

УДК 581.9

*А.В. Шумихина, В.С. Маратканова***АГРОКЛИМАТИЧЕСКИЕ РЕСУРСЫ ТЕПЛА И ВЛАГИ И ИХ ИЗМЕНЕНИЯ
НА ТЕРРИТОРИИ УДМУРТСКОЙ РЕСПУБЛИКИ**

Для оценки изменений агроклиматических ресурсов тепла и влаги рассчитаны даты устойчивого перехода среднесуточных температур воздуха через 0, 5, 10, 15 °С и сумма активных температур на станции Ижевск за период 1933-2018 г. Определены значения индекса Педея на территории Удмуртской Республики по данным 8 метеостанций с 1961 по 2018 г. Проанализирована динамика характеристик. Выявлено, что продолжительность вегетационного периода возрастает, а сумма активных температур увеличивается, достигая максимальных значений в последнее десятилетие. В то же время в период активной фазы потепления наблюдается тенденция к увеличению засушливости вегетационного периода.

Ключевые слова: климат, агроклиматические ресурсы, индекс Педея, вегетационный период, активные температуры воздуха, засушливость, увлажненность.

DOI: 10.35634/2412-9518-2019-29-4-560-565

В последние 40 лет наблюдается значительное повышение температуры воздуха и изменение количества осадков, рост частоты и интенсивности опасных природных процессов и явлений [1]. По данным Всемирной метеорологической организации, признаки и последствия изменения климата в период с 2015 по 2019 г. усилились, продолжается рост уровней диоксида углерода до новых рекордных значений, зафиксировав тем самым сохранение тенденции к потеплению в течение жизни грядущих поколений. Период 2015–2019 г. должен стать самым теплым пятилетним периодом в истории наблюдений [2]. Этот факт проявляется не только в росте температуры воздуха, но и в усилении экстремальности климата [3].

Наблюдаемые изменения негативно влияют на многие аспекты экономики, одним из которых является сельское хозяйство. Опасным климатическим явлением, зависящим от колебаний температуры и количества осадков, является атмосферная и почвенная засуха. Исследования, проведенные Межправительственной группой экспертов по изменению климата (МГЭИК), выявили, что при рассмотрении сценария повышения температуры до 2100 г. в зависимости от объема выбросов парниковых газов, роста населения и экономического роста в целом, можно с высокой точностью предполагать увеличение частоты засух в регионах, подверженных им [1]. Это справедливо и для территории Удмуртии, так как её южная часть находится в лесостепной зоне, для которой характерна частая повторяемость засушливых периодов.

Совокупность метеорологических факторов, включая в первую очередь тепло и влагу, формирует агроклиматические ресурсы данной территории, определяющие условия производства и продуктивность сельскохозяйственных культур [4]. Целью данной работы являлась оценка изменения термических ресурсов и условий увлажнения вегетационного периода (май-сентябрь) на территории Удмуртской Республики в условиях изменяющегося климата.

Материалы и методы исследований

Для анализа в работе применялись данные: среднемесячные температуры воздуха и количество осадков на 8 метеостанциях Удмуртской Республики с 1961 по 2018 г., среднесуточные температуры воздуха на метеостанции Ижевск за весь имеющийся период с 1933 по 2018 г.

Для характеристики термических ресурсов вегетационного периода по данным метеостанции Ижевск были рассчитаны даты устойчивого перехода среднесуточных температур воздуха T_{cp} через рубежи 0, 5, 10 и 15 °С в сторону повышения весной и понижения осенью и сумма активных температур воздуха – сумма среднесуточных температур более 10 °С. Устойчивым переходом температуры воздуха через определенную градацию считался день, после которого обратного перехода не наблюдалось, а если он был, то сумма положительных (отрицательных для осени) отклонений среднесуточной температуры от соответствующей градации превышала сумму отрицательных (положительных для осени) отклонений.

Для определения условий засушливости и увлажненности вегетационного периода, наблюдающегося в республике с мая по сентябрь, определялся индекс, предложенный Д.А. Педем [5], который учитывает отклонение от среднего уровня температуры воздуха и суммы осадков:

$$S_S = \frac{\Delta T}{\sigma_T} - \frac{\Delta R}{\sigma_R}, \quad (1)$$

где S_S – летний индекс Педя, ΔT и ΔR – аномалии среднемесячных температур воздуха и количества осадков; σ_T и σ_R – их среднеквадратические отклонения.

В случае если $S_S > 2$, наблюдается засуха; при $1 < S_S \leq 2$ – засушливые условия; при $-1 \leq S_S < 1$ – нормальные условия увлажнения; при $-2 \leq S_S < -1$ – влажные условия; при $S_S < -2$ – избыточное увлажнение. Если значение индекса превышает 3, то засуха сильная; если $S_S \leq -3$, наблюдается сильное избыточное увлажнение. Индекс S_S определяется влиянием крупномасштабной атмосферной циркуляции и местных физико-географических условий [6] и имеет тесную связь с урожайностью сельскохозяйственных культур [7].

Результаты и их обсуждение

Термические ресурсы вегетационного периода по данным метеостанции Ижевск и их динамика. Результаты расчетов дат перехода среднесуточных температур воздуха через рубежи представлены в табл. 1.

Таблица 1

Климатические характеристики дат устойчивого перехода среднесуточной температуры воздуха через 0, 5, 10 и 15 °С в Ижевске за 1933–2018 гг.

Климатический показатель	Средняя	П _{ср} , дни	Ранняя		Поздняя		σ, дни	
			Дата	Год	Дата	Год		
Переход T _{ср} через 0 °С	весна	05.04	208	12.03	1977	25.04	1979	8
	осень	30.10		08.10	1976	22.11	2004	10
Переход T _{ср} через 5 °С	весна	22.04	168	30.03	1983	14.05	1941	9
	осень	07.10		16.09	1958, 1973	28.10	1981	11
Переход T _{ср} через 10 °С	весна	10.05	132	08.04	1975	08.06	1978	13
	осень	19.09		26.08	1983	15.10	2003	11
Переход T _{ср} через 15 °С	весна	02.06	85	04.05	1957	03.07	1969	13
	осень	26.08		28.07	1978	22.09	1940	12

Примечание. П_{ср} – средняя продолжительность периода, σ – среднее квадратическое отклонение (СКО)

Согласно данным табл. 1, весной переход среднесуточной температуры воздуха через 0 °С, связанный со сходом снежного покрова, просыханием почвы и вскрытием рек, наблюдается в климатическом разрезе 5 апреля. Этот рубеж за 80 лет сместился в сторону более раннего наступления на 10 дней.

Осенью температура воздуха устойчиво переходит через 0 °С в сторону отрицательных температур в среднем 30 октября. Изменчивость даты перехода через 0 °С в осеннее время больше, о чем свидетельствует среднее квадратическое отклонение. В осенний период с начала 1970-х гг. даты перехода через 0 °С смещаются в сторону более поздних сроков, скорость смещения составляет 3,6 дней/10 лет. Продолжительность периода со среднесуточными температурами выше 0 °С росла за 80 лет со скоростью 1,5 дня/10 лет за счет совместного смещения дат весной и осенью: в 1933–1950 гг. этот период составлял 205 дней, в последние десятилетия он увеличился до 218 дней. В последние 30 лет скорость роста продолжительности периода возросла до 3,5 дней/10 лет.

Переход температуры воздуха через 5 °С, при которой начинается вегетация озимых и холодоустойчивых культур, весной наступает в среднем многолетнем разрезе 22 апреля и не проявляет тенденций к смещению; осенью этот переход, начиная с 1970-х гг., смещается в сторону более поздних дат со скоростью 4,1 день/10 лет, благодаря чему временной период со среднесуточными температурами 5 °С увеличивается.

Период со среднесуточными температурами воздуха более 10 °С в среднем начинается в Ижевске 10 мая и заканчивается 19 сентября. Он также возрастает: скорость роста равна 2 дня/10 лет, с 1980-х гг. эта скорость выросла до 4,9 дней/10 лет. В 1933–1950 гг. средняя продолжительность периода с температурами более 10 °С составляла 124 дня, в 2000–2018 гг. – 141 день.

Средняя продолжительность периода с температурами воздуха более 15 °С составляет в Ижевске 85 дней. Этот период увеличивается за счет совместного более раннего перехода через 15°С в начале лета и позднего в конце летнего периода: в 1961-2018 г. скорость роста продолжительности периода составила 3,4 дня/10 лет.

Количество тепла, необходимое для развития растений, характеризует сумма активных температур. Средняя многолетняя сумма активных температур в Ижевске за период 1933–2018 гг. равна 2117 °С, минимальное значение величины (1693 °С) зафиксировано в 1978 г., максимальное (2599 °С) – в 2012 г. (табл.2). Среднее квадратическое отклонение при этом равно 217 °С. Средняя сумма активных температур каждого последующего десятилетия, начиная с 1970-х гг., выше значения предыдущего десятилетия. В период с 2011 по 2018 г. среднее значение величины достигло максимума – 2276 °С.

Таблица 2

Средние значения сумм активных температур за временные интервалы в Ижевске, °С

Временной интервал	Среднее за период значение активных температур, °С
1934–1940	2208,6
1941–1950	1930,8
1951–1960	2184,4
1961–1970	2029,0
1971–1980	2072,3
1981–1990	2090,5
1991–2000	2095,3
2001–2010	2181,8
2011–2018	2276,4

Индекс Педея на территории Удмуртской Республики и его динамика. Повторяемость условий увлаженности на территории Удмуртии на основе индекса Педея отражена в табл. 3. Согласно данным таблицы, нормальные условия увлажнения за период май-сентябрь наблюдаются в 80 % случаев. Чаще всего нормальное увлажнение встречается в августе (52 %), реже всего – в июне (38 %). Засуха наиболее вероятна в июне, избыточное увлажнение – в мае. Осредненные за сезоны значения индекса почти не достигают критических значений.

Таблица 3

Повторяемость условий увлажненности вегетационного периода в Удмуртской Республике за 1961-2018 г.

	Число лет	%	Число лет	%	Число лет	%	Число лет	%	Число лет	%
Лето	Засуха		Засушливые условия		Нормальные условия		Влажные условия		Избыточное увлажнение	
Май	6	11	13	23	25	43	6	11	8	12
Июнь	9	15	8	14	22	38	13	23	6	10
Июль	5	9	11	19	23	40	12	20	7	12
Август	6	10	9	16	30	52	7	12	6	10
Сентябрь	7	12	9	15	27	47	8	14	7	12
Июнь-август	3	5	4	7	41	71	9	15	1	2
Май-сентябрь	1	2	4	7	47	81	6	10	0	0

В территориальном распределении максимальная повторяемость засухи наблюдается на юго-западе региона (ст. Можга), 38 месяцев в период с мая по сентябрь за 58 лет. Самая низкая повторяемость засушливых условий – на северо-востоке и юго-востоке территории (станции Дебесы и Сарапул), а также на западе на станции Селты – по 29 раз. Избыточное увлажнение встречалось наибольшее количество раз на станции Воткинск – 40 раз, меньше всего – на станции Игра (30 раз).

Засуха в Удмуртской Республике наблюдается в условиях антициклонической циркуляции атмосферы. Ее развитию способствует распространение сухих, быстро прогреваемых арктических воздушных масс в восточной периферии устойчивых высотных антициклонов. Максимальное значение индекса Педя при засухах летом достигалось в августе 2016 г. на станции Селты ($S_5 = 4,8$) (табл. 4), тогда же зафиксировано и максимальное осредненное по Удмуртии значение индекса ($S_5 = 4,8$). Погоду над Удмуртией в августе 2016 г. определял высотный гребень тепла. Большую часть месяца температуры воздуха были существенно выше климатических норм, отмечался дефицит осадков. Среднемесячная температура воздуха превысила норму на 7-8 °С. Дожди шли в основном местами и были преимущественно непродолжительными. Сумма осадков на всех станциях оказалась существенно ниже климатических норм: от 4 % на станции Селты до 36 % на станции Глазов. На территории Удмуртии отмечалась почвенная засуха, результаты обследований полей в августе 2016 г. показывали, что посевы изрежены, низкого роста, с мелким колосом, обезвожены и угнетены.

Осредненное за период май-сентябрь значение индекса Педя достигало максимального значения на всех станциях Удмуртии в 2010 г. ($S_5 = 2,2$), когда в Приволжском Федеральном округе наблюдалась обширная сильная засуха, захватившая к августу 64 % его территории [8].

Условия с избыточным увлажнением формируются в годы с повышенной частотой прохождения циклонов. Наиболее избыточное увлажнение ($S_5 = -5,8$) наблюдалось в Ижевске в августе 1984 г., когда был отмечен рекорд месячной суммы осадков – 237 мм. Осредненное по Удмуртии значение индекса достигло минимума в сентябре 1973 г. ($S_5 = -5,4$) – на метеостанциях было отмечено от 116 до 150 мм осадков, в Ижевске и Сарапуле были зафиксированы рекордные месячные значения количества осадков (123 и 131 мм соответственно). Самый увлажненный вегетационный сезон наблюдался в 1986 г.: среднее значение индекса Педя за период май-сентябрь составило 1,7.

Таблица 4

Экстремальные значения индекса Педя на метеостанциях и осредненные по Удмуртской Республике

		V	VI	VII	VIII	IX
максимум	значение	3,1	3,5	4,1	4,8	3,5
	станция	Дебесы	Сарапул	Можга	Селты	Воткинск
	год	1962	1989	2010	2016	1975
	среднее по 8 метеостанциям УР	2,8	3,4	3,8	4,8	3,3
	год	2014	2006	2010	2016	1992
минимум	значение	-4,9	-3,8	-4,7	-5,8	-5,7
	станция	Игра	Селты	Селты	Ижевск	Сарапул, Игра
	год	1965	2005	1994	1984	1973
	среднее по 8 метеостанциям УР	-3,9	-3,4	-3,5	-4,3	-5,4
	год	1999	2005	1994	1984	1973

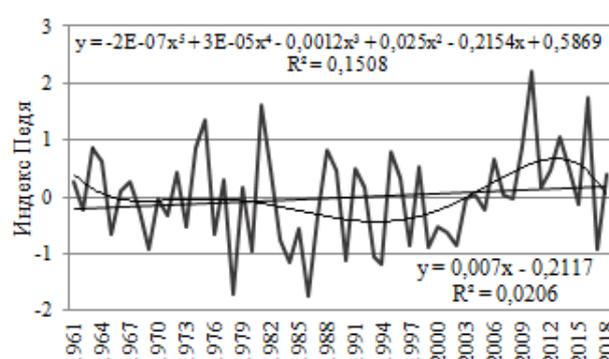
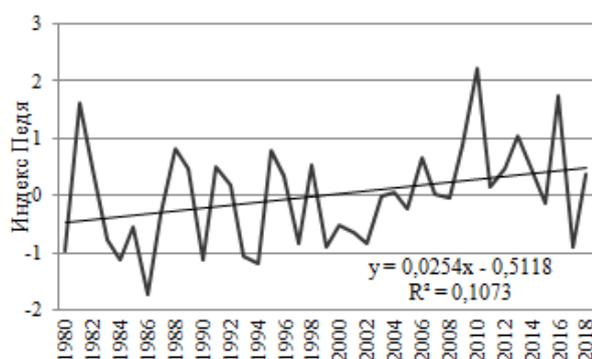


Рис. Долговременные изменения летнего индекса Педя, линейный и полиномиальный тренды за период 1980–2018 г. (слева) 1961–2018 г. (справа)

На фоне характерной для территории Удмуртской Республики тенденции к повышению температуры и количества осадков, линейные тренды долговременных изменений индекса Педея не отражают значимых тенденций, а полиномиальный тренд 5-ой степени свидетельствует о росте этого индекса в XXI столетии. Анализ трендов индекса Педея отдельных месяцев подтверждает данную закономерность в мае и августе. Кроме того, построенный линейный тренд для периода 1980-2018 г., в который отмечалась активная фаза потепления, статистически значим и свидетельствует о росте индекса Педея вегетационного периода (рис.). Таким образом, в XXI в. в вегетационный период отмечается тенденция к увеличению засушливости.

Заключение

Показатели агроклиматических ресурсов тепла по данным станции Ижевск улучшаются: вегетационный период возрастает, период со среднесуточными температурами воздуха выше 0 °С вырос от 205 дней в середине прошлого столетия до 218 дней в XXI столетии. Суммы активных температур вегетационного периода также проявляют устойчивую тенденцию к росту. Максимальные значения характеристики наблюдаются в последнее десятилетие. Но в то же время вегетационный период характеризуется ростом засушливых периодов, особенно во время активной фазы потепления, что выражается в экстремальных значениях (максимумах) индекса Педея, которые для всех месяцев вегетационного периода, кроме сентября, были зарегистрированы в период с 2006 по 2016 г.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Золотокрылин А.Н., Виноградова В.В., Черенкова Е.А. Динамика засух в Европейской России в ситуации глобального потепления // Проблемы экологического мониторинга и моделирования экосистем. 2007. Т. 21. С. 160-182.
2. Всемирная Метеорологическая Организация: изменение климата набирает темп. URL: <http://cc.voeikovmgo.ru/novosti/sobytiya/523-vsemirnaya-meteorologicheskaya-organizatsiya-izmenenie-klimata-nabiraet-temp> (дата обращения: 09.10.2019).
3. Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on climate Change. Cambridge University Press, 2014. 1552 p.
4. Исаев А.А. Экологическая климатология. М.: Научный мир, 2001. 458 с.
5. Педь Д.А. О показателе засухи и избыточного увлажнения // Тр. Гидрометцентра СССР. 1975. Вып. 156. С. 19-39.
6. Переведенцев Ю.П., Френкель М.О., Шаймарданов М.З. Современные изменения климатических условий и ресурсов Кировской области. Казань: Казанск. ун-т, 2010. 242 с.
7. Уланова Е.С., Страшная А.И. Засухи в России и их влияние на урожайность зерновых культур // Тр. ВНИИ-ИСХМ. 2000. Вып. 33. С. 64-83.
8. Черенкова Е.А. Количественные оценки атмосферных засух в федеральных округах Европейской территории России // Изв. РАН. Серия географическая. 2013. № 6. С. 76-85.

Поступила в редакцию 05.11.2019

Шумихина Алла Валерьевна, кандидат географических наук, старший преподаватель

E-mail: ashumikhina@yandex.ru

Маратканова Варвара Сергеевна, студент-бакалавр

E-mail: varvara.mar@yandex.ru

ФГБОУ ВО «Удмуртский государственный университет»

426034, Россия, г. Ижевск, ул. Университетская, 1 (корп.1)

A.V. Shumikhina, V.S. Maratkanova

**AGROCLIMATIC RESOURCES OF TEMPERATURE AND HUMIDITY, AND THEIR DYNAMICS
IN THE TERRITORY OF THE UDMURT REPUBLIC**

DOI: 10.35634/2412-9518-2019-29-4-560-565

For assessment of the dynamics of most prominent agroclimatic resources, the dates of the steady temperature transitions through 0, 5, 10, 15 °C and the sums of effective temperatures on the Izhevsk meteorological station over the peri-

od 1933–2018 were calculated. The values of the Ped index were determined for the whole territory of the Udmurt Republic according to data of 8 meteorological stations over the period 1961–2018. The dynamics of these parameters was analyzed. It was found out that the duration of the vegetation period increases, and the sum of active temperatures increases, reaching the maximum values in the last decade. At the same time, during the active warming phase, there is a tendency towards the increase of aridity of the vegetation period.

Keywords: climate, agroclimatic resources, Ped index, vegetation period, effective temperatures, aridity, humidity.

REFERENCES

1. Zolotokrylin A.N., Vinogradova V.V., Cherenkova E.A. [Dynamics of droughts in European Russia in the situation of global warming], in *Problemy ekologicheskogo monitoringa i modelirovaniya ekosistem*, 2007, vol. 21, pp. 160–182 (in Russ.).
2. *Vsemirnaya Meteorologicheskaya Organizatsiya: izmenenie klimata nabiraet temp* [World Meteorological Organization: the speed of the climate change is increasing], Available at: <http://cc.voeikovmgo.ru/ru/novosti/sobytiya/523-vsemirnaya-meteorologicheskaya-organizatsiya-izmenenie-klimata-nabiraet-temp> (accessed: 09.10.2019) (in Russ.).
3. *Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on climate Change*, Cambridge: Cambridge University Press, 2014, 1552 p.
4. Isaev A.A. *Ekologicheskaya klimatologiya* [Ecological climatology], Moscow: Nauchnyy Mir, 2001, 458 p. (in Russ.).
5. Ped' D.A. [On the indicator of drought and excessive humidification], in *Trudy Gidromettsentra SSSR*, 1985, iss. 156, pp. 19–39 (in Russ.).
6. Perevedentsev Yu.P., Frenkel' M.O., Shaymardanov M.Z. *Sovremennye izmeneniya klimaticheskikh usloviy i resursov Kirovskoy oblasti* [Modern dynamic of the climate and climate resources on the territory of the Kirov Region], Kazan: Kazansk. Univ., 2010, 242 p. (in Russ.).
7. Ulanova E.S., Strashnaya A.I. [Droughts in Russia and their impact on grain yields], in *Tr. VNIISKhM*, 2000, iss. 33, pp. 64–82 (in Russ.).
8. Cherenkova E.A. [Quantitative evaluation of atmospheric drought in federal districts of the European Russia], in *Izvestiya RAN Ser. Geogr.*, 2013, no. 6, pp. 76–85 (in Russ.).

Received 05.11.2019

Shumikhina A.V., Candidate of Geography, Senior Lecturer

E-mail: ashumikhina@yandex.ru

Maratkanova V.S., undergraduate student

E-mail: varvara.mar@yandex.ru

Udmurt State University

Universitetskaya st., 1/1, Izhevsk, Russia, 426034