

Физико-географические исследования

УДК 631:551.58(470.51)(045)

П.Б. Акмаров, О.П. Князева, И.И. Рысин

ИЗМЕНЕНИЕ КЛИМАТА И ЕГО ВЛИЯНИЕ НА ЭФФЕКТИВНОСТЬ ЗЕМЛЕДЕЛИЯ (НА МАТЕРИАЛАХ УДМУРТИИ)

Показано влияние климатических факторов на эффективность производственной деятельности в земледелии на примере Удмуртии. Выявлены закономерности изменения основных климатических факторов, влияющих на урожайность зерновых культур, таких как количество осадков и температурный режим воздуха в период вегетации растений и связанный с ними обобщающий гидротермический коэффициент за период с 1951 по 2020 гг. За исследуемый период осадки в среднем на 19,3 % определяли изменения урожайности зерновых, а средняя температура воздуха – на 14,1 %. При этом самое значительное влияние имеют именно условия роста растений в июне, когда рассматриваемые показатели определяет свыше 18 % величины урожайности зерновых культур. При этом доля влияния рассматриваемых факторов существенно варьировала по десятилетним периодам: от 3,4 % (2001 – 2010 гг.) до 60,8 % (1971 – 1980 гг.). Представлены результаты статистической оценки степени влияния факторов окружающей среды на урожайность зерновых культур в Удмуртии. Выявлена тенденция относительного снижения влияния климата на эффективность аграрного производства за последние полвека. Доказана существенность различий климата в разных районах Удмуртии, что отражается на эффективности аграрного производства. Предложено агроклиматическое зонирование территории региона с использованием метода кластерного анализа, а также показаны результаты этого зонирования.

Ключевые слова: климат, урожайность зерновых культур, вегетационный период, гидротермический коэффициент, зонирование, Удмуртия.

DOI: 10.35634/2412-9518-2022-32-3-312-322

Стабильность продовольственного обеспечения населения страны зависит главным образом от результативности аграрного производства. При этом следует иметь ввиду особенности сельского хозяйства, которое связано с использованием разнотипных ресурсов, включая живой и овеществленный труд, земельные угодья, а также биологические ресурсы [1]. Влияние последних в аграрном производстве во многом определяется природно-климатическими условиями соответствующей территории, т. к. урожайность растений и связанная с этим продуктивность животных во многом обусловлены факторами окружающей среды. Рассматривая этот аспект проблемы, современная аграрная наука пытается уменьшить относительную роль природно-климатических факторов за счет повышения роли организационно-технологических, которые поддаются управлению человеком.

Многочисленные исследования влияния климата на эффективность земледелия показывают, что этот процесс сегодня является основным источником нестабильности в сельском хозяйстве [2–7]. Комплексная оценка изменений продуктивности зерновых культур в России при изменении агроклиматических ресурсов в XX–XXI вв. представлена в диссертации В.Н. Павловой [8]. Связь между метеорологическими факторами и урожайностью яровой пшеницы впервые рассмотрена в работах В.М. Обухова [9] и П.И. Колоскова [10]. Более масштабно и с привлечением большего количества почвенно-метеорологических факторов во время периода вегетации и урожайности яровой пшеницы рассмотрена множественная связь Ф.З. Батталовым [11] по данным 58 метеорологических станций СССР.

Ю.П. Переведенцев с соавторами [12] рассматривали связь урожайности яровой пшеницы в Тетюшском муниципальном районе Республики Татарстан с метеорологическими параметрами, характеризующими температурно-влажностный режим за период с 1970 по 2019 гг. Коэффициенты парной корреляции между метеорологическими показателями и фактической урожайностью яровой пшеницы изменяются в широком диапазоне от -0,38 до 0,38. Статистически достоверная связь урожайности яровой пшеницы выявлена со средней суммой осадков (май-июнь) и отдельно с июньской суммой. Достоверная отрицательная связь выявлена для температуры в июне с доверительной вероятностью более 95 %. Связь статистически недостоверна между урожайностью яровой пшеницы и суммой годовых осадков, а также осадками вегетационного периода ($r = 0,10-0,22$) и температурой за период май-июнь.

Установлена значимая связь урожайности яровой пшеницы с продолжительностью вегетационного периода и в Саратовском регионе за период 1972–2005 годов [13]. Коэффициент корреляции данной зависимости составляет 0,42; оправдываемость уравнения – 62 %. Авторами установлено, что главным лимитирующим фактором, влияющим на продуктивность яровой пшеницы, является увлажнение территории.

По данным исследований В.И. Макарова [14], недостаток влаги для ячменя в условиях Завьяловского района Удмуртии за периоды 1976–1985 и 2006–2015 гг. проявляется уже в мае ($r=0,632$), но наиболее сильно влияют на продуктивность культуры осадки в июне-июле ($r=0,920$). Автором установлено, что температура воздуха и сумма активных температур с 1 мая по 10 июня незначительно влияли на продуктивность ячменя ($r = -0,022$; $-0,026$). В то же время сложившийся температурный режим с 11 июня по 20 июля негативно сказывался на развитии данных растений. С увеличением средней температуры и суммы активных температур за данный период происходило достоверное снижение урожайности ячменя ($r = -0,673$; $-0,669$).

Данная проблема широко обсуждается и в зарубежной литературе. Так, например, за последние 50 лет тяжесть воздействия аномальной жары и засухи на урожайность сельскохозяйственных культур в Европе примерно утроилась: с $-2,2\%$ (1964–1990 гг.) до $-7,3\%$ (1991–2015 гг.). Указывается, что потери производства зерновых, связанные с засухой, увеличиваются более чем на 3% в год [15].

Материалы и методы исследований

Для исследования влияния климатических факторов на эффективность производства сельскохозяйственной продукции нами проведен анализ помесечных изменений суммы осадков и средних температур окружающей среды за период с 1951 по 2020 гг. Эта информация получена из материалов метеорологических наблюдений по восьми гидрометеорологическим станциям, расположенным в различных районах Удмуртии. В качестве источника информации по эффективности производственной деятельности в растениеводстве использованы официальные материалы органов государственной статистики и Министерства сельского хозяйства и продовольствия Удмуртской Республики.

При проведении исследования использованы методы математической статистики, моделирования, корреляционно-регрессионного анализа, кластерного анализа. Теоретической основой исследования стали труды зарубежных и отечественных ученых в области климатологии и агрономии.

Результаты и их обсуждение

На рис. 1 показана вариация средних температур и суммы осадков в период роста растений в Удмуртии за последние 45 лет. Как видим, значения климатических факторов за исследуемый период подвержены значительному колебанию. Если средние температуры изменяются по годам в диапазоне от -20% до $+20\%$, то вариация суммы осадков за вегетационный период по отдельным годам может приближаться к 150% по абсолютной величине.

Анализ влияния различных факторов на урожайность, проведенный нами за период с 1951 по 2020 гг. на основе метеорологических наблюдений и статистических данных по урожайности различных культур в условиях Удмуртии, показал, что выход растениеводческой продукции достаточно сильно связан с климатическими условиями. Так, коэффициент парной корреляции урожайности с осадками составляет 0,24, а с температурой – 0,22. При этом между самими вышеуказанными климатическими факторами имеется обратная корреляционная связь на уровне 0,31, т. е. в среднем за исследуемый период при более высоких температурах в летние месяцы сумма осадков в этот год, как правило, была меньше.

В табл. 1 показано влияние климатических показателей на урожайность зерновых в Удмуртии за период с 1951 по 2020 гг. При расчете доли влияния отдельного фактора на результат использован статистически значимый показатель коэффициента детерминации.

Степень воздействия условий окружающей среды на рост растений в период их вегетации достаточно велика. Особенно это характерно для июньских климатических условий. За исследуемый семидесятилетний период осадки в среднем на $19,3\%$ определяли изменения урожайности зерновых, а средняя температура – на $14,1\%$. При этом самое значительное влияние имеют именно условия роста растений в июне, когда идет активная фаза вегетации зерновых. Климат этого периода определяет свыше 18% величины урожайности, что также подтверждается многочисленными исследованиями ученых [16; 17].



Рис. 1. Колебания суммы осадков и средней температуры по годам за вегетационный период (% от средних значений)

Таблица 1

Влияние температуры и осадков на урожайность зерновых культур в Удмуртии за период с 1951 по 2020 гг.

Фактор	Коэффициент вариации	Доля влияния на урожайность, %	Достоверность влияния по критерию Фишера, %
Средняя температура, град. С:			
– за вегетационный период	1,983	14,1	98,7
– в апреле	3,419	2,1	79,3
– в мае	0,794	0,5	81,2
– в июне	0,562	8,5	93,7
– в июле	0,393	1,9	88,4
Сумма осадков, мм:			
– за вегетационный период	2,278	19,3	99,1
– в мае	2,381	3,7	83,1
– в июне	2,033	18,1	94,6
– в июле	1,858	2,4	87,5

Очевидно, что в ближайшее время исключить или даже существенно уменьшить влияние климата на эффективность аграрного производства не удастся, поэтому возникает необходимость хотя бы определить возможности использования накопленных знаний для прогнозирования. Следует отметить, что сегодня количественных показателей для оценки влияния климата на результаты аграрного производства не разработано. В то же время это весьма актуальная проблема, решение которой позволило бы определить эффективность использования всей совокупности ресурсов сельского хозяйства, представленного в виде ресурсного потенциала как отдельного товаропроизводителя, так и сельского района или региона в целом.

Анализируя показатели эффективности аграрного производства в динамике, можно увидеть тенденции и выявить закономерности поступательного развития сельского хозяйства. Для решения этой задачи нами были выделены динамические периоды технологического развития аграрного производства с учетом циклического характера климатических явлений, что подтверждено в работах ученых [18; 19].

С точки зрения степени влияния климата на земледелие особый интерес представляет показатель соотношения суммы осадков к сумме температур в период активной фазы роста растений. В агрономической науке для оценки этого показателя широко используется гидротермический коэффициент увлажнения Г.Т. Селянинова [20] (далее ГТК). Он характеризует уровень влагообеспеченности территории и используется для общей оценки климата и выделения зон различного уровня влагообеспеченности с целью определения целесообразности выращивания отдельных культур.

ГТК рассчитывается по формуле:

$$\Sigma K = \Sigma R / 0,1 \Sigma t,$$

где ΣR – это сумма осадков в миллиметрах за период с температурами выше $+10^{\circ}\text{C}$,
 Σt – сумма температур в градусах Цельсия ($^{\circ}\text{C}$) за то же время, уменьшенная в 10 раз.

Величина ГТК = 1,0 указывает на сбалансированность прихода и расхода влаги; $0,5 \leq \text{ГТК} \leq 1,0$ – засушливо, недостаточно влажно; ГТК < 0,5 – очень засушливо; ГТК > 1,0 – избыточно влажно.

Степень увлажненности почвы и температурный режим играют существенную роль в формировании урожайности. По нашим наблюдениям, за исследуемый период 1951–2020 гг. ГТК изменялся в интервале от 0,45 в 2010 г. до 2,15 в 1994 г. (рис. 2). Средняя величина ГТК в Удмуртии составила 1,18. Это достаточно благоприятная величина для роста растений.

Как видно из рис. 2, разброс гидротермического коэффициента в последние годы увеличивается, что создает дополнительные условия нестабильности в аграрном производстве. Период относительно стабильного климата от начала 50-х гг. до конца 60-х гг. прошлого столетия завершился. В наших современных условиях для обеспечения высоких урожаев необходимо совершенствовать агротехнологические приемы, улучшать сортовые качества растений, использовать новые формы и способы борьбы с болезнями и вредителями культурных растений [21]. В этом направлении ведется большая работа в отечественном сельском хозяйстве, что отражается на результативности земледелия.

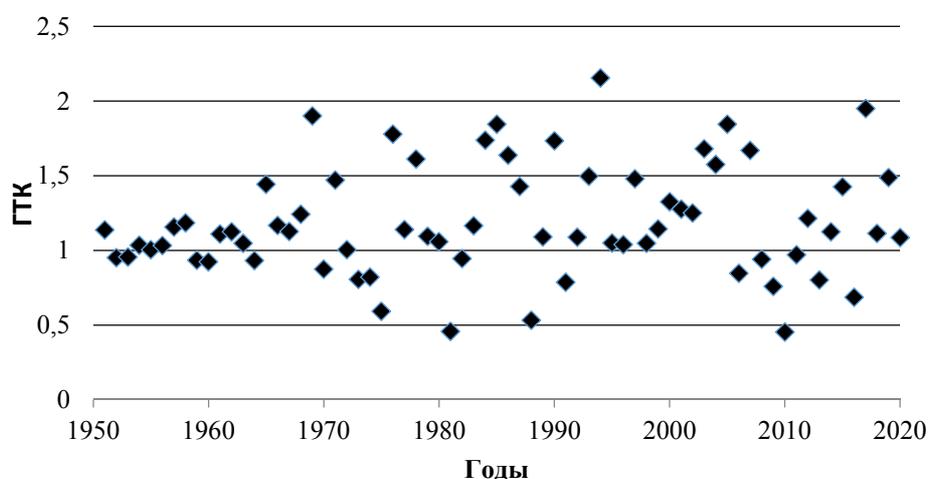


Рис. 2. Изменение ГТК в период вегетации растений на территории Удмуртии

Таблица 2

Динамика изменения климатических факторов и их влияния на урожайность по десятилетиям

Годы	Среднегодовые значения климатических показателей за вегетационный период			Урожайность зерновых, ц/га	Доля влияния факторов климата на урожайность, %	
	сумма осадков, мм	температура, $^{\circ}\text{C}$	ГТК		осадков	температуры
1951–1960	153,923	12,902	1,031	6,08	14,35	13,79
1961–1970	166,667	12,120	1,197	7,48	15,84	4,16
1971–1980	158,593	12,243	1,138	9,34	60,78	58,09
1981–1990	179,803	12,610	1,257	11,00	52,73	29,77
1991–2000	181,623	12,794	1,261	11,74	14,36	7,69
2001–2010	179,380	12,873	1,229	13,83	3,35	7,88
2011–2020	175,883	13,167	1,186	16,78	29,12	21,09

На основе корреляционно-регрессионного анализа нами получена информация о влиянии климата на эффективность земледелия в Удмуртии по усредненным десятилетним значениям (табл. 2). Разброс температуры и осадков в каждом десятилетии имеет тенденцию к росту, но, несмотря на это, результативность растениеводческой отрасли республики улучшается. Так, средняя урожайность зерновых культур в Удмуртии с 1951 г. возросла более чем в три раза и сейчас составляет не менее 20 центнеров с гектара убранной площади.

Особенно сильным было влияние климата на земледелие в 70-е и 80-е гг. прошлого столетия. В те годы урожайность почти наполовину определялась климатическими условиями. Это можно объяснить аномально большими отклонениями суммы осадков в летние периоды, что видно из рис. 1. Так, в 1982 г. за весь вегетационный период выпало только 72 мм осадков при средних значениях этого показателя 170 мм в год. Спустя три года, в 1985 г. выпало почти 230 мм осадков, что привело к гибели большей части урожая. Таких сильных отклонений по климату больше не наблюдалось за весь период исследований. Хотя среднегодовые показатели по сумме осадков за вегетационный период в 1981–1990 и в 2001–2010 десятилетиях почти одинаковые, но на урожайность зерновых они оказали совершенно разное влияние, т. к. во втором случае вариация исследуемого показателя по годам была совершенно незначительной.

Отмечая существенную роль атмосферных условий на развитие растениеводства, все же следует заметить тенденцию относительного снижения их влияния на производственную деятельность человека, что видно из рис. 3.

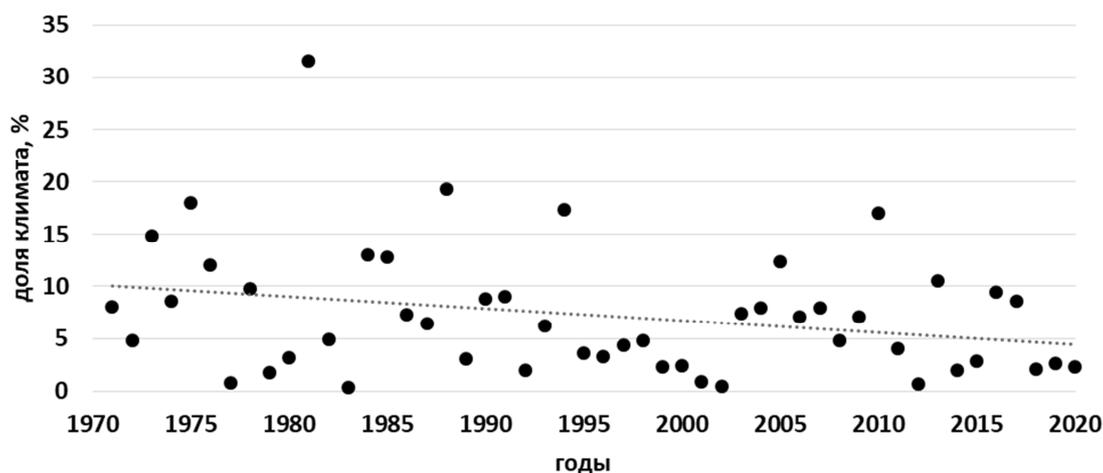


Рис. 3. Снижение роли климатических факторов в формировании урожайности зерновых в Удмуртии

Мы полагаем, что в ближайшей перспективе рост объемов производства аграрной продукции можно будет обеспечить только за счет использования новейших достижений науки и технологий. При этом климатические факторы останутся основным источником нестабильности в сельском хозяйстве [22].

С точки зрения сельского товаропроизводителя было бы неплохо знать ориентировочные прогнозы на погоду хотя бы на один цикл производственного процесса, который начинается с посадки растений и завершается уборкой урожая. В этом смысле можно воспользоваться природными циклами, которые явно прослеживаются из рис. 1, а именно, после годов с большими осадками следуют, как правило, засушливые годы. Температурный режим летнего периода в целом по годам меняется несущественно и не оказывает сильного влияния на земледелие.

Следует иметь в виду, что климатические условия различаются не только по годам, но и по территориям даже в пределах таких небольших регионов, как Удмуртия. Это подтверждается данными гидрометеорологических станций, расположенных в различных районах республики, что отражено в табл. 3. Так, за 2019-2020 гг. средняя температура июня по районам расположения станций отличалась в пределах 10 %, однако различия суммы осадков в этот же период в разных районах республики достигали от 37 % в 2019 г. до 78 % в 2020 г.

Особенно значительные расхождения климата по районам наблюдаются в неблагоприятные для земледелия годы. Так, например, гидротермический коэффициент в 2019 г. в целом по районам Уд-

муртии различался всего на 36 %, а в относительно засушливом 2020 г. – уже на 56 %, и был по некоторым районам ниже показателя предыдущего года в несколько раз.

При оценке потенциальных возможностей сельских товаропроизводителей, учитывая значительное влияние климата на эффективность земледелия, необходимо провести районирование регионов с выделением территорий относительно близких по природно-климатическим факторам [23; 24]. Такое районирование позволит осуществлять адресный дифференцированный подход при планировании размещения производства сельскохозяйственных культур, выделении перспективной специализации аграрного производства на конкретной территории.

Таблица 3

Вариация климатических показателей по метеостанциям Удмуртии

Метеостанция	Среднесуточная температура в июне, °С		Сумма осадков в июне, мм		Сумма осадков на один градус температуры	
	2019 г.	2020 г.	2019 г.	2020 г.	2019 г.	2020 г.
Дебесская	15,1	14,1	64,3	29,6	4,3	2,1
Глазовская	15,0	14,1	82,7	43,7	5,5	3,1
Игринская	15,3	14,4	80,4	22,7	5,3	1,6
Ижевская	16,0	14,6	80,4	28,0	5,0	1,9
Можгинская	16,2	14,7	56,9	52,8	3,5	3,6
Сарапульская	16,6	15,3	59,3	36,8	3,6	2,4
Селтинская	16,1	14,8	59,3	37,3	3,7	2,5
Воткинская	15,9	14,6	62,9	33,4	4,0	2,3

Таблица 4

Результаты кластерного анализа по районам Удмуртии

Район	Площадь, км ²	Кю	Кс	Кц
Алнашский	896	0,88	0,18	0,26
Балезинский	2435	0,17	0,91	0,08
Вавожский	1679	0,36	0,42	0,45
Воткинский	1863	0,37	0,41	0,45
Глазовский	2163	0,16	0,95	0,04
Граховский	970	1,00	0,15	0,00
Дебесский	1033	0,19	0,82	0,17
Завьяловский	2202	0,39	0,39	0,45
Игринский	2267	0,21	0,73	0,25
Камбарский	673	0,48	0,32	0,43
Каракулинский	1192	0,49	0,31	0,43
Кезский	2321	0,17	0,91	0,09
Кизнерский	2131	0,53	0,29	0,40
Киясовский	821	0,53	0,29	0,40
Красногорский	1860	0,20	0,78	0,20
Малопургинский	1223	0,36	0,43	0,45
Можгинский	1997	0,45	0,34	0,45
Сарапульский	1878	0,46	0,34	0,44
Селтинский	1884	0,36	0,43	0,45
Сюмсинский	1790	0,36	0,43	0,45
Увинский	2445	0,39	0,39	0,45
Шарканский	1404	0,34	0,45	0,45
Юкаменский	1020	0,18	0,86	0,13
Якшур-Бодьинский	1780	0,36	0,43	0,45
Ярский	1524	0,15	1,00	0,00

Примечание: * – площади даны без включения городских территорий.

Многолетний анализ изменений погоды в Удмуртской Республике показывает, что наиболее обоснованным является выделение в республике трех агроклиматических зон, что подтверждается и выводами других ученых [25; 26]. С учетом географического расположения Удмуртии, ее вытянутости с юга на север эти зоны условно можно назвать «южная», «центральная» и «северная». Чтобы отнести сельские районы к той или иной зоне мы провели кластерный анализ [27] с использованием агроклиматических факторов и их усредненных значений за последние 30 лет.

При проведении кластерного анализа применили многошаговый метод дискретной оптимизации с выделением трех кластеров с ядрами, расположенными в Ярском (северный кластер), Граховском (южный кластер) и Завьяловском районах (центральный кластер). В качестве факторов распределения районов по кластерам использовали расстояние от центров ядер, количество осадков и среднесуточные температуры за вегетационный период. При этом последние факторы использовали с весовыми коэффициентами, характеризующими влияние соответствующего фактора на урожайность, которые определяются по коэффициентам детерминации. На основании полученных результатов рассчитаны коэффициенты К_ю, К_с и К_ц, которые показывают степень приближения района к южному, северному и центральному кластерам соответственно (табл. 4).

Характеристики выделенных агроклиматических зон представлены в табл. 5.

Таблица 5

Характеристики агроклиматических зон Удмуртии

Показатель	Зона		
	южная	центральная	северная
Количество районов	7	10	8
Общая площадь, тыс. га	856	1827	1462
Среднесуточная температура за вегетационный период, °С	14,29	13,35	11,97
Среднегодовая сумма осадков за вегетационный период, мм	173,4	186,3	179,8
Гидротермический коэффициент	1,12	1,18	1,24

В южную зону вошли районы: Алнашский, Граховский, Камбарский, Каракулинский, Кизнетский, Киясовский и Сарапульский. Всего семь сельских районов с общей площадью 856 тыс. га. К центральной зоне отнесено десять районов: Вавожский, Воткинский, Завьяловский, Малопургинский, Можгинский, Селтинский, Сюмсинский, Увинский, Шарканский и Якшур-Бодьинский с общей площадью территории 1827 тыс. га. В северную зону с общей территорией 1462 тыс. га вошли Балезинский, Глазовский, Дебесский, Игринский, Кезский, Красногорский, Юкаменский и Ярский районы.

Такое районирование несколько отличается от традиционного, применяемого в системе государственного управления республики, но оно основано на фактических различиях климата и подтверждается существенным расстоянием между выделенными кластерами по комплексу факторов. При этом в качестве критериальных факторов кластеризации использованы показатели, играющие наиболее важную роль в аграрном производстве. Поэтому предложенное разделение территории республики на зоны следует использовать, прежде всего, для решения вопросов развития сельского хозяйства.

Заключение

Климатические факторы оказывают существенное влияние на эффективность производственной деятельности в растениеводстве. Они являются основным источником нестабильности аграрного производства и в ближайшей перспективе еще будет оказывать негативную роль в сельском хозяйстве. Однако применение современных технологий производства и внедрение научных достижений в земледелии постепенно уменьшают размеры этой нестабильности.

Значения климатических факторов на территории Удмуртии за 1975–2020 гг. подвержены значительному колебанию. Если средние температуры изменяются по годам в диапазоне от -20 % до +20 %, то вариация суммы осадков за вегетационный период по отдельным годам может приближаться к 150 % по абсолютной величине.

Анализ количества осадков, температурного режима воздуха в период вегетации растений и связанного с ними обобщающего гидротермического коэффициента показал, что за период с 1951 по 2020 гг. в Удмуртии осадки в среднем на 19,3 % определяли изменения урожайности зерновых, а средняя температура воздуха – на 14,1 %. При этом самое значительное влияние имеют именно условия роста растений в июне, когда рассматриваемые показатели определяют свыше 18 % величины урожайности зерновых культур. Доля влияния рассматриваемых факторов существенно варьировала по десятилетним периодам: от 3,4 % (2001–2010 гг.) до 60,8 % (1971–1980 гг.).

Выявлена тенденция относительного снижения влияния климата на эффективность аграрного производства за последние полвека. Если средняя урожайность зерновых культур в республике с 1951 г. возросла более чем в три раза, то доля влияния анализируемых климатических факторов в последнее десятилетие составила 21 % по температуре воздуха и 29 % по осадкам.

Доказана существенность различий климата в разных районах Удмуртии вследствие ее вытянутости с севера на юг, что отражается на эффективности аграрного производства. Предложено агроклиматическое зонирование территории региона на основе учета количества осадков и среднесуточных температур за вегетационный период с использованием метода кластерного анализа, при этом рассматриваемые факторы учитывались с весовыми коэффициентами, характеризующими их влияние на урожайность зерновых культур. Выделено три агроклиматические зоны (северная, центральная и южная). Агроклиматическое зонирование может быть использовано для решения стратегических задач развития сельского хозяйства республики, включая территориальное планирование производства аграрной продукции и углубление специализации в сельском хозяйстве.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Смагин Б.И. Экономический анализ и статистическое моделирование аграрного производства. Мичуринск: Изд-во Мичурин. гос. аграр. ун-та, 2007. 153 с.
2. Оценка макроэкономических последствий изменений климата на территории Российской Федерации на период до 2030 года и дальнейшую перспективу / Под ред. В.М. Катцова, Б.Н. Порфирьева. М.: Д'АРТ: Главная геофизическая обсерватория, 2011. 252 с.
3. Вильфанд Р.М., Страшная А.И. Климат, прогнозы погоды и агрометеорологическое обеспечение сельского хозяйства в условиях изменения климата // Адаптация сельского хозяйства России к меняющимся погодноклиматическим условиям. Сборник докладов международной научно-практической конференции (7–11 декабря 2010). М.: РГАУ-МСХА им. К. А. Тимирязева, 2011. С. 23–38.
4. Клещенко А.Д., Лебедева В.М., Гончарова Т.А., Найдина Т.А., Шкляева Н.М. Оценка потерь урожайности от засухи с помощью динамико-статистической модели прогнозирования продуктивности сельскохозяйственных культур // Метеорология и гидрология. 2016. № 4. С. 94–102.
5. Пасов И.М. Изменчивость урожаев и оценка ожидаемой продуктивности зерновых культур. Л.: Гидрометеоиздат, 1986. 152 с.
6. Сиротенко О.Д., Абашина Е.В., Павлова В.Н. Чувствительность сельского хозяйства России к изменениям климата, химического состава атмосферы и плодородия почв // Метеорология и гидрология. 1995. № 4. С. 107–114.
7. Liefert W. Comparative Advantage in Russian agriculture // American Journal of Agricultural Economics. 2002. Vol. 84. Pp. 762–767.
8. Павлова В.Н. Продуктивность зерновых культур в России при изменении агроклиматических ресурсов в 20–21 веках: дис. ... докт. геогр. наук. Москва, 2021. 271 с.
9. Обухов В.М. Урожайность и метеорологические факторы. М.: Госпланиздат, 1949. 317 с.
10. Колосков П.И. Сравнительная климатическая характеристика периода вегетации сельскохозяйственных культур на территории северного полушария // Тр. науч.-исслед. ин-та авиационной климатологии. 1962. Вып. 15. С. 66–77.
11. Батталов Ф.З. Сельскохозяйственная продуктивность климата для яровых зерновых культур. Л.: Гидрометеоиздат, 1980. 112 с.
12. Переведенцев Ю.П., Давлятшин И.Д., Лукманов А.А., Мустафина А.Б. Прогнозирование урожайности яровой пшеницы по метеорологическим показателям на примере Тетюшского района Республики Татарстан // Вестник Удмуртского университета. Серия Биология. Науки о Земле. 2020. Т. 30. Вып. 4. С. 457–464.
13. Ормели Е.И. Зависимость урожайности яровой пшеницы от гидротермических условий в Саратовском регионе // Вестник Удмуртского университета. Серия Биология. Науки о Земле. 2021. Т. 31. Вып. 4. С. 467–473.
14. Макаров В.И. Агроклиматические ресурсы Удмуртии и их связь с урожайностью зерновых культур (на примере Ижевской ГМС) // Вестник Удмуртского университета. Серия Биология. Науки о Земле. 2016. Т. 26. Вып. 3. С. 112–121.

15. Bras T.A., Seixas J., Carvalhais N., Jägermeyr J. Environmental research letters // IOP Publishing Ltd. 2021. 16 (6): 06512. Doi: 10.1088/1748-9326/abf004
16. Фатыхов И.Ш. Программирование урожаев сельскохозяйственных культур в условиях Западного Предуралья. Ижевск: ИЖСХИ, 1991. 69 с.
17. Акмаров П.Б., Князева О.П., Рысин И.И. Агроклиматический потенциал эффективности земледелия (на примере зерновых культур Удмуртии) // Вестник Удмуртского университета. Серия Биология. Науки о Земле. 2014. Вып. 2. С. 43–45.
18. Кривенко В.Г. Концепция природной циклики и некоторые задачи хозяйственных стратегий России // Аграрная Россия. 2005. № 6. С. 41–47.
19. Пасов В.М., Яцало Б.И. Использование комплекса моделей в агрометеорологическом прогнозировании // Метеорология и гидрология. 1992. № 12. С. 87–94.
20. Селянинов Г.Т. О сельскохозяйственной оценке климата // Труды по сельскохозяйственной метеорологии. Л.: Гидрометеиздат, 1928. Вып. 20. С. 165–177.
21. Павлова В.Н. Агроклиматические ресурсы и продуктивность сельского хозяйства при реализации новых климатических сценариев в XXI веке // Труды Главной геофизической обсерватории им. А.И. Воейкова. 2013. № 569. С. 20–37.
22. Akmarov P.B., Rysin I.I., Knyazeva O. P. About the Role of Digitalization of Agriculture in Reducing the Impact of Climate on the Technological Development of Crop Production // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, Virtual, Online, 10–12 января 2022 года. Virtual, Online, 2022. P. 042012. doi:10.1088/1755-1315/988/4/042012
23. Родоман Б.Б. Районирование как обладание пространством // Региональные исследования. 2017. № 3. С. 4–12.
24. Ямилов Р.М. Коммуникационная доступность экономического субъекта в сельском хозяйстве // Экономика сельского хозяйства России. 2015. № 8. С. 74–80.
25. Атлас Удмуртской республики / Под общей ред. И.И. Рысина. Изд. 2-е, доп. и перераб. М: Феория; Ижевск: Удмуртия, 2020. 288 с.
26. Рысин И.И., Акмаров П.Б., Князева О.П. Моделирование влияния климатических факторов на урожайность зерновых культур (на материалах Удмуртии) // Вестник Удмуртского университета. Серия Биология. Науки о Земле. 2020. Т. 30. Вып. 4. С. 465–472.
27. Тюрин Ю.Н., Макаров А.А. Статистический анализ данных на компьютере / Под ред. В.Э. Фигурнова. М: «ИНФРА», 1998. 528 с.

Поступила в редакцию 14.08.2022

Акмаров Петр Борисович, кандидат экономических наук, профессор

E-mail: akmarov@izhgsha.ru

Князева Ольга Петровна, кандидат экономических наук, доцент

E-mail: izgsha_ug@mail.ru

ФГБОУ ВО «Ижевская государственная сельскохозяйственная академия»

426069, Россия, г. Ижевск, ул. Студенческая, 11

Рысин Иван Иванович, доктор географических наук, профессор

ФГБОУ ВО «Удмуртский государственный университет»

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

E-mail: rysin.iwan@yandex.ru

P.B. Akmarov, O.P. Knyazeva, I.I. Rysin

CLIMATE CHANGE AND ITS IMPACT ON THE EFFICIENCY OF AGRICULTURE (ON THE MATERIALS OF UDMURTIA)

DOI: 10.35634/2412-9518-2022-32-3-312-322

The influence of climatic factors on the efficiency of production activities in agriculture is shown on the example of Udmurtia. The patterns of changes in the main climatic factors affecting the yield of grain crops, such as the amount of precipitation and the temperature regime of the air during the growing season of plants and the associated generalizing hydrothermal coefficient for the period from 1951 to 2020, are revealed. During the study period, precipitation determined changes in grain yields by an average of 19.3 %, and the average air temperature – by 14.1 %. At the same time, it is precisely the conditions of plant growth in the month of June that have the most significant influence, when the indicators under consideration determine more than 18 % of the yield of grain crops. At the same time, the share of in-

fluence of the factors under consideration varied significantly over ten-year periods: from 3.4 % (2001–2010) to 60.8 % (1971–1980). The results of a statistical assessment of the degree of influence of environmental factors on the yield of grain crops in Udmurtia are presented. The trend of a relative decrease in the impact of climate on the efficiency of agricultural production over the past half century has been revealed. The significance of climate variations in different regions of Udmurtia is proved, which affects the efficiency of agricultural production. Agro-climatic zoning of the region's territory is proposed using the cluster analysis method and the results of this zoning are shown.

Keywords: climate, grain yield, vegetation period, hydrothermal coefficient, zoning, Udmurtia.

REFERENCES

1. Smagin B.I. *Ekonomicheskiy analiz i statisticheskoe modelirovanie agrarnogo proizvodstva* [Economic analysis and statistical modeling of agricultural production], Michurinsk: Michurin. Gos. Agrar. Univ., 2007, 153 p. (in Russ.).
2. *Otsenka makroekonomicheskikh posledstviy izmeneniy klimata na territorii Rossiyskoy Federatsii na period do 2030 goda i dal'neyshuyu perspektivu* [Assessment of the macroeconomic consequences of climate change in the territory of the Russian Federation for the period up to 2030 and beyond], Kattsov V.M. and Porfir'ev B.N. (ed). Moscow: D'ART: Glavnaya geofizicheskaya observatoriya, 2011, 252 p. (in Russ.).
3. Vil'fand R.M., Strashnaya A.I. *Klimat, prognozy pogody i agrometeorologicheskoe obespechenie sel'skogo khozyaystva v usloviyakh izmeneniya klimata* [Climate, weather forecasts and agrometeorological support of agriculture in conditions of climate change], in *Sborn. dokl. mezhd. nauch.-prakt. konf. "Adaptatsiya sel'skogo khozyaystva Rossii k menyayushchimsya pogodno-klimaticheskim usloviyam"* (Moscow, 7–11 December, 2010), 2011, pp. 23–38 (in Russ.).
4. Kleshchenko A. D., Lebedeva V. M., Goncharova T. A., Naidina T. A., Shklyayeva N. M. [Estimation of Drought-related Yield Loss Using the Dynamic-statistical Model of Crop Productivity Forecasting], in *Meteorologiya i gidrologiya*, 2016, no. 4, pp. 94–102 (in Russ.).
5. Pasov I.M. *Izmenchivost' urozhayev i otsenka ozhidaemoy produktivnosti zernovykh kul'tur* [Variability of yields and estimation of expected productivity of grain crops], Leningrad: Gidrometeoizdat, 1986, 152 p. (in Russ.).
6. Sirotenko O.D., Abashina E.V., Pavlova V.N. *Chuvstvitel'nost' sel'skogo khozyaystva Rossii k izmeneniyam klimata, khimicheskogo sostava atmosfery i plodorodiya pochv* [Sensitivity of Russian agriculture to changes in climate, atmospheric chemistry and soil fertility], in *Meteorologiya i gidrologiya*, 1995, no. 4, pp. 107–114 (in Russ.).
7. Liefert W. Comparative Advantage in Russian agriculture, in *American Journal of Agricultural Economics*, 2002, vol. 84, pp. 762–767.
8. Pavlova V.N. [Productivity of grain crops in Russia with changes in agro-climatic resources in the 20th and 21st centuries], dis. ... dokt. geogr. nauk, Moscow, 2021, 271 p. (in Russ.).
9. Obukhov V.M. *Urozhaynost' i meteorologicheskie factory* [Yield and meteorological factors], Moscow: Gosplanizdat, 1949, 317 p. (in Russ.).
10. Koloskov P.I. *Sravnitel'naya klimaticheskaya kharakteristika perioda vegetatsii sel'skokhozyaystvennykh kul'tur na territorii severnogo polushariya* [Comparative climatic characteristics of the growing season of agricultural crops in the northern hemisphere], in *Tr. nauch.-issled. in-ta aviatsionnoy klimatologii*, 1962, iss. 15, pp. 66–77 (in Russ.).
11. Battalov F.Z. *Sel'skokhozyaystvennaya produktivnost' klimata dlya yarovykh zernovykh kul'tur* [Agricultural climate productivity for spring grain crops], Leningrad: Gidrometeoizdat, 1980, 112 p. (in Russ.).
12. Perevedentsev Yu.P., Davlyatshin I.D., Lukmanov A.A., Mustafina A.B. [Forecasting of spring wheat yield by meteorological indicators on the example of the Tetyushsky district of the Republic of Tatarstan], in *Vestn. Udmurt. Univ. Ser. Biologiya. Nauki o Zemle*, 2020, vol. 30, iss. 4, pp. 457–464 (in Russ.).
13. Ormeli E.I. [Dependence of spring wheat yield on hydrothermic conditions in the Saratov region], in *Vestn. Udmurt. Univ. Ser. Biologiya. Nauki o Zemle*, 2021, vol. 31, iss. 4, pp. 467–473 (in Russ.).
14. Makarov V.I. [Agroclimatic resources of the Udmurt Republic and their connection with cereal grains yield (evidence from Izhevsk hydrometeostation)], in *Vestn. Udmurt. Univ. Ser. Biologiya. Nauki o Zemle*, 2016, vol. 26, iss. 3, pp. 112–121 (in Russ.).
15. Bras T.A., Seixas J., Carvalhais N., Jägermeyr J. Environmental research letters, in *IOP Publishing Ltd.* 2021. 16(6): 06512. Doi: 10.1088/1748-9326/abf004
16. Fatykhov I.Sh. *Programmirovanie urozhayev sel'skokhozyaystvennykh kul'tur v usloviyakh Zapadnogo Predural'ya* [Programming of crop yields in the conditions of the Western Urals], Izhevsk: Izhevsk. Gos. Sel'skokhozyayst. Akad., 1991, 69 p. (in Russ.).
17. Akmarov P.B., Knyazeva O.P., Rysin I.I. [Agroclimatic potential of efficiency of agriculture (illustrated by the example of grain crops of Udmurtiya)], in *Vestn. Udmurt. Univ. Ser. Biologiya. Nauki o Zemle*, 2014, no. 2, pp. 43–45 (in Russ.).
18. Krivenko V.G. *Kontseptsiya prirodnoy tsiklki i nekotorye zadachi khozyaystvennykh strategiy Rossii* [The concept of the natural cycle and some tasks of Russia's economic strategies], in *Agrarnaya Rossiya*, 2005, no. 6, pp. 41–47 (in Russ.).

19. Pasov V.M., Yatsalo B.I. *Ispol'zovanie kompleksa modeley v agrometeorologicheskom prognozirovanii* [The use of a set of models in agrometeorological forecasting], in *Meteorologiya i gidrologiya*, 1992, no. 12, pp. 87–94 (in Russ.).
20. Selyaninov G.T. *O sel'skokhozyaystvennoy otsenke klimata* [On agricultural climate assessment], in *Trudy po sel'skokhozyaystvennoy meteorologii*, Leningrad: Gidrometeoizdat, 1928, iss. 20, pp. 165–177 (in Russ.).
21. Pavlova V.N. [Agroclimatic resources and agricultural productivity of Russia with the application of new climate scenarios in the XXI century], in *Trudy Glavnoy geofizicheskoy observatorii im. A.I. Voeykova*, 2013, no. 569, pp. 20–37 (in Russ.).
22. Akmarov P.B., Rysin I.I., Knyazeva O.P. About the Role of Digitalization of Agriculture in Reducing the Impact of Climate on the Technological Development of Crop Production, in *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, (10–12 January 2022). Virtual, Online, 2022, pp. 042012. doi:10.1088/1755-1315/988/4/042012
23. Rodoman B.B. [Zoning as a space possession], in *Regional'nye issledovaniya*, 2017, no. 3, pp. 4–12 (in Russ.).
24. Yamilov R.M. [Communication accessibility of economic entities in agriculture], in *Ekonomika sel'skogo khozyaystva Rossii [Economics of Agriculture of Russia]*, 2015, no. 8, pp. 74–80 (in Russ.).
25. *Atlas Udmurtskoy Respubliki* [Atlas of the Udmurt Republic], Rysin I.I.(ed), 2-nd ed., Moscow: Feoriya Publ., Izhevsk: Udmurtiya Publ., 2020, 288 p. (in Russ.).
26. Rysin, I.I., Akmarov P.B., Knyazeva O.P. [Modelling of influence of climatic factors on productivity of grain crops (on materials of Udmurtiya)], in *Vestn. Udmurt. Univ. Ser. Biologiya. Nauki o Zemle*, 2020, vol. 30, iss. 4, pp. 465–472 (in Russ.).
27. Tyurin Yu.N., Makarov A.A. *Statisticheskiy analiz dannykh na komp'yutere* [Statistical data analysis on a computer], Figurnov V.E. (ed), Moscow: “INFRA” Publ., 1998, 528 p. (in Russ.).

Received 14.08.2022

Akmarov P.B., Candidate of Economics, Professor

E-mail: akmarov@izhgsha.ru

Knyazeva O.P., Candidate of Economics, Associate Professor

E-mail: izgsha_ur@mail.ru

Izhevsk State Agricultural Academy

Studencheskaya st., 11, Izhevsk, Russia, 426069

Rysin I.I., Doctor of Geography, Professor

Udmurt State University

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

E-mail: rysin.iwan@yandex.ru