

# КЛИМАТИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ВЕГЕТАЦИОННОГО ПЕРИОДА В РАЙОНЕ РАСПОЛОЖЕНИЯ КАРБОНОВОГО ПОЛИГОНА «УРАЛ- КАРБОН» И ПЕРСПЕКТИВНЫХ МЕСТ РАЗМЕЩЕНИЯ КАРБОНОВЫХ ФЕРМ НА СРЕДНЕМ УРАЛЕ

А. Ф. Тетерин, А. Н. Медведев, И. В. Ярмошенко

*Институт промышленной экологии УрО РАН (г. Екатеринбург, Россия)*

*Статья посвящена вопросам метеорологических исследований на карбоновых полигонах, сеть которых создается в регионах России с 2020 г. для решения научных и практических задач мониторинга парниковых газов и развития методической базы для расчета углеродного баланса территорий. На основе анализа многолетних рядов климатических данных по метеостанциям, расположенным в трех районах Урала (Екатеринбург – с 1891 г., Ревда – с 1928 г., Аргаяш – с 1938 г.), получены характеристики метеорологических условий вегетационного периода, оказывающих непосредственное влияние на процессы эмиссии и поглощения парниковых газов в районах расположения карбонового полигона «Урал-Карбон» и возможного устройства карбоновых ферм. Изучена динамика средних месячных температур воздуха, месячных сумм осадков и средних месячных гидротермических коэффициентов. На всех метеостанциях выявлено увеличение средних месячных температур воздуха, сумм средних суточных температур воздуха и средних температур воздуха за вегетационный период. В целом результаты указывают на потепление климата в изученных районах, что соответствует выводам российских и зарубежных ученых о наличии глобального потепления. Выявлены существенные многолетние колебания гидротермических коэффициентов в пределах, характерных для различных природных зон – от пустыни до лиственных лесов и тайги, а также существенные различия в повторяемости разных природных условий на разных метеостанциях. Полученные результаты могут быть использованы для выполнения исследований на полигоне «Урал-Карбон», при оценке и прогнозировании углеродного баланса, а также выборе соответствующих видов растительности для создания карбоновых ферм.*

**Ключевые слова:** карбоновый полигон; Урал; климатические характеристики; вегетационный период; температура воздуха; атмосферные осадки; гидротермические коэффициенты; потепление.

## 1. Введение

В современных условиях проблема изменений климата за счет естественных и антропогенных факторов является одной из важнейших глобальных проблем.

Межправительственная группа экспертов по изменению климата (МГЭИК) в пятом оценочном докладе (2013–2014) отметила, что воздействие человечества на климатическую систему очевидно [1].

Одним из основных факторов воздействия на климат являются парниковые газы (ПГ) естественного и антропогенного происхождения, основные из которых по степени воздействия на тепловой баланс планеты – водяной пар, углекислый газ, метан и озон. Традиционный метод учета эмиссий и стоков парниковых газов – расчетная инвентаризация на основе рекомендованных МГЭИК обобщенных показателей для различных видов деятельности с учетом местных особенностей [2].

В настоящее время для мониторинга и управления балансом ПГ, количественной верификации глобальных моделей изменений климата и изучения влияния растительности на баланс ПГ используют карбоновые полигоны (carbon monitoring sites). В частности, созданы сети мониторинга ПГ FLUXNET2015 и Ecosystem Model-Data Intercomparison (EMDI) [3–5] для получения достоверных и сопоставимых данных по различным регионам и природным зонам Земли. Карбоновые полигоны позволяют разработать и испытать технологии дистанционного мониторинга ПГ и других значимых для изучения климата параметров [6, 7]. В дальнейшем они могут быть использованы при оценке и прогнозировании изменений климата и их последствий, а также для адаптации к этим изменениям и обеспечения устойчивого социально-экономического развития [8].

С 2020 г. с учетом мировых тенденций в России предпринимаются практические действия по созданию сети карбоновых полигонов, на которых планируется реализовать комплекс инновационных решений для разработки научно обоснованных методик расчета углеродного баланса регионов и основы для разработки экологических стандартов России в этой сфере.

В феврале 2021 г. Министерство науки и высшего образования РФ запустило пилотный проект карбоновых полигонов, к исследованиям на которых привлечены как академические институты, так и ведущие университеты [9, 10]. В рамках проекта создан карбоновый полигон на территории Коуровской астрономической обсерватории УрФУ (карбоновый полигон «Урал-Карбон», <https://carbon-polygons.ru/polygons/ural-karbon>).

Одно из важных направлений исследований на карбоновых полигонах – изучение динамики характеристик метеорологических условий вегетационного периода, оказывающих непосредственное влияние на процессы эмиссии и поглощения парниковых газов. Цель данной работы заключается в исследовании климатических характеристик вегетационного периода на основе анализа многолетних рядов климатических данных за период с начала наблюдений до 2020 г. по метеостанциям (МС), в районе расположения полигона «Урал-Карбон», а также в районах потенциальных карбоновых ферм.

## **2. Материалы и методы**

### **2.1. Исходные данные**

Для анализа были использованы результаты наблюдений на следующих репрезентативных МС: для участков карбонового полигона «Урал-Карбон», расположенных около п. Северка и в районе Коуровской астрономической обсерватории УрФУ – МС Екатеринбург (наблюдения с 1891 г.); для мест расположения потенциальных карбоновых ферм – МС Ревда (с 1928 г.) и МС Аргаяш (с 1938 г.).

Исходные данные получены из «Справочников по климату СССР» [11, 12], «Научно-прикладного справочника по климату СССР» [13] и монографии «Климат Свердловска» [14]. Выборки данных по отдельным значениям метеорологических величин сделаны из «Справочников по климату СССР. Метеорологические данные за отдельные годы» [15–18] и Метеорологических ежемесячников Уральского управления по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды за 1966–2020 гг. (архивные данные Уральского УГМС).

Анализировались особенности атмосферных условий в приземном слое тропосферы за вегетационный период (ВП). Были изучены временные ряды средних месячных температур воздуха, месячных сумм осадков и месячные гидротермические коэффициенты (ГТК) с начала наблюдений по 2020 г. по каждой МС.

## 2.2. Методика исследования

Для анализа временной изменчивости за ВП (период со средними суточными температурами воздуха не менее 10 °С) на выбранных МС были рассчитаны средние месячные температуры воздуха, средние месячные суммы атмосферных осадков (по осадкомеру с поправками на смачивание), средние месячные ГТК; средние, максимальные и минимальные значения средних месячных температур воздуха и сумм осадков, средние месячные ГТК; суммы средних суточных температур воздуха и средние температуры воздуха, суммы осадков и средние ГТК за ВП по месяцам и в среднем за ВП повторяемости ГТК, соответствующие различным природным зонам.

В качестве комплексной характеристики климатических ресурсов за ВП использовался ГТК, предложенный климатологом Г. Т. Селяниновым [19]:

$$\text{ГТК} = R / \sum t,$$

где R – сумма осадков в миллиметрах за период с температурами выше 10 °С;  
 $\sum t$  – сумма температур воздуха в градусах за то же время. ГТК используется для общей оценки климата и выделения зон различного уровня тепло- и влагообеспеченности для определения целесообразности культивирования различных растений.

По Г. Т. Селянину, на европейской территории России северная граница степной зоны совпадает с изолинией величины ГТК, равной 1,0, а северная граница полупустыни – с изолинией ГТК – 0,5 [19].

## 2.3. Физико-географическая характеристика районов МС

Информация по районам МС представлена по данным сайтов субъектов, городов и населенных пунктов РФ, а также Федеральной службы государственной статистики России [20–26].

Ревда находится в европейской части, Екатеринбург и Аргаяш – в азиатской части Уральского региона России. Екатеринбург является областным центром Свердловской области, Ревда – административным центром городского округа, п. Аргаяш – административным центром Аргаяшского района Челябинской области (табл. 1) [20–26]. Все населенные пункты расположены в умеренных широтах России, в двух природных зонах: Екатеринбург и Ревда находятся в лесной зоне Среднего Урала, п. Аргаяш – в лесостепной зоне Зауралья.

Таблица 1. Общая характеристика районов метеостанций

Населенный пункт	Основан, год	Численность населения на 01.01.2020, чел.	Площадь, км <sup>2</sup>	Субъект РФ	Географическая широта, с. ш.	Географическая долгота, в. д.
Екатеринбург	1723	1 526 005	1 142,9	Свердловская обл.	56°50′	60° 35′
Ревда	1734	61 533	111	Свердловская обл.	56°48′	59°55′
Аргаяш	1896	10 042	16,5	Челябинская обл.	55°29,3′	60°52,6′

Рельеф территории варьируется от равнинного до крупнохолмистого. Отметки высот метеостанций колеблются от 255 м в п. Аргаяш до 325 м в г. Ревде. Почвенный покров достаточно разнообразен и представлен светло-серыми, подзолистыми, дерново-подзолистыми почвами, черноземами и солончаками. В исследуемых районах встречаются суглинистые и щебенчатые грунты (табл. 2) [27–29].

Таблица 2. Физико-географическая характеристика районов метеостанций

Населенный пункт	Отметка, м Б. С.	Рельеф	Почва. Грунт	Природная зона
Екатеринбург	280	Среднехолмистый и равнинный	Почвы дерново-подзолистые. Грунт суглинистый, щебенчатый	Таежная зона, подзона южной тайги восточных предгорий Среднего Урала
Ревда	325	Крупнохолмистый	Почвы светло-серые и подзолистые. Грунт суглинистый, щебенчатый	Таежная зона, подзона южной тайги низкогорий Среднего Урала
Аргаяш	255	Равнинный	Почвы: обыкновенный и выщелоченный чернозем, местами подзолистая и солончаки. Грунт суглинистый	Лесостепь Зауралья

#### 2.4. Общая характеристика климата районов МС

Климат Среднего Урала умеренно континентальный, на него оказывают важнейшее влияние воздушные массы, сформировавшиеся в умеренных и арктических широтах северного полушария. В умеренных широтах России господствует западный перенос воздушных масс преимущественно в результате циклонической дея-

тельности на арктическом фронте. Зимой на формирование погоды на Среднем Урале оказывает большое влияние Сибирский антициклон, в теплый период года наблюдаются возвраты холодов вследствие вторжения арктических воздушных масс. Зимой вторжения тропических воздушных масс формируют оттепели, летом – жаркую погоду с засухами. Вследствие орографического эффекта на западном склоне и в горной части Урала происходит восходящее движение воздуха, его адиабатическое охлаждение и формирование мощной облачности ведет к увеличению выпадения атмосферных осадков и уменьшению средних температур воздуха. Влияние рельефа вызывает смещение климатических поясов Урала. Климатическая изменчивость четко фиксируется растительностью. Так, лесной пояс в горах Южного Урала смещен на 200 км к югу по сравнению с южной границей лесной зоны на прилегающих к Уралу равнинах. Обеспеченность теплом и влагой различна в регионах Урала, что оказывает существенное влияние на жизнедеятельность растений и животных [14, 19, 27–31].

По генетической классификации климатов Б. П. Алисова, все три изучаемые территории находятся в умеренном климатическом поясе, в континентальной лесной западно-сибирской области южной подобласти [19, 30, 31]. По классификации климатов А. А. Григорьеву и М. И. Будыко, в зоне II3D влажного климата с умеренно теплым летом, умеренно суровой и снежной зимой расположены Екатеринбург и Ревда, в зоне III4C недостаточно влажного климата с теплым летом, умеренно суровой и малоснежной зимой – п. Аргаяш (табл. 3) [13, 32].

Таблица 3. Общая характеристики климата метеостанций Урала по данным [11–13]

Метеостанция	Тип климата (по А. А. Григорьеву, М. И. Будыко)	Средняя месячная температура января, °С	Средняя месячная температура июля, °С	Годовая сумма осадков, мм	Индекс континентальности (по С. П. Хромову), %
Екатеринбург	II3D	–15,5	17,2	497	86,2
Ревда	II3D	–16,4	16,5	528	86,3
Аргаяш	III4C	–15,4	17,8	436	86,6

Климат в районах рассматриваемых МС достаточно разнообразный, с резкой изменчивостью погодных условий, хорошо выраженными сезонами года. По средним многолетним показателям самым холодным месяцем является январь, самым теплым – июль. Многолетняя средняя месячная температура января варьирует от –15,4 °С в п. Аргаяш до –16,4 °С в Ревде, а июля – от +16,5 °С в Ревде до +17,8 °С в Аргаяше. Вследствие орографического эффекта годовые суммы атмосферных осадков уменьшаются в направлении с запада на восток – от 528 мм в Ревде до 497 мм в Екатеринбурге, и с севера на юг до 436 мм в Аргаяше. Индекс континентальности, по С. П. Хромову [19], изменяется от 86,2 % в Екатеринбурге и 86,3 % в Ревде до 86,6 % в Аргаяше (табл. 3) [11–13].

### 3. Результаты и обсуждение

Результаты расчетов основных климатических характеристик ВП для рассматриваемых МС Урала за периоды с начала метеорологических наблюдений до 2020 г. приведены в табл. 4.

Многолетние средние месячные температуры воздуха за ВП на МС Екатеринбург варьировались от 12,1 до 18,0 °С, на МС Ревда – от 11,6 до 17,3 °С, на МС Аргаяш – от 11,4 до 18,2 °С. Максимальные средние месячные температуры за ВП на МС Екатеринбург колебались от 15,6 °С в мае 1991 г. до 23,0 °С в августе 2016 г., на МС Ревда – от 14,9 °С в мае 1957 г. до 21,6 °С в августе 2016 г., на МС Аргаяш – от 16,0 °С в сентябре 1957 г. до 22,2 °С в июле 1989 г. Большинство максимальных средних месячных температур наблюдалось после 1980 г. Минимальные средние месячные температуры за ВП на МС Екатеринбург колебались от 10,0 °С в мае 1901 г. и 1935 г. до 13,1 °С в июле 1926 г., на МС Ревда – от 10,0 °С в 1956 г. до 13,6 °С в июле 1973 г., на МС Аргаяш – от 10,0 °С в мае 1971 г. до 14,4 °С в июле 2014 г. Минимальные средние месячные температуры наблюдались в разные годы по 2014 г. Многолетние средние суммы средних суточных температур воздуха за ВП на МС Екатеринбург составили 1893,4 °С, на МС Ревда – 1810 °С, на МС Аргаяш – 2 282,2 °С. Размах вариаций на МС Екатеринбург был от 2 279,6 °С в 2016 г. до 1238,4 °С в 1926 г., на МС Ревда – от 2 110,5 °С в 2016 г. до 1 262,7 °С в 1969 г., на МС Аргаяш – от 2 639,9 °С в 1957 г. до 1 400,9 °С в 1986 г. Многолетние средние месячные суммы осадков на МС Екатеринбург изменялись от 43,9 до 84,5 мм, на МС Ревда – от 42 до 85,6 мм, на МС Аргаяш – от 34,3 до 82,7 мм. В многолетнем ходе максимальные месячные суммы осадков на МС Екатеринбург варьировались от 115 мм в мае 1927 г. до 234 мм в июле 1950 г., на МС Ревда – от 102,6 мм в мае 2015 г. до 243 мм в июле 1967 г., на МС Аргаяш – от 96,1 мм в сентябре 2020 г. до 185 мм в июле 1978 г. Минимальные месячные суммы осадков на МС Екатеринбург менялись от 2 мм в мае 1957 г. до 20 мм в июле 1989 г., на МС Ревда – от 3 мм в мае 1957 г. до 13,8 мм в июле 1939 г., на МС Аргаяш – от 1 мм в мае 1991 г. до 15,5 мм в июле 1997 г. Многолетние средние суммы осадков за ВП на МС Екатеринбург составили 273,2 мм, на МС Ревда – 269,9 мм, на МС Аргаяш – 274,6 мм. Размах вариаций сумм осадков за ВП на МС Екатеринбург составил от 537 мм в 1937 г. до 52 мм в 1958 г., на МС Ревда – от 472,7 мм в 2015 г. до 55 мм в 1958 г., на МС Аргаяш – от 412,8 мм в 2011 г. до 78 мм в 1958 г.

В течение вегетационного периода многолетние средние месячные ГТК на МС Екатеринбург колебались от 1,20 до 1,61, на МС Ревда – от 1,19 до 1,64, на МС Аргаяш – от 0,99 до 1,52. В многолетнем ходе максимальные месячные ГТК на МС Екатеринбург варьировались от 3,54 в мае 1927 г. до 5,44 в июле 1908 г., на МС Ревда – от 2,78 в мае 2015 г. до 4,82 в августе 2015 г., на МС Аргаяш – от 2,95 в сентябре 2020 г. до 3,84 в мае 2008 г. Минимальные месячные ГТК на МС Екатеринбург колебались от 0,04 в мае 1957 г. до 0,29 в июле 1989 г., на МС Ревда – от 0,06 в мае 1957 г. до 0,25 в июле 1939 г., на МС Аргаяш – от 0,02 в мае 1991 г. до 0,28 в июле 1953 г. В соответствии с [33, 35] максимальные месячные ГТК для природных зон тайги, лиственных лесов, лесостепи и степи соответствуют избыточно влажным условиям, а минимальные месячные ГТК – засушливым и крайне засушливым условиям. Многолетний средний ГТК за вегетационный период на МС Екатеринбург составил 1,47 (природная зона тайги и лиственных лесов), на МС Ревда – 1,51 (природная зона тайги и лиственных лесов), на МС Аргаяш – 1,21 (природная зона лесостепи). За период наблюдений до 2020 г. размах вариаций средних за вегетационный период ГТК на МС Екатеринбург был от 3,56 в 1937 г. до 0,31 в 1958 г., на МС Ревда – от 2,86 в 2015 г. до 0,35 в 1958 г., на МС Аргаяш – от 2,13 в 2008 г. до 0,41 в 1958 г., что в соответствии с [33, 35] свидетельствует о колебаниях от избыточно влажных условий (при избытка осадков) до засушливых условий (в результате атмосферных засух) (табл. 4, рис. 1).

В многолетнем ходе средние месячные и средние за вегетационных период ГТК изменялись в широких диапазонах (табл. 4, рис. 1) от природных зон пустыни до тайги и лиственных лесов, т. е. от сухих условий до условий избыточного увлажнения (по классификации [33, 35]).

На МС Екатеринбург в среднем чаще наблюдались условия природных зон тайги (избыточное увлажнение) и степей (засушливые условия) при средней месячной повторяемости от 25,9 до 42,6 % (среднее за ВП 36,5 %) и от 22,5 до 32,6 % (среднее за ВП 26,8 %) соответственно, реже всего отмечались условия природных зон полупустыни и пустыни (сухие условия) при средней месячной повторяемости от 3,8 до 12,4 % (среднее за ВП 7,5 %) и от 0 до 2,5 % (среднее за ВП 1,2 %) соответственно (табл. 5).

На МС Ревда при средних климатических условиях, как и на МС Екатеринбург, наиболее часто отмечались условия природных зон тайги (избыточное увлажнение) и степей (засушливые условия) при средней месячной повторяемости от 25,5 до 50,5 % (среднее за ВП 41,8 %) и от 17,2 до 26,8 % (среднее за ВП 22,3 %) соответственно, реже всего отмечались условия природных зон полупустыни и пустыни (сухие условия) при средней месячной повторяемости от 2,2 до 13,7 % (среднее за ВП 6,9 %) и от 0 до 2 % (среднее за ВП 1,0 %) соответственно (табл. 5).

На МС Аргаяш в среднем чаще всего наблюдались условия природных зон степей (засушливые условия) и тайги (избыточное увлажнение) при средней месячной повторяемости от 20,7 до 45,1 % (среднее за ВП 31,2 %) и от 14,9 до 42,7 % (среднее за ВП 26,6 %) соответственно, реже всего отмечались условия пустыни (сухие условия) при средней месячной повторяемости от 0 до 7,5 % (среднее за ВП 3,7 %) (табл. 5).

Полученные результаты показывают: природные условия рассматриваемых МС существенно различаются, что необходимо учитывать при оценке и прогнозировании углеродного баланса, а также выборе соответствующих видов растительности для изучения и создания на карбоновых полигонах и фермах экспериментальных лесопосадок, способствующих уменьшению выбросов парниковых газов.

Таблица 4. Основные климатические параметры вегетационного периода для метеостанций Урала за периоды до 2020 г.

Метеостанция	Параметр	V	VI	VII	VIII	IX	Сумма за ВП	Среднее за ВП
1	2	3	4	5	6	7	8	9
		Средняя месячная температура воздуха, °С						
Екатеринбург	Ср. зн.	12,1	16,1	18,0	15,4		1 893,4	15,4
	Мах	15,6	21,3	22,6	23,0		2 279,6	19,8
	Годы	1991	1989	1989	2016		2016	1981
	Min	10,0	11,6	13,1	12,0		1 238,4	13,4
	Годы	1901, 1935	1979	1926	1980		1926	1905
Ревда	Ср. зн.	11,6	15,3	17,3	14,7		1 810,0	14,7
	Мах	14,9	20,0	21,1	21,6		2 110,5	18,8

Продолжение табл. 4

1	2	3	4	5	6	7	8	9
	Годы	1957	1989	1988	2016		2016	1988
	Min	10,0	10,8	13,6	10,9		1 262,7	13,1
	Годы	1956	1979	1973	1980		1969	1980
Аргаяш	Ср. зн.	12,4	16,6	18,2	15,9	11,4	2 282,2	14,9
	Мах	16,8	21,0	22,2	20,8	16,0	2 639,9	17,9
	Годы	1957	1989	1989	2016	1957	1957	1998
	Min	10,0	11,8	14,4	12,1	10,1	1 400,9	12,9
	Годы	1971	1979	2014	1980	1969	1986	1992
		Сумма атмосферных осадков, мм						
Екатеринбург	Ср. зн.	43,9	70,2	84,5	74,5		273,2	
	Мах	115	173	234	225		537	
	Годы	1927	1937	1950	1955		1937	
	Min	2	6	20	11		52	
	Годы	1957	1958	1989	1936		1958	
Ревда	Ср. зн.	42,0	70,1	85,6	72,2		269,9	
	Мах	102,6	151,5	243,0	213,0		472,7	
	Годы	2015	2005	1967	1931		2015	
	Min	3	8	13,8	12		55	
	Годы	1957	1988	1939	1958		1958	
Аргаяш	Ср. зн.	40,0	60,5	82,7	57,0	34,3	274,6	
	Мах	141,2	172,9	185,0	153,0	96,1	412,8	
	Годы	2015	2011	1978	1955	2020	2011	
	Min	1	5	15,5	2	2	78,0	
	Годы	1991	1958, 1989	1997	1953	1992	1958	
		ГТК						
Екатеринбург	Ср. зн.	1,20	1,50	1,57	1,61			1,47
	Мах	3,54	3,61	5,44	5,18			3,56
	Годы	1927	1986	1908	1955			1937
	Min	0,04	0,11	0,29	0,21			0,31
	Годы	1957	1958	1989	1936			1958
Ревда	Ср. зн.	1,19	1,56	1,64	1,63			1,51
	Мах	2,78	3,52	4,40	4,82			2,86
	Годы	2015	2003	1967	2015			2015
	Min	0,06	0,14	0,25	0,19			0,35



Окончание табл. 4

1	2	3	4	5	6	7	8	9
	Годы	1957	1988	1939	2016			1958
Аргаяш	Ср. зн.	1,07	1,27	1,52	1,19	0,99		1,21
	Мах	3,84	3,60	3,71	3,40	2,95		2,13
	Годы	2008	2011	2014	1955	2020		2008
	Min	0,02	0,08	0,28	0,03	0,06		0,41
	Годы	1991	1989	1953	1953	1992		1958

Примечание. В табл. использованы сокращения: ср. зн. – среднее значение; Мах – максимальное значение; Min – минимальное значение; V, VI, VII, VIII, IX – месяцы года с мая по сентябрь; пустые ячейки – данные отсутствуют.

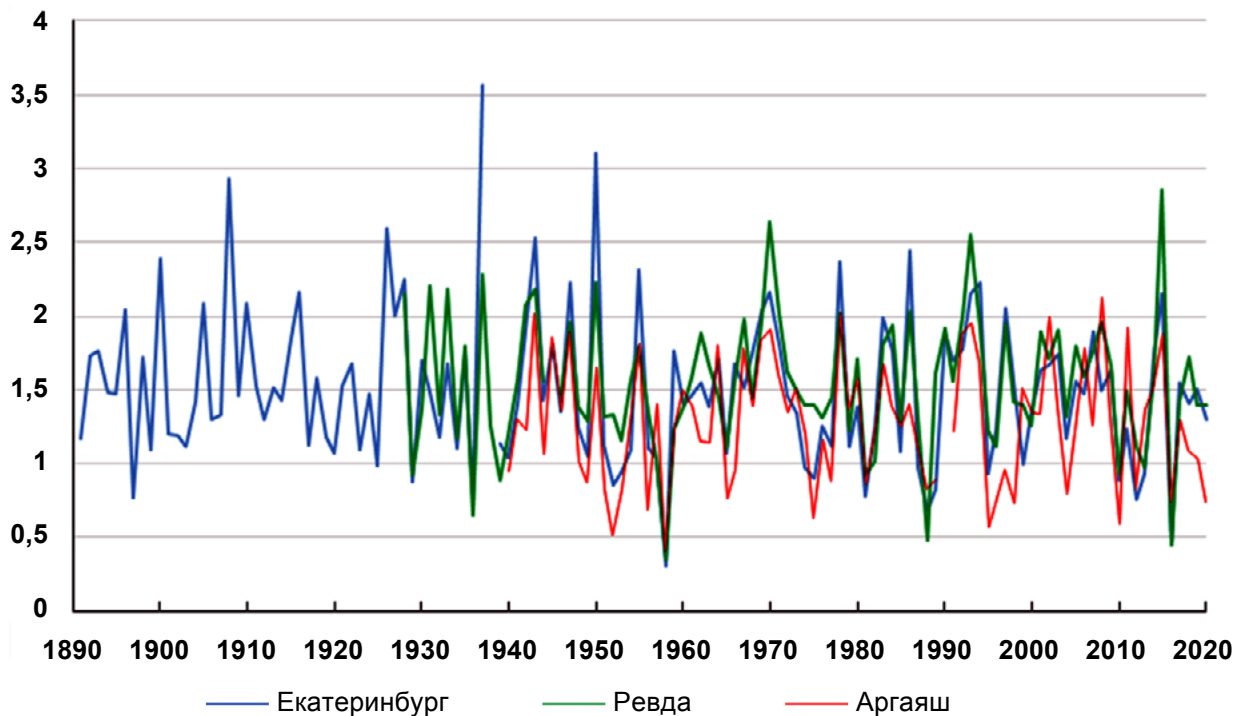


Рис. 1. Временная динамика средних за вегетационный период ГТК на МС Екатеринбург, Ревда и Аргаяш

Таблица 5. Повторяемость ГТК по природным зонам на метеостанциях Урала за периоды до 2020 г. (%)

Природная зона	ГТК	V	VI	VII	VIII	IX	Средняя повторяемость за ВП
1	2	3	4	5	6	7	8
Екатеринбург							
Тайга	ГТК > 1,6	25,9	35,7	42,6	41,8		36,5
Тайга и лиственные леса	1,30 < ГТК ≤ 1,6	14,8	15,5	12,4	10,9		13,4

Окончание табл. 5

1	2	3	4	5	6	7	8
Лесостепь	$1,00 < \text{ГТК} \leq 1,3$	14,8	20,2	7,7	15,5		14,6
Степь	$0,50 < \text{ГТК} \leq 1,00$	29,6	22,5	32,6	22,5		26,8
Полупустыня	$0,20 < \text{ГТК} \leq 0,50$	12,4	3,8	4,7	9,3		7,5
Пустыня	$\text{ГТК} \leq 0,20$	2,5	2,3	0,0	0,0		1,2
Ревда							
Тайга	$\text{ГТК} > 1,6$	25,5	43,0	50,5	47,8		41,8
Тайга и лиственные леса	$1,30 < \text{ГТК} \leq 1,6$	17,6	9,7	11,8	10,9		12,5
Лесостепь	$1,00 < \text{ГТК} \leq 1,3$	15,7	17,2	14,0	15,2		15,5
Степь	$0,50 < \text{ГТК} \leq 1,00$	25,5	26,8	17,2	19,6		22,3
Полупустыня	$0,20 < \text{ГТК} \leq 0,50$	13,7	2,2	6,5	5,4		6,9
Пустыня	$\text{ГТК} \leq 0,20$	2,0	1,1	0,0	1,1		1,0
Аргаяш							
Тайга	$\text{ГТК} > 1,6$	14,9	28,0	42,7	25,7	21,6	26,6
Тайга и лиственные леса	$1,30 < \text{ГТК} \leq 1,6$	11,9	13,4	8,5	13,4	0,0	9,4
Лесостепь	$1,00 < \text{ГТК} \leq 1,3$	17,9	18,3	12,2	17,1	15,7	16,2
Степь	$0,50 < \text{ГТК} \leq 1,00$	37,4	25,6	26,8	20,7	45,1	31,2
Полупустыня	$0,20 < \text{ГТК} \leq 0,50$	10,4	9,8	9,8	20,7	13,7	12,9
Пустыня	$\text{ГТК} \leq 0,20$	7,5	4,9	0,0	2,4	3,9	3,7

За период с начала наблюдений до 2020 г. на всех МС средние месячные температуры воздуха и суммы средних суточных температур за ВП по сравнению с данными из справочников по климату [11, 13] увеличились; для средних месячных сумм атмосферных осадков по сравнению с данными из справочников [12, 13] и для многолетних средних месячных ГТК наблюдались разнонаправленные изменения.

Увеличение многолетних средних месячных температур воздуха и многолетних средних сумм средних суточных температур воздуха за вегетационный период однозначно свидетельствует об улучшении термических условий на всех МС и потеплении климата. Этот факт отмечался нами для территории Урала ранее в [34] и подтверждается выводами международных экспертов, представленными в докладах МГЭИК. В шестом оценочном докладе [35] отмечается следующее: «Каждое из последних четырех десятилетий было последовательно теплее, чем любое предшествовавшее ему десятилетие, начиная с 1850 г. Глобальная приземная температура в первые два десятилетия 21 века (2001–2020 гг.) была на 0,99 [0,84–1,10] °C выше, чем в 1850–1909 гг. Глобальная приземная температура была на 1,09 [от 0,95 до 1,20] °C выше в 2011–2020 гг., чем в 1850–1900 гг., причем над сушей она была выше (на 1,59 [от 1,34 до 1,83] °C), чем над океаном (0,88 [от 0,68 до 1,01] °C)».

## 4. Заключение

На основе литературных и архивных данных по трем метеостанциям Урала рассчитаны основные климатические характеристики вегетационного периода за время с начала метеорологических наблюдений на каждой метеостанции до 2020 г. (МС Екатеринбург – с 1891 г., МС Ревда – с 1928 г., МС Аргаяш – с 1938 г.).

Получено, что на всех МС средние месячные температуры воздуха и суммы средних суточных температур за ВП по сравнению с данными из справочников по климату СССР 1965 и 1968 гг. увеличились, а для средних месячных сумм атмосферных осадков и для многолетних средних месячных ГТК наблюдались разнонаправленные изменения по сравнению с данными из справочников по климату СССР 1968 и 1990 гг.

Увеличение многолетних средних месячных температур воздуха и многолетних средних сумм средних суточных температур воздуха за вегетационный период однозначно свидетельствует об улучшении термических условий на всех МС и потеплении климата. Этот факт отмечался авторами ранее для территории Урала и подтверждается выводами шестого оценочного доклада международных экспертов по климату (МГЭИК) об увеличении глобальной приземной температуры над сушей на 1,59 °С в 2011–2020 гг. по сравнению с 1850–1900 гг.

Результаты расчетов показали, что в многолетнем ходе средние месячные и средние за вегетационных период ГТК разнонаправленно изменялись в широких пределах и соответствовали природным зонам от пустыни до тайги и лиственных лесов. Несмотря на достаточно близкое расположение, природные условия рассматриваемых МС и соответствующих им карбоновых полигонов существенно различаются. Данный вывод и полученные климатические характеристики могут быть использованы при оценке и прогнозировании углеродного баланса, а также выборе соответствующих видов растительности для изучения на карбоновом полигоне «Урал-Карбон» и создания на карбоновых фермах лесопосадок, способствующих уменьшению выбросов парниковых газов.

## 5. Список литературы

1. The IPCC and the Sixth Assessment cycle. IPCC April 2020. – URL: [https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2020/05/2020-AC6\\_en.pdf](https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2020/05/2020-AC6_en.pdf).
2. Refinement to the 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories. Overview. IPCC, 2019. – URL: <https://www.ipcc.ch/report/2019-refinement-to-the-2006-ipcc-guidelines-for-national-greenhouse-gas-inventories/>.
3. Alton, Paul B. Representativeness of global climate and vegetation by carbon-monitoring networks; implications for estimates of gross and net primary productivity at biome and global levels / Paul B. Alton. // *Agricultural and Forest Meteorology*. – 2020. – Vol. 290. – 108017. – ISSN 0168-1923.
4. Jenkins, C. The state of the art in monitoring and verification – ten years on / C. Jenkins, A. Chadwick, S. Hovorka // *International J. of Greenhouse Gas Control*. – 2015. – Vol. 40. – P. 312–349.
5. The Leeds Climate Commission. – URL: <https://www.leedsclimate.org.uk/measuring-and-managing-co2-emissions>.
6. Гессен, С. М. Карбоновые полигоны, новый инструмент управления климатическими изменениями в Российской Федерации / С. М. Гессен, А. М. Воротников // *Журнал социологических исследований*. – 2021. – Т. 6, № 2. – С. 22–30.

7. Гессен, С. М. Карбоновые полигоны – новый научно-образовательный проект для Арктики / С. М. Гессен, А. М. Воротников // Арктика 2035: актуальные вопросы, проблемы, решения. – 2021. – № 2 (6). – С. 98–104.
8. IPCC, Working Group I: The Physical Science Basis. – URL: <https://www.ipcc.ch/working-group/wg1/>.
9. Карбоновые полигоны. – URL: [https://minobrnauki.gov.ru/action/poligony/index.php?sphrase\\_id=108077](https://minobrnauki.gov.ru/action/poligony/index.php?sphrase_id=108077).
10. Встреча Президента РФ с министром науки и высшего образования Валерием Фальковым. 9 марта 2021 года 13:40. Москва, Кремль, 12.05.2021. – URL: <http://kremlin.ru/events/president/news/65110>.
11. Справочник по климату СССР. Вып. 9. Ч. II. – Л. : Гидрометеиздат, 1965. – 363 с.
12. Справочник по климату СССР. Вып. 9. Ч. IV. – Л. : Гидрометеиздат, 1968. – 372 с.
13. Научно-прикладной справочник по климату СССР. Серия 3. Ч. 1–6. Вып. 9. – Л. : Гидрометеиздат, 1990. – 557 с.
14. Климат Свердловска / Под ред. В. В. Морокова, Ц. А. Швер. – Л. : Гидрометеиздат, 1981. – 190 с.
15. Справочник по климату СССР. Метеорологические данные за отдельные годы. Вып. 9а. Ч. I. Температура воздуха. – Л. : Гидрометеиздат, 1954. – 512 с.
16. Справочник по климату СССР. Метеорологические данные за отдельные годы. Вып. 9. Ч. I. Температура воздуха. – Свердловск : Гидрометеиздат, 1971. – 279 с.
17. Справочник по климату СССР. Метеорологические данные за отдельные годы. Вып. 9а. Ч. II. Осадки. – Л. : Гидрометеиздат, 1955. – 378 с.
18. Справочник по климату СССР. Метеорологические данные за отдельные годы. Вып. 9. Ч. II. Атмосферные осадки. – Свердловск : Гидрометеиздат, 1972. – 307 с.
19. Хромов, С. П. Метеорологический словарь / С. П. Хромов, Л. И. Мамонтова. – Л. : Гидрометеиздат, 1974. – 568 с.
20. Екатеринбург. Официальный портал. – URL: <https://екатеринбург.рф/>.
21. Официальный сайт Правительства Свердловской области. – URL: <http://midural.ru/>.
22. Ревда. – URL: [https://ru.wikipedia.org/wiki/Ревда\\_\(город\)](https://ru.wikipedia.org/wiki/Ревда_(город)).
23. Правительство Челябинской области. Официальный сайт. – URL: <https://pravmin74.ru/chelyabinskaya-oblast/>.
24. Аргаяш. – URL: <https://ru.wikipedia.org/wiki/Аргаяш>.
25. Федеральная служба государственной статистики. – URL: <https://rosstat.gov.ru/>.
26. Численность населения Российской Федерации по муниципальным образованиям. – М. : Федеральная служба государственной статистики, 2020. – 566 с.
27. Давыдова, М. И. Физическая география СССР. Т. 1 / М. И. Давыдова, Э. М. Раковская, Г. К. Тушинский. – М. : Просвещение. – 1989. – 240 с.
28. Давыдова, М. И. Физическая география СССР. Т. 2 / М. И. Давыдова, Э. М. Раковская. – М. : Просвещение, 1990. – 304 с.
29. Справочник по климату СССР. Вып. 9. История и физико-географическое описание метеорологических станций и постов. – Свердловск : Фотоофсетная лаборатория Уральского УГМС. – 1966. – 392 с.
30. Капустин, В. Г. Свердловская область: природа, население, хозяйство, экология / В. Г. Капустин, И. Н. Корнев. – Екатеринбург : Издательство УрГУ, Издательство Дома учителя, 1998. – 300 с.

31. Алисов, Б. П. Климат СССР / Б. П. Алисов. – М. : Издательство МГУ, 1956. – 127 с.
32. Григорьев, А. А. Классификация климатов СССР / А. А. Григорьев, М. И. Будыко // Известия АН СССР. Сер. геогр. – 1959. – № 3. – С. 3–19.
33. Грингоф, И. Г. Агрометеорология / И. Г. Грингоф, В. В. Попова, В. Н. Страшный. – Л. : Гидрометеиздат, 1987. – 310 с.
34. Тетерин, А. Ф. Изменения основных характеристик климата на Урале за период инструментальных наблюдений / А. Ф. Тетерин // Вестник УрО РАН. – 2013. – № 3 (45). – С. 44–55.
35. IPCC, 2021: Summary for Policymakers. In: Climate Change 2021: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge University Press. – URL: <https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg1/>.

### **Сведения об авторах:**

**Тетерин Александр Федорович**, канд. геогр. н., старший научный сотрудник Института промышленной экологии УрО РАН, г. Екатеринбург, Россия.

**Медведев Александр Николаевич**, канд. т. н., ведущий научный сотрудник Института промышленной экологии УрО РАН, г. Екатеринбург, Россия.

**Ярмошенко Илья Владимирович**, канд. ф.-м. н., директор, ведущий научный сотрудник Института промышленной экологии УрО РАН, г. Екатеринбург, Россия.

## CLIMATIC CHARACTERISTICS OF THE GROWING SEASON IN THE AREA OF THE CARBON POLYGON “URAL-CARBON” AND PROMISING LOCATIONS FOR CARBON FARMS IN THE MIDDLE URALS

A. F. Teterin, A. N. Medvedev, I. V. Yarmoshenko

*Institute of Industrial Ecology, Ural Branch, Russian Academy of Sciences,  
Ekaterinburg, Russia*

*The article is devoted to the meteorological studies at carbon polygons, a network of which has been created in Russian regions since 2020 in order to solve scientific and practical tasks of greenhouse gases monitoring and to develop a methodological basis for calculating the carbon balance of territories. Based on the analysis of long-term series of climatic data from meteorological stations located in three regions of the Urals (Ekaterinburg – since 1891, Revda – since 1928, Argayash – since 1938), the characteristics of the meteorological conditions of the growing season that have a direct impact on the emission and absorption of greenhouse gases in the area where the carbon polygon “Ural-Carbon” is established and the further carbon farms may locate. The dynamics of average monthly air temperatures, monthly total precipitation and average monthly hydrothermal coefficients has been studied. At all meteorological stations, an increase in average monthly air temperatures, the sums of average daily air temperatures and average air temperatures for the growing season was revealed. In general, the results point to climate warming in the studied areas, which corresponds to the conclusions of Russian and foreign scientists about the global warming. Significant long-term fluctuations in hydrothermal coefficients were revealed within the limits characteristic of various natural zones from desert to deciduous forests and taiga, as well as significant differences in the frequency of occurrence of different natural conditions at different stations. The results obtained can be used to carry out research at the polygon “Ural-Carbon” test site in assessing and predicting the carbon balance, as well as choosing the appropriate types of vegetation for creating carbon farms.*

**Key words:** carbon polygon; Ural; climatic characteristics; growing season; air temperature; precipitation; hydrothermal coefficients; warming.

### References

1. The IPCC and the Sixth Assessment cycle. IPCC April 2020. – URL: [https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2020/05/2020-AC6\\_en.pdf](https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2020/05/2020-AC6_en.pdf).
2. Refinement to the 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories. Overview. IPCC, 2019. – URL: <https://www.ipcc.ch/report/2019-refinement-to-the-2006-ipcc-guidelines-for-national-greenhouse-gas-inventories/>.

3. *Alton, Paul B.* Representativeness of global climate and vegetation by carbon-monitoring networks; implications for estimates of gross and net primary productivity at biome and global levels / Paul B. Alton. // *Agricultural and Forest Meteorology*. – 2020. – Vol. 290. – 108017. – ISSN 0168-1923.
4. *Jenkins, C.* The state of the art in monitoring and verification – ten years on / C. Jenkins, A. Chadwick, S. Hovorka // *International J. of Greenhouse Gas Control*. – 2015. – Vol. 40. – P. 312–349.
5. The Leeds Climate Commission. – URL: <https://www.leedsclimate.org.uk/measuring-and-managing-co2-emissions>.
6. *Gessen, S. M.* Carbon polygons, a new tool for managing climate change in the Russian Federation / S. M. Gessen, A. M. Vorotnikov // *J. of sociological research*. – 2021. – Vol. 6, No. 2. P. 22–30.
7. *Gessen, S. M.* Carbon polygons – a new scientific and educational project for the Arctic / S. M. Gessen, A. M. Vorotnikov // *Arktika 2035: topical issues, problems, solutions*. – 2021. – No. 2 (6). – P. 98–104.
8. IPCC, Working Group I: The Physical Science Basis. – URL: <https://www.ipcc.ch/working-group/wg1/>.
9. Carbon polygons. – URL: [https://minobrnauki.gov.ru/action/poligony/index.php?sphrase\\_id=108077](https://minobrnauki.gov.ru/action/poligony/index.php?sphrase_id=108077).
10. Meeting of the President of the Russian Federation with the Minister of Science and Higher Education Valery Falkov. March 9, 2021 13:40. Moscow, Kremlin, 05.12.2021. – URL: <http://kremlin.ru/events/president/news/65110>.
11. Reference book on the climate of the USSR. Issue 9. Part II. – L. : Gidrometeoizdat, 1965. – 363 p.
12. Reference book on the climate of the USSR. Issue 9. Part IV. – L. : Gidrometeoizdat, 1968. – 372 p.
13. Scientific and applied reference book on the climate of the USSR. Series 3. Parts 1–6. Issue 9. – L. : Gidrometeoizdat, 1990. – 557 p.
14. *Climate of Sverdlovsk*, Ed. V. V. Morokova, Ts. A. Schwer. – L. : Gidrometeoizdat, 1981. – 190 p.
15. Reference book on the climate of the USSR. Meteorological data for selected years. Issue 9a. Part I. Air temperature. – L. : Gidrometeoizdat, 1954. – 512 p.
16. Reference book on the climate of the USSR. Meteorological data for selected years. Issue 9. Part I. Air temperature. – Sverdlovsk : Gidrometeoizdat, 1971. – 279 p.
17. Reference book on the climate of the USSR. Meteorological data for selected years. Issue 9a. Part II. Precipitation. – L. : Gidrometeoizdat, 1955. – 378 p.
18. Reference book on the climate of the USSR. Meteorological data for selected years. Issue 9. Part II. Precipitation. – Sverdlovsk : Gidrometeoizdat, 1972. – 307 p.
19. *Khromov, S. P.* Meteorological Dictionary / S. P. Khromov, L. I. Mamontova. – L. : Gidrometeoizdat, 1974. – 568 p.
20. Ekaterinburg. Official portal. URL: <https://ekaterinburg.rf/>.
21. Official site of the Government of the Sverdlovsk region. URL: <http://midural.ru/>.
22. Revda. – URL: [https://ru.wikipedia.org/wiki/Revda\\_\(city\)](https://ru.wikipedia.org/wiki/Revda_(city)).
23. Government of the Chelyabinsk region. Official site. – URL: <https://pravmin74.ru/chelyabinskaya-oblast/>.
24. Argayash. – URL: <https://ru.wikipedia.org/wiki/Argayash>.

25. Federal State Statistics Service. – URL: <https://rosstat.gov.ru/>.
26. Population of the Russian Federation by municipalities. – М. : Federal State Statistics Service, 2020. – 566 p.
27. *Davydova, M. I.* Physical geography of the USSR. T. 1 / M. I. Davydova, E. M. Rakovskaya, G. K. Tushinsky. – М.: Education, 1989. – 240 p.
28. *Davydova, M. I.* Physical geography of the USSR. T. 2 / M. I. Davydova, E. M. Rakovskaya. – М. : Enlightenment, 1990. – 304 p.
29. Reference book on the climate of the USSR. Issue 9. History and physical-geographical description of meteorological stations and posts. – Sverdlovsk : Photo offset laboratory of the Ural UGMS, 1966. – 392 p.
30. *Kapustin, V. G.* Sverdlovsk region: nature, population, economy, ecology / V. G. Kapustin, I. N. Kornev. – Ekaterinburg : Ural University Publishing House, Teacher's House Publishing House, 1998. – 300 p.
31. *Alisov, B. P.* Climate of the USSR / B. P. Alisov. – М.: Publishing house of Moscow State University, 1956. – 127 p.
32. *Grigoriev, A. A.* Classification of climates in the USSR / A. A. Grigoriev, M. I. Budyko // Proceedings of the Academy of Sciences of the USSR. Ser. geogr. – 1959. – No. 3. – P. 3–19.
33. *Gringof, I. G.* Agrometeorology / I. G. Gringof, V. V. Popova, V. N. Strashny // L. : Gidrometeoizdat, 1987. – 310 p.
34. *Teterin, A. F.* Changes in the main characteristics of the climate in the Urals over the period of instrumental observations / A. F. Teterin // Bulletin of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences. – 2013. – No. 3 (45). – P. 44–55.
35. IPCC, 2021: Summary for Policymakers. In: Climate Change 2021: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge University Press. – URL: <https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg1/>.