

УДК 63:551.5(470.5)

DOI: 10.55934/2587-8824-2022-29-2-139-147

**АНАЛИЗ АГРОКЛИМАТИЧЕСКИХ УСЛОВИЙ УРАЛЬСКОГО РЕГИОНА
ЗА ПЕРИОД С 1966-ГО ПО 2020 ГОДЫ И ПЕРСПЕКТИВНЫЙ ПРОГНОЗ
ИЗМЕНЕНИЯ СРЕДНЕГОДОВОЙ ТЕМПЕРАТУРЫ ДО 2050 ГОДА****А. А. Васильев, Д. Ю. Нохрин, Ф. М. Гасымов, Н. В. Глаз**

Использование метода математического моделирования для обработки метеорологических данных 13 метеостанций Урала показало, что глобальное потепление оказывает существенное влияние на климат этого региона. За период 1966–2020 гг. среднегодовая температура воздуха в Курганской области увеличилась в среднем на 1,97 °С, а температура вегетационного периода – на 1,39 °С, в Свердловской – на 1,95 и 1,59 °С, в Челябинской области – 1,98 и 1,62 °С соответственно. Изменение суммы осадков на Урале имеет разную направленность и интенсивность. В Златоусте и Бредах сумма осадков за год снижается (на 41,6 и 37,3 мм соответственно), в Троицке, Кургане и Макушино изменяется, тогда как на большей части Урала этот показатель возрастает, наиболее интенсивно в Ивделе и Туринске – на 72,8 и 71,8 мм, в Верхотурье и Екатеринбурге – на 55,4 и 51,6 мм соответственно (в Красноуфимске, Шадринске, Челябинске и в Верхнем Дуброво – на 27,3–43,8 мм). Количество осадков за вегетационный период увеличилось в Ивделе (на 47,5 мм), Красноуфимске (на 37,0 мм), Шадринске (на 29,5 мм) и Верхотурье (на 25,0 мм). В Челябинске, Туринске, Екатеринбурге и в Верхнем Дуброво этот показатель изменился незначительно, в то время как в остальных пунктах наблюдения он снизился. Наиболее существенное снижение суммы осадков за вегетацию наблюдалось в Бредах (на 50,2 мм), в Макушино (на 39,5 мм), Троицке (на 25,0 мм), Златоусте (на 23,4 мм) и Кургане (на 23,3 мм). Отмечена тенденция к увеличению аридности Уральского климата. Гидротермический коэффициент вегетационного периода в Златоусте уменьшился с 2,25 до 1,87 (на 0,38), в Бредах – с 0,87 до 0,60 (на 0,27), в Макушино – с 1,08 до 0,83 (на 0,25), в Верхнем Дуброво – с 1,69 до 1,47 (на 0,22), в Кургане – с 1,08 до 0,89 (на 0,19), в Екатеринбурге – с 1,58 до 1,39 (на 0,19), в Троицке – с 1,00 до 0,82 (на 0,18), в Челябинске – с 1,27 до 1,15 (на 0,12), в Туринске – с 1,53 до 1,42 (на 0,11), в Верхотурье – с 1,81 до 1,72 (на 0,09 ед.). И только в 3 зонах (в Ивделе, Красноуфимске и Шадринске) данное изменение незначительно.

Ключевые слова: изменение климата, температура, осадки, тренд, гидротермический коэффициент.

Проблема изменения климата стала все-речь восприниматься в научной среде, начиная с 1963 года, когда Национальный фонд науки США, а затем и Национальной академией наук США (в 1966 г.) признали не только наличие данной проблемы, но и вероятность влияния ее на человека [1]. И хотя в научной литературе продолжается дискуссия о причинах, вызывающих этот процесс, и о его последствиях для человечества, феномен «глобального потепления климата» признается большинством ученых [2–3]. Эта проблема – одна из наиболее важных проблем аграрной науки, поскольку происходящие

климатические изменения оказывают непосредственное влияние на сельское хозяйство. Установлено, что потепление климата существенно влияет на агроклиматический потенциал агроэкосистем [4], фитосанитарное состояние агрофитоценозов [5–7], показатели почвенного плодородия [8–9], эффективность удобрений [10], стабильность аграрного производства [11–14]. Для эффективного использования позитивных сторон потепления и разработки упреждающих мер в случаях негативного влияния необходимы исследования по выявлению закономерностей изменения регионального климата [15–17].

Цель исследований – оценить влияние глобального потепления на климат Уральского региона.

Материалы и методы исследований

Исследования проведены в 2021 г. в ЮУНИ-ИСК – филиале ФГБНУ УрФАНИЦ УрО РАН в рамках выполнения Государственного задания по теме «Создание и усовершенствование адаптивных технологий возделывания экономически значимых сельскохозяйственных культур на основе оптимизации биотических и абиотических факторов». Объектом исследований являлись метеорологические данные Челябинской метеостанции и временные ряды Всероссийского научно-исследовательского института гидрометеорологической информации – мирового центра данных [18–19]. При проведении исследований особое внимание уделялось периоду с 1966-го по 2020 гг. Обработку метеорологических данных проводили с использованием метода прямой магистральной функции следующего типа:

$$Y(t) = Y_0 + Gt,$$

где $Y(t)$ – теоретическое значение показателя на конкретное время, определяющее в динамике тенденцию изменения признака;

Y_0 – начальное значение изучаемого признака;

G – ускорение (изменение) изучаемого признака за единицу времени;

t – текущее время [20].

Для оценки статистической значимости тренда использовался критерий Фишера (F). Значимость коэффициентов регрессии оценивали по величине ошибки (S_b) и критерию Стьюдента (t). Уровень значимости $p = 0,05$.

Результаты и их обсуждение

На Урале имеется 5 метеостанций, где инструментальные исследования осуществляются с XIX века: Екатеринбург – с 1832 г., Златоуст – с 1881 г., Верхотурье – с 1890 г., Курган и Шадринск – с 1894 года (табл. 1).

По сравнению с XIX веком среднегодовая температура в Екатеринбурге к 2020 году увеличилась на 3,01 °С, в Кургане – на 2,83 °С, в Верхотурье – на 2,48 °С, в Шадринске – на 2,30 °С, в Златоусте – на 2,22 °С. Коэффициент линейного тренда (средняя скорость изменения) температуры воздуха при этом составил: в Кургане – 0,0189 °С, в Шадринске – 0,0177 °С, в Екатеринбурге – 0,0172 °С, в Верхотурье и Златоусте – 0,0168 °С в год.

Представленные выше данные свидетельствуют о том, что глобальное потепление существенно влияет на климат Уральского региона. Использование метода прямой магистральной функции позволило дать количественную оценку происходящим изменениям среднегодовой температуры воздуха и количества осадков. Установлено, что изменение среднегодовой температуры воздуха за 1966–2020 гг. – процесс практически однородный. В Курганской области тренд годовой температуры в среднем со-

Таблица 1 – Изменение температуры воздуха на Урале за период инструментальных исследований, °С

Период	Екатеринбург	Златоуст	Верхотурье	Курган	Шадринск
в XIX веке	0,60	–0,02	–0,54	0,28	1,00
1901–1910	1,05	0,43	–0,14	0,97	1,18
1911–1920	0,97	0,49	0,11	1,21	1,56
1921–1930	1,44	0,48	0,75	2,25	1,97
1931–1940	1,75	1,01	0,72	1,63	2,00
1941–1950	1,33	0,72	0,60	1,06	1,64
1951–1960	1,68	0,94	0,42	1,27	1,67
1961–1970	1,81	0,99	0,39	1,79	1,96
1971–1980	2,16	1,03	0,76	1,70	2,13
1981–1990	2,85	1,56	1,29	2,40	2,72
1991–2000	2,91	1,70	1,35	2,51	2,89
2001–2010	3,39	2,27	1,77	3,17	3,37
2011–2020	3,61	2,20	1,94	3,11	3,30



ставил 1,97 °С (в пределах от 1,96 до 1,98 °С), в Свердловской – 1,95 °С (от 1,82 до 2,12 °С), в Челябинской области – 1,98 °С (от 1,86 до 2,14 °С) (табл. 2). Изменения годовой температуры воздуха на примере метеостанции г. Златоуст наглядно представлены на рисунке 1.

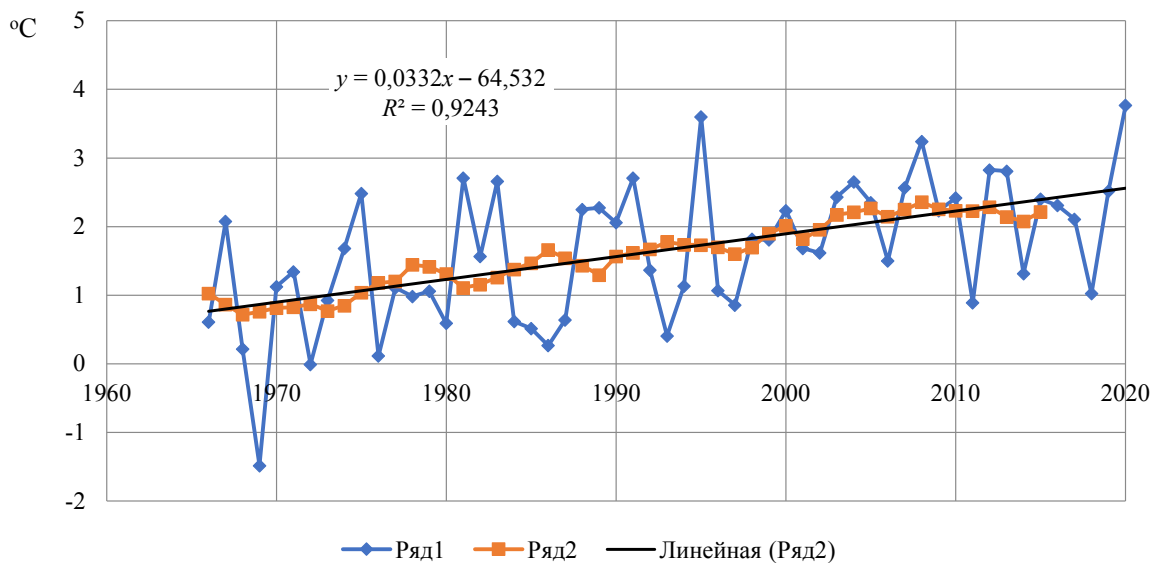
Если темпы потепления климата сохраняются, то через 30 лет среднегодовая темпе-

ратура воздуха на Урале увеличится еще на 1,02–1,23 °С, достигнув в Бредах 5,19 °С, в Челябинске – 5,17 °С, в Троицке – 5,04 °С, в Екатеринбурге – 4,95 °С, Шадринске – 4,83 °С, в Кургане – 4,51 °С, в Верхнем Дуброво – 4,17 °С, в Макушино – 4,12 °С, в Красноуфимске – 3,73 °С, в Златоусте – 3,57 °С, в Туринске – 3,51 °С, в Верхотурье – 3,38 °С, в Ивделе – 2,04 °С.

Таблица 2 – Изменение годовой температуры воздуха на Урале за 1966–2020 гг.

Метеостанция	Температура воздуха, °С			Ускорение (G), °С/год	Коэффициент детерминации (R ²)*
	Y ₀	Y _t	тренд		
Шадринск	1,75	3,73	1,98	0,0366	0,8835
Макушино	1,04	3,02	1,98	0,0367	0,8238
Курган	1,33	3,29	1,96	0,0407	0,9013
Ивдель	-1,26	0,86	2,12	0,0392	0,8891
Верхотурье	0,36	2,30	1,94	0,0360	0,8507
Красноуфимск	0,87	2,71	1,84	0,0341	0,8548
Туринск	0,56	2,38	1,82	0,0375	0,8601
Верхнее Дуброво	1,12	3,07	1,95	0,0366	0,9190
Екатеринбург	1,70	3,72	2,02	0,0411	0,9150
Златоуст	0,71	2,55	1,84	0,0340	0,9243
Челябинск	1,84	3,98	2,14	0,0397	0,9210
Троицк	2,15	4,01	1,86	0,0344	0,8919
Бреды	1,98	4,04	2,06	0,0382	0,9057

* R² для тренда температуры, усредненной по скользящим 11-летним периодам.



Ряд 1 – среднегодовая температура воздуха; Ряд 2 – 11-летняя скользящая средняя;
Линейная (Ряд1) – линия тренда

Рис. 1. Динамика среднегодовой температуры воздуха по данным метеостанции г. Златоуст (1966–2020 гг.)

Фактическая скорость изменения температуры воздуха на Урале варьировала от 0,0340 °С (в Златоусте) до 0,0411 °С (в Екатеринбурге). Расчет коэффициента детерминации (R^2) показал, что от 82,4 до 92,4% дисперсии среднегодовой температуры объясняется построенными моделями зависимостей.

Повышение температуры периода вегетации в Челябинской области в среднем составило 1,62 °С (от 1,46 до 1,75 °С), в Свердловской области – 1,59 °С (от 1,11 до 2,05 °С), в Курганской области – 1,39 °С (от 1,31 до 1,50 °С) (табл. 3).

Коэффициент линейного тренда температуры вегетационного периода изменялся от 0,0205 °С (в Красноуфимске) до 0,0380 °С (в Екатеринбурге). В среднем по Курганской области он составил 0,0258 °С, в Свердловской – 0,0295 °С, а в Челябинской области – 0,0300 °С. Скорость повышения средней за вегетацию температуры воздуха в Курганской области оказалась в 1,47 раза, в Свердловской – в 1,26 раза и в Челябинской области – в 1,22 раза меньше, чем среднегодовой температуры воздуха.

Сохранятся ли выявленные темпы потепления климата на Урале? Анализ изменения среднегодовой температуры воздуха по 11-летним скользящим средним показал, что мак-

симальное ее значение отмечалось в период 2003–2013 годов. Тогда в период 2010–2020 гг. этот показатель в Шадринске снизился на 0,18 °С, в Туринске – на 0,15 °С, в Златоусте – на 0,14 °С, в Верхотурье – на 0,13 °С, в Челябинске и Кургане – на 0,12 °С, в Троицке – на 0,10 °С, в Бредах – на 0,09 °С, в Верхнем Дуброво – на 0,06 °С, в Екатеринбурге – на 0,05 °С, в Красноуфимске – на 0,02 °С. Потепление продолжилось только на самом севере Свердловской области (метеостанция г. Ивдель), где температура последнего 11-летнего периода оказалась на 0,12 °С выше, чем в 2010–2020 гг. Означает ли это, что процесс потепления климата на Урале замедлился? Покажет время.

Изменение суммы осадков имеет разную направленность и интенсивность. Так, годовое количество осадков в Златоусте и Бредах снижается (на 41,6 и 37,3 мм соответственно), практически не изменяется в Троицке, Кургане и Макушино, тогда как в большинстве районов Урала этот показатель возрастает, наиболее интенсивно в Ивделе и Туринске (на 72,8 и 71,8 мм), затем в Верхотурье и Екатеринбурге (на 55,4 и 51,6 мм), в Красноуфимске, Шадринске, Челябинске и Верхнем Дуброво – на 27,3–43,8 мм (рис. 2).

Количество осадков за период вегетации увеличилось в Ивделе (на 47,5 мм), Красно-

Таблица 3 – Изменение температуры воздуха за период вегетации (май-сентябрь) на Урале за 1966–2020 гг.

Метеостанция	Температура воздуха, °С			Ускорение (G), °С/год	Коэффициент детерминации (R^2)*
	Y_0	Y_1	тренд		
Шадринск	14,62	15,98	1,36	0,0252	0,8672
Макушино	14,78	16,09	1,31	0,0243	0,8337
Курган	14,91	16,41	1,50	0,0278	0,8703
Ивдель	11,42	13,16	1,74	0,0322	0,8962
Верхотурье	12,50	14,11	1,61	0,0298	0,8936
Красноуфимск	13,56	14,67	1,11	0,0205	0,8452
Туринск	13,28	14,69	1,41	0,0265	0,8324
Верхнее Дуброво	13,03	14,66	1,63	0,0302	0,7954
Екатеринбург	13,46	15,51	2,05	0,0380	0,8862
Златоуст	12,16	13,79	1,63	0,0302	0,7969
Челябинск	14,50	16,25	1,75	0,0324	0,9017
Троицк	15,63	17,09	1,46	0,0271	0,8249
Бреды	15,79	17,42	1,63	0,0301	0,7284

* R^2 для тренда температуры, усредненной по скользящим 11-летним периодам.



уфимске (на 37,0 мм), Шадринске (на 29,5 мм) и Верхотурье (на 25,0 мм). В Челябинске, Туринске, Екатеринбурге и в Верхнем Дуброво этот показатель изменился незначительно, в то время как в остальных пунктах наблюде-

ния он снизился. Наиболее существенное снижение суммы осадков за вегетацию наблюдалось в Бредах (на 50,2 мм), затем в Макушино (на 39,5 мм), Троицке (на 25,0 мм), Златоусте (на 23,4 мм) и Кургане (на 23,3 мм) (рис. 3).

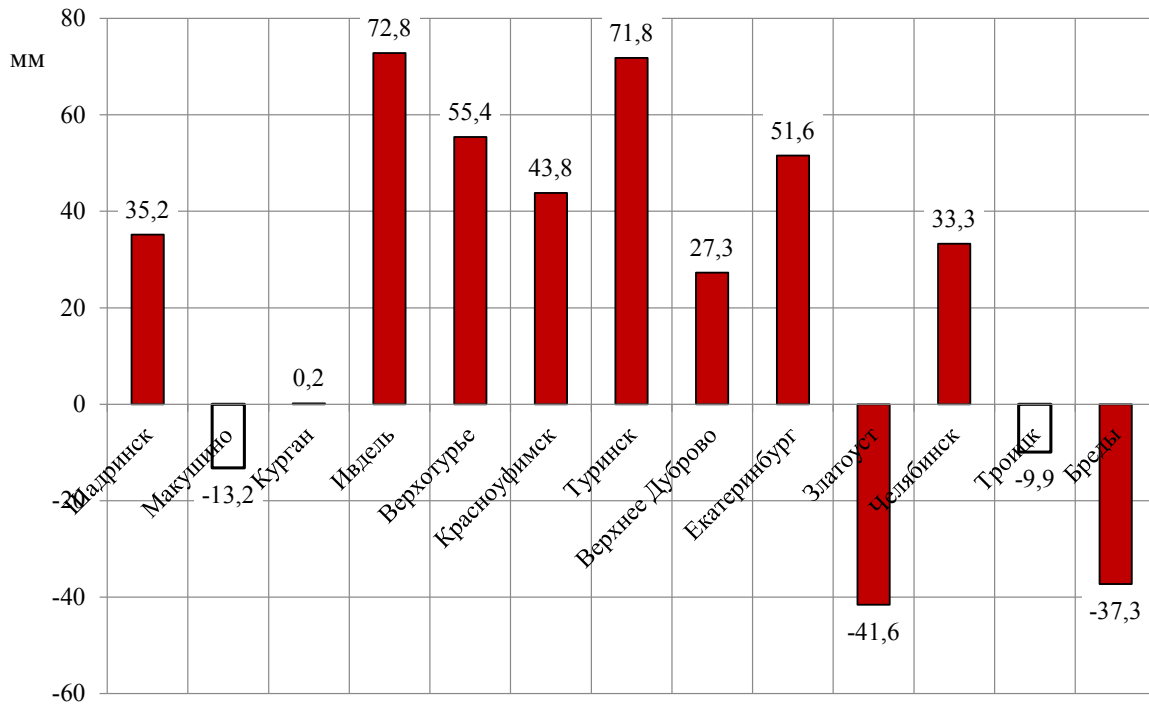


Рис. 2. Изменение годовой суммы осадков на Урале за 1966–2020 гг. (окрашены тренды, значимые на уровне 95%)

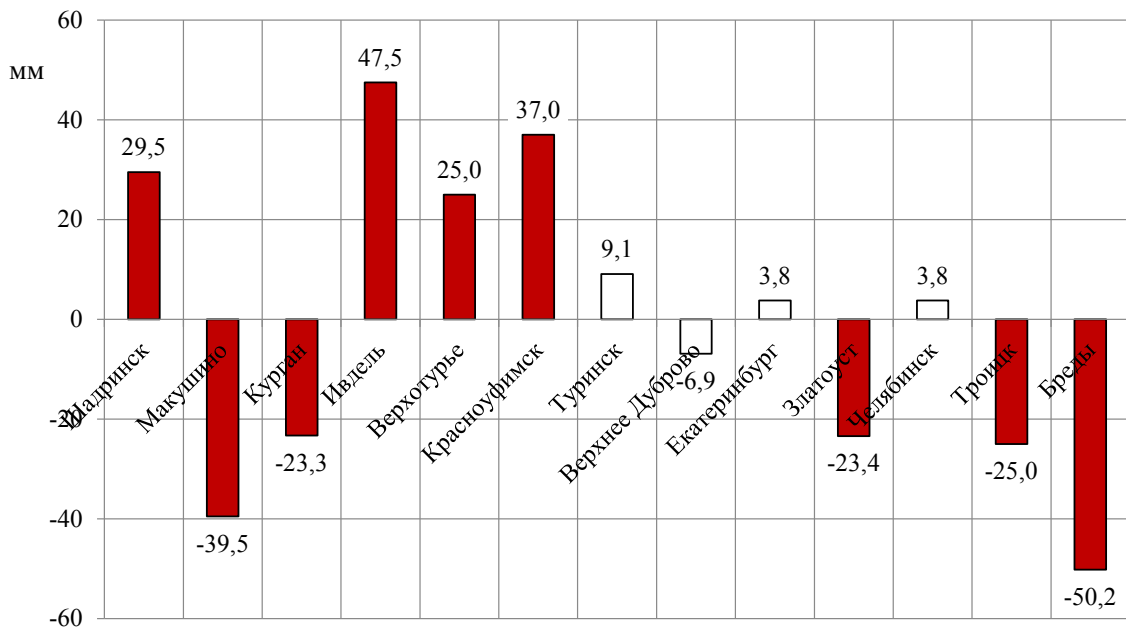


Рис. 3. Изменение количества осадков за период вегетации на Урале за 1966–2020 гг. (окрашены тренды, значимые на уровне 95%)

В целом по Уральскому региону наиболее существенное повышение среднемесячной температуры воздуха отмечается в феврале (на 3,8 °С) и в январе (на 3,5 °С), затем в октябре (на 2,9 °С), марте (на 2,7 °С) и декабре (на 2,4 °С). На уровне среднегодового тренда оказались изменения температуры воздуха в мае (+2,1 °С), августе (+2,0 °С) и июне (+1,6 °С). Наименьшие тренды температуры отмечались в апреле (+0,5 °С), ноябре (+0,6 °С), июле (+1,0 °С) и сентябре (1,1 °С).

Наиболее сильное потепление климата отмечается в зимний период (на 2,82–3,53 °С в зависимости от пункта наблюдений). Весна в Курганской области стала теплее в среднем на 2,22 °С, осень – на 1,45 °С, лето – на

1,38 °С. Сравнительно равномерное потепление отмечено в Свердловской области: весенний период стал теплее на 1,68 °С, летний – на 1,46 °С, осенний – на 1,51 °С. Аналогичная закономерность отмечена и по Челябинской области: лето здесь стало теплее в среднем на 1,79 °С, весна – на 1,60 °С, осень – на 1,57 °С. В Свердловской области исключением из общей закономерности был Екатеринбург, где в большей степени повышалась температура летнего периода (на 2,03 °С), в меньшей мере температура весенней (на 1,65 °С) и осенней части сезона (на 1,66 °С) (табл. 4).

Для территории Уральского региона характерно увеличение количества осадков весной (в среднем на 14,5 мм) и снижение летом

Таблица 4 – Сезонные изменения температуры воздуха (°С) и количества осадков (мм) на Урале за период 1966–2020 гг.

Метеостанция	Период			
	Зима	Весна	Лето	Осень
Тренды температуры воздуха, °С				
Шадринск	3,27	1,93	1,35	1,35
Макушино	2,82	2,36	1,28	1,46
Курган	3,39	2,37	1,50	1,53
Ивдель	3,36	1,79	1,49	1,83
Верхотурье	3,35	1,59	1,43	1,41
Красноуфимск	3,52	1,47	1,03	1,35
Туринск	3,42	2,07	1,21	1,40
Верхнее Дуброво	3,32	1,53	1,57	1,40
Екатеринбург	3,53	1,65	2,03	1,66
Златоуст	3,04	1,13	1,76	1,41
Челябинск	3,45	2,00	1,87	1,71
Троицк	2,82	1,50	1,63	1,49
Бреды	2,93	1,77	1,90	1,66
Тренды количества осадков, мм				
Шадринск	5,7	-10,7	-4,2	2,1
Макушино	4,9	19,2	-38,9	1,6
Курган	3,7	-14,7	-16,2	-5,5
Ивдель	0,2	-5,2	-4,4	0,0
Верхотурье	11,6	34,2	3,4	6,2
Красноуфимск	-3,7	32,8	28,0	-13,4
Туринск	5,8	15,5	-5,7	8,3
Верхнее Дуброво	1,1	12,5	-6,9	2,4
Екатеринбург	-1,7	-4,9	-12,9	-2,8
Златоуст	-22,6	5,8	-25,8	1,0
Челябинск	-1,7	21,9	-0,7	17,7
Троицк	6,8	6,4	-22,1	-2,7
Бреды	3,8	19,3	-51,1	-9,3



(на 14,1 мм). В наибольшей мере сумма весенних осадков возрастала в Верхотурье (на 34,2 мм), Красноуфимске (на 32,8 мм), Челябинске (на 21,9 мм), Бредах (на 19,3 мм) и Макушино (на 19,2 мм), в меньшей степени – в Туринске (на 15,5 мм) и в Верхнем Дуброво (на 12,5 мм). В летний период наибольшее уменьшение суммы осадков отмечалось в Бредах – на 51,1 мм, в Макушино – на 38,9 мм, в Златоусте – на 25,8 мм, Троицке – на 22,1 мм, Кургане – на 16,3 мм и Екатеринбурге – на 12,9 мм. Увеличение количества летних осадков отмечено только в Красноуфимске (на 28,0 мм), тогда как в остальных зонах изменения незначительны.

Комплексным показателем для оценки агроклиматических условий зоны служит гидротермический коэффициент Селянинова, представляющий собой отношение суммы осадков, увеличенной в 10 раз, к сумме эффективных температур воздуха за анализируемый период времени.

Следствием изменения водного и температурного режимов стало увеличение аридности климата. За период с 1966-го по 2020 гг. гидротермический коэффициент периода вегетации изменился в сторону уменьшения в большинстве районов Уральского региона: в Златоусте с 2,25 до 1,87 (на 0,38), в Бредах – с 0,87 до 0,60 (на 0,27), в Макушино – с 1,08 до 0,83 (на 0,25), в Верхнем Дуброво – с 1,69 до 1,47 (на 0,22), в Кургане – с 1,08 до 0,89 (на 0,19), в Екатеринбурге – с 1,58 до 1,39 (на 0,19), в Троицке – с 1,00 до 0,82 (на 0,18), в Челябинске – с 1,27 до 1,15 (на 0,12), в Туринске – с 1,53 до 1,42 (на 0,11), в Верхотурье – с 1,81 до 1,72 (на 0,09 ед.). В 3 пунктах изменение ГТК незначительное: в Красноуфимске (+0,06), в Шадринске (+0,02) и Ивделе ($\pm 0,00$).

Для Златоуста данное изменение можно считать положительным, так как период вегетации в горно-лесной зоне Челябинской области перестал быть избыточно влажным. Заметное ухудшение условий выращивания культурных растений следует констатировать в Бредах, Троицке, Кургане и Макушино. Здесь получение планируемых урожаев полевых культур на богаре становится практически невозможным.

Выводы

1. Глобальное потепление существенно влияет на климат Урала. Методом матема-

тического моделирования установлено, что за период 1966–2020 гг. среднегодовая температура воздуха в Челябинске увеличилась на 2,14 °С, в Бредах – на 2,06 °С, в Екатеринбурге – на 2,02 °С, в Шадринске и Макушино – на 1,98 °С, в Кургане – на 1,96 °С, в Верхнем Дуброво – на 1,95 °С, в Верхотурье – на 1,94 °С, в Ивделе и Троицке – на 1,86 °С, в Красноуфимске и Златоусте – на 1,84 °С, в Туринске – на 1,82 °С.

2. Существенное снижение количества осадков за период вегетации в Бредах (на 50,2 мм), Макушино (на 39,5 мм), Троицке (на 25,0 мм), Златоусте (на 23,4 мм) и Кургане (на 23,3 мм) привело к заметному ухудшению условий выращивания культурных растений. В 4 зонах Уральского региона получение планируемых урожаев культур растений без применения водосберегающих технологий возделывания становится практически невозможным: в Бредах (где ГТК за период 1966–2020 гг. уменьшился с 0,87 до 0,60), в Троицке (с 1,00 до 0,82), в Кургане (с 1,08 до 0,89) и в Макушино (с 1,08 до 0,83). Для Златоуста снижение ГТК с 2,25 до 1,87 окажет положительное влияние на продуктивность сельскохозяйственных культур, так как период вегетации здесь перестал быть избыточно влажным.

3. Изменение климата на Урале требует от аграрной науки создания адаптивных сортов, разработки научно обоснованных агроэкосистем и агрофитоценозов с высокой устойчивостью растений к стрессам и совершенствованию технологий возделывания сельскохозяйственных культур. Это обусловлено тем, что в случае, если наша гипотеза, основанная на анализе фактического материала, окажется верной, то к 2050 году климат на Урале потеплеет еще на 1,02–1,23 °С, а среднегодовая температура воздуха в Бредах достигнет 5,19 °С, в Челябинске – 5,17 °С, в Троицке – 5,04 °С, в Екатеринбурге – 4,95 °С, Шадринске – 4,83 °С, в Кургане – 4,51 °С, в Верхнем Дуброво – 4,17 °С, в Макушино – 4,12 °С, в Красноуфимске – 3,73 °С, в Златоусте – 3,57 °С, в Туринске – 3,51 °С, в Верхотурье – 3,38 °С, в Ивделе – 2,04 °С.

Список литературы

1. Изменение климата: факты, гипотезы, мнения. Досье. Режим доступа : <http://www.tass.ru/info/2445839> (дата обращения 16.03.2022).

2. Жигалин А. Д. Изменение климата: потепление или похолодание? // Анализ, прогноз и управление природными рисками с учетом глобального изменения климата «ГЕОРИСК-2018»: матер. X Междунар. науч.-практ. конф. по проблемам снижения природных опасностей и рисков : в 2 томах. М., 2018. С. 44–49.
3. Woolf D., Solomon D., Lehmann J. Land restoration in food security programmes: synergies with climate change mitigation // *Climate Policy*. 2018. Vol. 18 (10). P. 1260–1270. DOI: 10.1080/14693062.2018.1427537.
4. Шайхулмарданова Л. В., Гурьянов В. В., Переведенцев Ю. П. Изменение климатических условий на территории Приволжского федерального округа в XIX–XXI веках // *Ученые записки Казанского университета. Сер. : Естественные науки*. 2018. Т. 160. Кн. 3. С. 531–541.
5. Climate change and diseases of food crops / J. Luck [et al.] // *Plant Pathology*. 2011. Vol. 60. № 1. P. 113–121. DOI: 10.1111/j.1365-3059.2010.02414.x.
6. Ткаченко О. Б. Прогноз поражения снежной плесенью озимых зерновых в Сибири в связи с изменениями климата // *Микология и фитопатология*. 2018. Т. 52. № 6. С. 382–385. DOI: 10.1134/S0026364818060077.
7. Ludwig F., Milroy S. P., Asseng S. Impacts of recent climate change on wheat production systems in Western Australia // *Climatic Change*. 2009. Vol. 92. P. 495–517. DOI: 10.1007/s10584-008-9479-9.
8. Белолобцев А. И. Изменение агрофизических показателей плодородия эродированных почв под влиянием глобального потепления климата // *Известия Тимирязевской сельскохозяйственной академии*. 2009. Вып. 4. С. 31–42.
9. Сафина Г. Р., Голосов В. Н. Влияние изменений климата на внутригодичное распределение стока малых рек южной половины Европейской территории России // *Ученые записки Казанского университета. Сер. : Естественные науки*. 2018. Т. 160. Кн. 1. С. 111–125.
10. Оценка и прогноз эффективности минеральных удобрений в условиях изменяющегося климата / О. Д. Сиротенко, В. А. Романенков, В. Н. Павлова, М. П. Листова // *Агрохимия*. 2009. № 7. С. 26–33.
11. Федотова Л. С., Кравченко А. В. В изменяющихся климатических условиях нужны новые подходы к возделыванию картофеля // *Картофель и овощи*. 2011. № 2. С. 20–22.
12. Панфилов А. Э., Овчинников П. Ю. Региональные изменения климата и технология выращивания кукурузы на зерно на Южном Урале // *Земледелие*. 2022. № 1. С. 30–34. DOI: 10.24412/0044-3913-2022-1-30-34.
13. Battisti D. S., Naylor R. L. Historical warnings of future food insecurity with unprecedented seasonal heat // *Science*. 2009. Vol. 323. № 5911. P. 240–244. DOI: 10.1126/science.1164363.
14. Иванов А. Л. Глобальное изменение климата и его влияние на сельское хозяйство // *Земледелие*. 2009. № 1. С. 3–5.
15. Глобальные и региональные изменения климата на рубеже XX и XXI столетий / Ю. П. Переведенцев, Ф. В. Гоголь, Э. П. Наумов, К. М. Шанталинский // *Вестник Воронежского государственного университета. Сер. : География. Геоэкология*. 2007. № 2. С. 5–12.
16. Nitrogen fertiliser rate and post-anthesis waterlogging effects on carbohydrate and nitrogen dynamics in wheat / D. Jiang, X. Fan, T. Dai, W. Cao // *Plant and Soil*. 2008. Vol. 304. P. 301–314. DOI: 10.1007/s11104-008-9556-x.
17. Long-term tendencies in climate change of the Urals due to global warming / A. A. Vasiliev, L. V. Ufimtseva, N. V. Glaz, D. Y. Nokhrin // *E3S Web of Conferences. Ser. “International Scientific and Practical Conference “Development of the Agro-Industrial Complex in the Context of Robotization and Digitalization of Production in Russia and Abroad”, DAIC 2020” 2020*. DOI: 10.1051/e3sconf/202022205001. Access mode : https://www.e3s-conferences.org/articles/e3sconf/pdf/2020/82/e3sconf_daic2020_05001.pdf (date of application 12.12.2021).
18. Описание массива данных среднемесячной температуры воздуха на станциях России / О. Н. Бульгина, В. Н. Разуваев, Л. Т. Трофименко, Н. В. Швец. Режим доступа : <http://meteo.ru/data/156-temperature#описание-массива-данных> (дата обращения 12.12.2021).
19. Описание массива данных месячных сумм осадков на станциях России / О. Н. Бульгина, В. Н. Разуваев, Н. Н. Коршунова, Н. В. Швец. Режим доступа : <http://meteo.ru/data/158-total-precipitation#описание-массива-данных> (дата обращения 12.12.2021).



20. Динамическое моделирование при обработке экспериментальных данных / Н. А. Полев, В. В. Юрашев, И. С. Шатилов, А. Г. Замараев // Агрехимический вестник. 2001. № 1. С. 34–36.

Васильев Александр Анатольевич, д-р с.-х. наук, главный научный сотрудник, отдел картофеляводства, ФГБНУ Уральский федеральный аграрный научно-исследовательский центр УрО РАН.

E-mail: kartofel_chel@mail.ru.

Нохрин Денис Юрьевич, канд. биол. наук, ведущий научный сотрудник, отдел инструментальных методов исследования, ФГБНУ Уральский федеральный аграрный научно-исследовательский центр УрО РАН.

E-mail: nokhrin8@mail.ru.

Гасымов Фирудин Мамедага оглы, канд. с.-х. наук, ведущий научный сотрудник, отдел садоводства, ФГБНУ Уральский федеральный аграрный научно-исследовательский центр УрО РАН.

E-mail: lstpk@mail.ru.

Глаз Николай Владимирович, канд. с.-х. наук, ведущий научный сотрудник, отдел садоводства, ФГБНУ Уральский федеральный аграрный научно-исследовательский центр УрО РАН.

E-mail: uyniisk@mail.ru.

* * *