6. Issue 28], Leningrad: Gidrometeoizdat, 1990, 365 p. (in Russ.).
8. Buryak Zh.A., Terekhin E.A. [Geoinformation modeling of spatio-temporal variability of agroclimatic conditions], in *Regional'nye geosistemy* [*Regional Geosystems*], 2020, vol. 44, no. 3, pp. 333-342 (in Russ.).
9. Zolotokrylin A.N., Cherenkova E.A., Titkova T.B. [Aridization of drylands in the European part of Russia: secular trends and links to droughts], in *Izvestiya Rossiyskoi akademii nauk. Seriya geograficheskaya*, 2020, vol. 84, no. 2, pp. 207-217 (in Russ.).
10. Shaikhulmardanova L.V., Guryanov V.V., Perevedensev Yu.P. [Changes in the climate conditions of the Volga Federal district during the 19th – 21st centuries], in *Uchenye Zapiski Kazanskogo Universiteta. Seriya Estestvennye Nauki*, 2018, vol. 160, no. 3, pp. 531-541 (in Russ.).
11. Sirotenko O.D., Pavlova V.N. *Metody otsenki vliyaniya izmeneniy klimata na produktivnost' sel'skogo khozyaystva* [Methods for assessing the impact of climate change on agricultural productivity], in *Metody otsenki posledstviy izmeneniya klimata dlya fizicheskikh i biologicheskikh system.* Moscow: Rosgidromet, 2012, pp. 165-189 (in Russ.).
12. *Global'nyy klimat i pochvennyy pokrov Rossii: proyavleniya zasukhi, mery preduprezhdeniya, bor'by, likvidatsiya posledstviy i adaptatsionnye meropriyatiya (sel'skoe i lesnoe khozyaystvo): Natsional'nyy doklad* [Global climate and soil cover of Russia: drought manifestations, prevention, control, mitigation and adaptation measures (agriculture and forestry): National report], Edelgeriev R.S.H. (ed). Moscow: “Izdatel'stvo MBA”, 2021, vol. 3, 700 p. (in Russ.).
13. Pavlova V.N., Karachenkova A.A., Varcheva S.E. [Regional monitoring of agroclimatic conditions of crop formation at climate change], in *Trudy Glavnoy geofizicheskoy observatorii im. A.I. Voeykova* [*Proceedings of the Voeikov Main Geophysical Observatory*], 2020, iss. 596, pp. 55-77 (in Russ.).
14. *Fondovye materialy Rosgidrometa za 1970–2022 gg.* [Stock materials of Roshydromet for 1970-2022], Available at: http//meteoinfo.ru/ (accessed 23.01.2023) (in Russ.).

15. Petin A.N., Lebedeva M.G., Krymskaya O.V., Chendev Y.G., Kornilov, A.G., Lupo A.R. Regional manifestations of changes in atmospheric circulation in the Central Black Earth Region (by the example of Belgorod Region), in *Adv. Environ. Biol*., 2014., vol. 8, no. 10, pp. 544-547.
16. Kononova N.K. *Sezonnye osobennosti kolebaniy tsirkulyatsii atmosfery i temperatury vozdukha na Evropeyskoy territorii Rossii v XXI veke* [Seasonal features of fluctuations in atmospheric circulation and air temperature in the European territory of Russia in the XXI century], in *Regional'nye effekty global'nykh izmeneniy klimata*, Voronezh, 2012, pp.58-62 (in Russ.).
17. Sapozhnikova S.A. *Opyt integral'noy sel'skokhozyaystvennoy otsenki klimata territorii sotsialisticheskikh stran Evropy* [The experience of integrated agricultural assessment of the climate of the territory of the socialist countries of Europe], in *Agroklimaticheskoe rayonirovanie pyati osnovnykh sel'skokhozyaystvennykh kul'tur na territorii sotsialisticheskikh stran Evropy*, Sofiya: Izd-vo Bolgarskoy AN, 1976, pp. 30–36 (in Russ.).
18. Sirotenko O.D. *Metody otsenki izmeneniy klimata dlya sel'skogo khozyaystva i zemlepol'zovaniya* [Methods of assessing climate change for agriculture and land use], Moscow: Rosgidromet, 2007, 77 p. (in Russ.).
19. Chizhikova N., Yermolaev O., Golosov V., Mukharamova S., Saveliev A. Changes in the regime of erosive precipitation on the European part of Russia for the period 1966–2020, in *Geosciences*, 2022, vol. 12, pp. 279.
20. Buryak Zh.A., Krymskaya O.V., Krymskaya A.A., Terekhin E.A. [Spatiotemporal variability of the bioclimatic potential of the Central Black Earth Region], in *Uchenye Zapiski Kazanskogo Universiteta. Seriya Estestvennye Nauki*, 2024, vol. 166, no. 1, pp. 126-144 (in Russ.).

Received 23.01.2024

Krymskaya O.V., Candidate of Geography, Associate Professor
at Department of Geography, Geoecology and Life Safety at the Earth Science Institute
E-mail: krymskaya@bsu.edu.ru

Krymsky I.A., postgraduate student of the Department of Geography, Geoecology and Life Safety
at the Earth Science Institute
E-mail: krymskyilya@ya.ru

Krymskaya A.A., expert of the Center for Validation and Verification of Carbon Units
of the Belgorod State National Research University
E-mail: krymskaya_a@bsu.edu.ru

Buryak Zh.A., Candidate of Geography, Senior Research Fellow, Federal and Regional Centre
for Aerospace and Ground Monitoring of Objects and Natural Resources
E-mail: buryak@bsu.edu.ru

Belgorod State National Research University
Pobedy st., 85, Belgorod, Russia, 308015