

УДК 551.5 : 63(470.51)

*В.И. Макаров***АГРОКЛИМАТИЧЕСКИЕ РЕСУРСЫ УДМУРТИИ И ИХ СВЯЗЬ С УРОЖАЙНОСТЬЮ ЗЕРНОВЫХ КУЛЬТУР (НА ПРИМЕРЕ ИЖЕВСКОЙ ГМС)**

Проведен сравнительный анализ агрометеорологических условий теплового периода в Удмуртской Республике за 1976-1985 гг. и 2006-2015 гг. Продолжительность безморозного периода увеличилась на 8 суток. Сумма активных температур за период с 1 мая по 20 сентября возросла с 1975 до 2187°, а количество осадков, выпадающих за теплый период, снизилось с 365 до 355 мм. Значительное уменьшение атмосферных осадков произошло в мае и июне. Фактическое значение гидротермического коэффициента в 1976-1985 гг. составляло в среднем 1,38 и изменялось от 0,64 до 1,89 по отдельным вегетационным периодам. В 2006-2015 гг. ГТК снизился до 1,14, что соответствует климатической норме ($V=28\%$). В эти годы сложились более благоприятные условия для уборки зерновых культур и картофеля, посева озимых. ГТК в августе – сентябре составлял в среднем 1,49. За аналогичный период 1976-1985 гг. этот показатель равнялся 1,94 с варьированием от 0,68 до 4,82 ($V=63\%$). В 2006-2015 гг. урожайность ячменя характеризовалась сильной вариабельностью по годам ($V=23,0\%$). Неустойчивое увлажнение является основным лимитирующим фактором урожайности ячменя. Недостаток влаги для ячменя в условиях Удмуртии проявляется уже в мае ($r=0,632$), но наиболее сильно влияют на продуктивность культуры осадки в июне – июле ($r=0,920$). Оптимальное количество осадков для ячменя за период с 11 июня по 20 июля составляет 95 мм (при климатической норме 76 мм). В изменившихся климатических условиях в земледелии Удмуртии необходимо использовать влагосберегающие технологии, и в первую очередь в весенний период: увеличение в структуре посевных площадей озимых и многолетних культур, применение мульчирующих способов обработки почвы, планирование сроков посева и другие известные агроприемы. Следует провести научные изыскания в области стабилизации производства растениеводческой продукции в условиях вариабельности агроклиматических факторов по годам.

Ключевые слова: агроклиматические условия, температура, осадки, сумма активных температур, гидротермический коэффициент, опасные метеорологические явления, ячмень, корреляционная связь, Удмуртская Республика.

Анализ климатических условий территорий является основополагающим элементом агроэкологической оценки земельных ресурсов [1; 2]. Во-первых, метеорологические показатели относятся к абиотическим условиям роста и развития растений. Соответственно, от режимов температуры, увлажнения, освещения зависит и биопродуктивность сельскохозяйственных культур, качество производимой растениеводческой продукции. Во-вторых, погодные условия в значительной степени влияют на сроки и продолжительность проведения отдельных агротехнических мероприятий. По этой причине изменение климата, особенно метеорологических характеристик вегетационных периодов, существенно влияет на эффективность сельскохозяйственного производства. Глобальное потепление климата на планете привело к возрастанию интенсивности проявления опасных для производства растениеводческой продукции природных явлений метеорологического характера [3-5]. Государственной службой гидрометеорологии все чаще регистрируются продолжительные засухи, наводнения, ураганы [6].

Таким образом, внедряемые в Удмуртии адаптивно-ландшафтные системы земледелия должны основываться на актуальных агрометеорологических данных природно-сельскохозяйственных территорий. Использование для этих целей сведений о климате Удмуртии, приведенных в справочниках [7], является нежелательным. Информация, приведенная в актуальных базах метеоданных, в научных изданиях свидетельствует о повышении среднегодовой температуры при одновременном возрастании осадков за вегетационный период [8; 9]. Однако ими констатируется, что продуктивность основных зерновых культур имеет слабую связь с погодными условиями вегетационных периодов. Еще меньшую корреляционную связь урожайности зерновых с осадками ($r=0,223$) и температурой ($r=0,017$) в первой половине теплого периода приводит П.Б. Акмаров с соавторами [4]. Отмечается, что на низко плодородных дерново-подзолистых почвах Удмуртии погодные условия не являются основным фактором, определяющим урожайность возделываемых культур [8]. На наш взгляд это не так. Вариация урожайности сельскохозяйственных культур по годам, доля необранной продукции растениеводства, в частности, льняной тресты, овощей, а в отдельные годы и зерновых, свидетельствует о существенной роли погоды в эффективности сельскохозяйственного производства [10-13].

Материалы и методика исследования

Методика исследований предусматривала анализ метеорологических условий тепловых периодов 1976–1985 гг. и 2006–2015 гг. по количеству и интенсивности осадков, температуре и относительной влажности воздуха, скорости ветра [14; 15]. Рассчитана вариация показателей. Выполнены расчеты количества суммы активных температур, гидротермического коэффициента, испарения влаги, коэффициента увлажнения [16] за определенные периоды, важные с точки зрения роста и развития растений, уборки урожая. Установлены усредненные за 10 лет даты наступления весной и осенью температуры 0, 5, 10 и 15 °С и рассчитана продолжительность этих периодов. Выполнен анализ проявления опасных метеорологических явлений, относящихся к страховым случаям в системе сельскохозяйственного страхования [17] с учетом требований РД 52.88.699-2008¹. Проведен корреляционно-регрессионный анализ связи урожайности зерна ячменя (применительно к Завьяловскому району Удмуртской Республики) с основными агроклиматическими показателями с использованием пакета статистических программ MS Excel.

Результаты и их обсуждение

Температура воздуха и продолжительность вегетационного периода. В 1976–1985 гг. средняя температура воздуха теплого периода года соответствовала климатической норме (табл. 1). Однако в метеорологических наблюдениях 2006–2015 гг. установлено повышение этого показателя на 1,2 °С. При этом выявлена тенденция к возрастанию температуры воздуха в весенние и осенние месяцы. Так, в мае 2006–2015 гг. средняя температура составила 13,3 °С, что выше климатической нормы на 2,2 градуса. Следует отметить, что средняя температура воздуха вегетационного периода яровых зерновых возросла с 16,2 °С в 1976–1985 гг. до 17,3 °С в 2006–2015 гг.

Таблица 1

Анализ средней температуры воздуха за теплый период 1976–1985 гг. и 2006–2015 гг., °С

Период наблюдения	Климатическая норма	1976–1985 гг.				2006–2015 гг.			
		\bar{t}	min	max	$V, \%$	\bar{t}	min	max	$V, \%$
01.04. – 31.10	11,2	11,0	9,4	12,9	9	12,2	10,9	13,7	7
01.04 – 30.04	2,8	2,8	-2,9	7,8	98	4,2	1,7	8,3	43
01.05 – 31.05	11,1	11,9	9,0	14,6	17	13,3	10,8	15,4	11
01.06 – 30.06	16,8	15,9	11,6	19,3	13	17,6	13,9	19,5	11
01.07 – 31.07	18,7	18,4	15,9	22,0	10	18,7	15,6	22,3	12
01.08 – 31.08	16,5	15,9	12,8	20,2	13	17,2	13,9	20,1	10
01.09 – 30.09	10,0	10,5	9,2	11,8	11	11,2	8,2	13,5	12
01.10 – 31.10	2,3	1,5	-3,9	6,3	173	3,6	-0,4	6,2	58
01.05 – 10.06	12,2	12,3	9,4	16,7	18	13,9	10,4	16,1	12
01.05 – 20.09	15,2	15,0	13,1	16,9	7	16,0	14,8	18,1	6
11.05 – 10.08	16,6	16,2	14,2	18,8	9	17,3	15,7	20,1	8
01.08 – 30.09	13,3	13,2	11,2	15,1	8	14,2	12,7	15,7	5
01.09 – 31.10	6,2	6,0	2,7	8,1	24	7,4	4,9	8,8	14

Тепловой режим влияет на потенциальную продолжительность вегетации сельскохозяйственных культур. Так, в 2006-2015 гг. длительность безморозного периода возросла на 6 суток по сравнению с климатической нормой и на 8 – по сравнению со средними данными за 1976-1985 гг. (табл.2). При этом установлено и существенное возрастание продолжительности периодов с активными температурами более 5 °С на 11 суток. В 2006-2015 гг. намного раньше климатической нормы происходило наступление средней температуры 10 °С (на 8 суток) и 15 °С (на 11 суток).

¹ РД 52.88.699-2008 Положение о порядке действий учреждений и организаций при угрозе возникновения и возникновении опасных природных явлений. М.: Росгидромет, 2008. 31 с.

Таблица 2

**Даты перехода среднесуточных температур и продолжительность вегетационных периодов
1976-1985 гг. и 2006-2015 гг.**

Показатель	Климатическая норма	1976-1986 гг.	2006-2015 гг.
Дата наступления среднесуточной температуры весной:			
0 °С	5 апреля	5 апреля	2 апреля
5 °С	22 апреля	21 апреля	17 апреля
10 °С	11 мая	3 мая	3 мая
15 °С	3 июня	11 июня	23 мая
Дата наступления среднесуточной температуры осенью:			
0 °С	25 октября	23 октября	28 октября
5 °С	6 октября	1 октября	8 октября
10 °С	15 сентября	17 сентября	20 сентября
15 °С	26 августа	26 августа	25 августа
Продолжительность вегетационного периода дней с температурами более:			
0 °С	204	202	210
5 °С	168	164	175
10 °С	128	138	141
15 °С	85	77	91

Сумма активных температур. Важным показателем теплообеспеченности вегетационного периода является сумма активных температур. Известны индивидуальные требования видов сельскохозяйственных культур, сортов к этому показателю. Так, наиболее раннеспелые сорта ячменя предусматривают накопление суммы активных температур более 10 °С 1200–1400°, проса 1400–1550, кукурузы на зерно 2100°. По климатическим нормам теплообеспеченность сельскохозяйственных угодий применительно к Завьяловскому району составляет 1900–2000°. В 1976–1985 гг. средняя теплообеспеченность вегетационных периодов составила 1975°, что соответствует норме (табл. 3). При оптимальном сроке посева созревание яровых зерновых происходило 10 августа – набирались необходимые для ячменя 1400°. Однако наблюдалась существенная вариация этого показателя по годам ($V = 12\%$). В 2006–2015 гг. усредненная сумма активных температур за 11.05 – 10.08 возросла на 139°, или 9,8 %. Соответственно, созревание ячменя в тех же условиях должно проходить на 7–10 суток ранее обычного. Средняя сумма активных температур 2187° за период с 1 мая по 20 сентября позволяет выращивать кукурузу раннеспелых сортов на зерно. Однако данное направление пока является рискованным из-за нестабильности теплообеспеченности.

Наиболее критическими для сельскохозяйственных культур являются ранние фазы развития. Выявлено, что с 1 мая по 10 июня в 2006–2015 гг. сумма активных температур составила в среднем 514°, что на 22 % больше данных за 1976–1985 гг. Известно, что ускоренное прохождение фенологических фаз яровыми культурами в условиях высокой температуры воздуха сопровождается снижением продуктивной кустистости, количества колосков.

Существенные изменения произошли в теплообеспеченности в осенние месяцы. Так, сумма активных температур за сентябрь – октябрь составила 304°, что на 33,3 % больше аналогичного периода в 1976–1985 гг. Поэтому следует пересмотреть сроки проведения посева озимых зерновых. Однако выявлена значительная вариабельность теплообеспеченности ($V = 22\%$) от 166 до 421°. Это затрудняет расчет оптимальных сроков посева озимых зерновых.

Увеличение теплообеспеченности позволяет эффективно возделывать сельскохозяйственные культуры в уплотнительных посевах даже после уборки яровых зерновых культур. Так, сумма активных температур с 1 августа по 31 октября в 1976–1985 гг. составляла 703°, а в 2006–2015 гг. возросла на 126°, или 18 %. В пожнивных посевах рекомендуется выращивание на зеленый корм и сидераты холодоустойчивых растений из семейства капустных – рапса, белой горчицы. В 2006–2015 гг. с 1 августа по 31 октября сумма активных температур более 5 °С в среднем оставляла 956°.

Таблица 3

Анализ суммы активных температур (> 10 °С) за теплый период 1976-1985 гг. и 2006-2015 гг., °С

Период наблюдения	1976–1985 гг.				2006–2015 гг.			
	\bar{x}	min	max	V, %	\bar{x}	min	max	V, %
01.04. – 31.10	2075	1700	2450	10	2340	2201	2653	8
01.04 – 30.04	46	0	129	101	51	12	192	100
01.05 – 31.05	306	207	429	27	364	226	463	19
01.06 – 30.06	450	286	560	19	518	371	586	13
01.07 – 31.07	570	494	615	10	579	483	696	12
01.08 – 31.08	475	372	561	17	524	397	599	10
01.09 – 30.09	216	176	293	20	270	92	372	27
01.10 – 31.10	12	0	47	124	35	0	99	108
01.05 – 10.06	421	243	656	30	514	286	642	20
01.05 – 20.09	1975	1690	2328	10	2187	1871	2497	7
11.05 – 10.08	1421	1213	1719	12	1560	1330	1846	9
01.08 – 30.09	691	540	819	14	794	616	867	9
01.09 – 31.10	228	167	340	21	304	166	421	22

Осадки. Известно, что количество осадков и периодичность их выпадения является главным лимитирующим фактором урожайности в большинстве регионов России. По этой причине овощеводство открытого грунта в Удмуртской Республике ведется только в условиях орошения. Вариабельность урожайности полевых культур, особенно ярового сева, в первую очередь также связана с осадками вегетационного периода. Внедряемые адаптивно-ландшафтные системы земледелия обязательно являются влагосберегающими и предусматривают рациональное использование осадков. Обязанность агронома является не только разработка и внедрение такой технологии возделывания сельскохозяйственных культур, но и систематическая их корректировка в силу изменившихся климатических условий на территории землепользования.

Таблица 4

Анализ количества выпадения атмосферных осадков за теплый период 1976–1985 гг. и 2006–2015 гг., мм

Период наблюдения	Климатическая норма	1976-1985 гг.				2006-2015 гг.			
		\bar{x}	min	max	V, %	\bar{x}	min	max	V, %
01.04 – 31.10	320	365	256	622	29	355	247	458	19
01.04 – 30.04	26	28	13	50	47	34	2	50	36
01.05 – 31.05	42	33	9	66	48	32	18	43	30
01.06 – 30.06	54	61	17	101	40	48	8	102	54
01.07 – 31.07	58	72	16	110	41	72	17	110	35
01.08 – 31.08	52	67	13	237	91	65	18	127	47
01.09 – 30.09	46	59	14	103	43	52	17	117	51
01.10 – 31.10	42	46	24	79	38	52	33	66	24
01.05 – 10.06	59	54	26	88	41	51	38	56	13
01.05 – 20.09	237	269	146	499	35	247	123	353	27
11.05 – 10.08	159	185	83	401	45	157	61	216	28
01.08 – 30.09	98	126	49	196	55	117	87	156	21
01.09 – 31.10	88	105	38	164	35	104	76	170	25

Выявлено, что суммарное фактическое количество осадков, выпадающих за теплый период, значительно превышает климатическую норму, приведенную в издании 1974 г. [7] (табл. 4). За период 1976–1985 гг. она составляла 365 мм, а в 2006–2015 гг. уменьшилась до 355. Вариабельность количества осадков в последние годы снизилась, но все же оставалась на значительном уровне (более 20 %). Следует отметить изменение интенсивности выпадения дождей в отдельные сроки теплого периода в 2006–2015 гг. Установлено значительное уменьшение количества осадков в мае и июне, в

наиболее критический период развития ранних яровых культур. В эти годы осадки с 01.05 по 10.06 ни в одном случае даже не достигли климатической нормы. В то же время возросло количество осадков, даже с превышением климатической нормы, в последующие месяцы.

Гидротермический коэффициент, испарение, коэффициент увлажнения. Известно, что влага и тепло являются основными климатическими факторами, лимитирующими продуктивность сельскохозяйственных культур. Поэтому влагообеспеченность растений необходимо оценивать с учетом тепловых ресурсов территорий. Кроме того, температурный режим территорий существенно влияет на испарение влаги, в том числе и непроизводительное. Наиболее простым и востребованным методом оценки увлажнения вегетационного периода с учетом испарения является гидротермический коэффициент (ГТК) – коэффициент Селянинова. В соответствие с климатическими нормами ГТК пригорода Ижевска при температуре более 10 °С составляет 1,0–1,2 [7] (табл. 5). Фактическое же значение ГТК в 1976–1985 гг. составляло в среднем 1,38 и изменялось от 0,64 до 1,89 по отдельным вегетационным периодам. В 2006–2015 гг. ГТК снизился до уровня климатической нормы (1,14) при меньшей вариабельности показателя ($V = 28\%$). Однако вегетационный период яровых зерновых культур (с 10 мая по 10 августа) характеризуется засушливостью. ГТК составлял всего 1,02, что на 28,4 % меньше аналогичного периода в 1976–1985 гг. Еще сильнее ГТК снизился за период с 1 мая по 10 июня – на 35,1 %.

Таблица 5

Анализ гидротермического коэффициента за теплый период 1976–1985 гг. и 2006–2015 гг.

Период наблюдения	1976–1985 гг.				2006–2015 гг.			
	\bar{x}	min	max	V, %	\bar{x}	min	max	V, %
01.04. – 31.10	1,79	1,18	2,91	32	1,52	0,93	1,99	18
01.05 – 10.06	1,27	0,23	2,60	71	0,94	0,38	1,88	45
01.05 – 20.09	1,38	0,64	1,89	36	1,14	0,49	1,61	28
11.05 – 10.08	1,31	0,51	2,53	41	1,02	0,33	1,34	29
01.08 – 30.09	1,94	0,68	4,82	63	1,49	0,98	2,03	25

В то же время в 2006–2015 гг. сложились более благоприятные условия для проведения уборочных работ, сева озимых культур в августе – сентябре. ГТК составил в среднем 1,49. За аналогичный период 1976–1985 гг. этот показатель равнялся 1,94 с варьированием от 0,68 до 4,82 ($V = 63\%$). Следует отметить, что в 40 % наблюдений (1978, 1980, 1983, 1984 гг.) ГТК превышал коэффициент 2. В соответствие с действующими в настоящее время нормативными документами² в 1976–1985 гг. Удмуртия относилась бы к территориям, неблагоприятным для производства сельскохозяйственной продукции по величине ГТК на период уборки. Для сведения, в 2006–2015 гг. только в одном случае из десяти ГТК достиг 2,03 с 1 августа по 30 сентября.

Известно, что на испарение воды из почв влияет не только температура воздуха, но и другие факторы: относительная влажность воздуха, скорость ветра, покрытие растениями и др. Поэтому для оценки увлажнения территорий, влагообеспеченности растений используются и другие методы [16; 18]. Например, коэффициент увлажнения по Иванову (КУ) предусматривает расчет влагообеспеченности с учетом температуры и относительной влажности воздуха. Установлено, что между показателями ГТК и КУ за период с 1 мая по 30 сентября наблюдается тесная корреляционная связь ($R = 0,99$) (табл. 6). В то же время коэффициент корреляции между этими показателями в начале вегетации сельскохозяйственных культур (1 мая по 10 июня) имеет меньшую тесноту ($R = 0,88$). Причиной этого является более высокая испаряемость в условиях низкого парциального давления водяных паров в надземной атмосфере.

Следует обратить особое внимание на потенциальные непроизводительные потери влаги из почвы в мае. Этот месяц характеризуется самой низкой относительной влажностью воздуха в годовом цикле [7]. В наблюдениях за 2006–2015 гг. среднее значения показателя составило 57 % с варьированием от 52 до 66. Несмотря на более низкую температуру в мае (13,3 °С), расчетная испаряемость

² Постановление Правительства РФ от 27.01.2015г. № 51 «Об утверждении Правил отнесения территорий к неблагоприятным для производства сельскохозяйственной продукции территориям». URL: <http://base.garant.ru/70853938/>

была максимальной за теплый период (97 мм). Кроме того, на интенсивность эмиссии воды из почв в значительной степени влияют турбулентная диффузия и адвекция [19]. Существенно влияет на интенсивность влагопотерь из почвы и скорость ветра. В мае регистрировалось до 6 дней со скоростью ветра более 7 м/с при относительной влажности воздуха менее 30 %.

Таблица 6

Анализ коэффициента увлажнения, относительной влажности воздуха и испарения за теплый период 2006-2015 гг.

Период наблюдения	Коэффициент увлажнения				Относительная влажность воздуха, %			Испаряемость, мм		
	\bar{I}	min	max	$V, \%$	\bar{I}	Min	max	\bar{I}	min	max
01.05 – 31.05	0,35	0,15	0,56	41	57	52	66	97	75	124
01.06 – 30.06	0,55	0,21	1,15	62	67	59	73	95	71	127
01.07 – 31.07	0,98	0,10	2,21	59	71	51	80	90	50	175
01.08 – 31.08	0,98	0,44	2,63	68	74	60	80	75	62	137
01.09 – 30.09	1,36	0,39	2,60	70	79	66	86	44	29	69
01.05 – 10.06	0,39	0,25	0,62	28	59	53	67	127	90	165
11.06 – 20.07	0,74	0,12	1,54	63	69	54	77	127	83	196
11.05 – 10.08	0,60	0,14	0,93	38	67	54	73	283	215	451
01.05 – 20.09	0,84	0,34	1,10	31	70	58	75	402	316	625

Усугубляется ситуация и тем, что в этот период растения или отсутствуют или они еще не обладают эффективной защитной способностью против испарения с поверхности почв. В начале теплового периода года почва в целом имеет высокую влажность, близкую к предельной полевой влагоемкости, что тоже предопределяет большие непроизводительные потери воды [20]. Поэтому в изменившихся климатических условиях необходимо использовать влагосберегающие технологии, в первую очередь в весенний период: увеличение в структуре посевных площадей озимых и многолетних сельскохозяйственных культур, уплотнительных посевов [11], применение мульчирующих способов обработки почвы [20-22], планирование сроков посева [23].

Связь урожайности зерновых культур с метеорологическими данными. Известно, что погодные условия относятся к числу факторов, существенно влияющих на продуктивность агроэкосистем. Нами проведен корреляционно-регрессионный анализ связи метеорологических характеристик вегетационных периодов 2006-2015 гг. по данным Ижевской ГМС со средней урожайностью ячменя в хозяйствах Завьяловского района. Данная культура занимает наибольшие площади в структуре зерновых как по району, так и по Удмуртии. Средняя урожайность зерна ячменя составила всего 15,0 ц/га. При этом отмечается очень высокая вариабельность показателя ($V = 23,0$), что указывает на существенное влияние погодных условий на продуктивность культуры (табл. 7). Корреляционно-регрессионный анализ произведен как для вегетационного периода в целом, так и для отдельных наиболее важных для развития растений ячменя временных отрезков.

Таблица 7

Связь урожайности ячменя с агроклиматическими характеристиками вегетационных периодов за период 2006–2015 гг.

Показатель	Период наблюдений		
	01.05-10.06	11.06-20.07	10.05-10.08
1. Средняя температура, °С	-0,026/0,096*	-0,673/0,677	-0,595/0,676
2. Сумма активных температур, °	-0,022/0,095	-0,669/0,672	-0,528/0,662
3. Осадки, мм	0,573/0,632	0,680/0,955	0,668/0,760
4. ГТК	0,146/0,165	0,728/0,920	0,700/0,771
5. КУ	0,285/0,368	0,662/0,944	0,613/0,787
6. Испаряемость	-0,039/0,546	-0,818/0,848	-0,681/0,747

Примечание. В числителе – коэффициент корреляции по линейному тренду, в знаменателе – по полиномиальному тренду.

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 сказывалось на развитии растений. С увеличением средней температуры и суммы активных температур за данный период происходило достоверное снижение урожайности ячменя ($r = -0,673$; $-0,669$). Близкие сведения приводят и другие исследователи [23].

Между урожайностью ячменя и количеством осадков как в начале вегетации культуры, так и в середине наблюдается средняя положительная связь при использовании линейного тренда ($r=0,573$; $0,680$). На основе полиномиального тренда ($r=0,955$) рассчитано оптимальное количество осадков для получения максимальной урожайности ячменя по используемым в хозяйствах Завьяловского района технологиям преимущественно экстенсивного типа [24]. Уровень минерального питания ячменя за счет плодородия почв и применяемых удобрений обеспечивает урожайность ячменя около 15 ц/га. По приведенному на рисунке графику оптимальное количество осадков за период с 11 июня по 20 июля соответствует 95 мм (рис.). Установлена тесная корреляционная связь урожайности ячменя с гидротермическим коэффициентом, коэффициентом увлажнения и испаряемостью. На основе полиномиального тренда установлено, что оптимальная величина ГТК с 11 июня по 20 июля должна составлять 1,3, а КУ – 1,0.

Таким образом, неустойчивое увлажнение является основным лимитирующим урожайность ячменя фактором. Недостаток влаги для ячменя в условиях Удмуртии проявляется уже в мае.

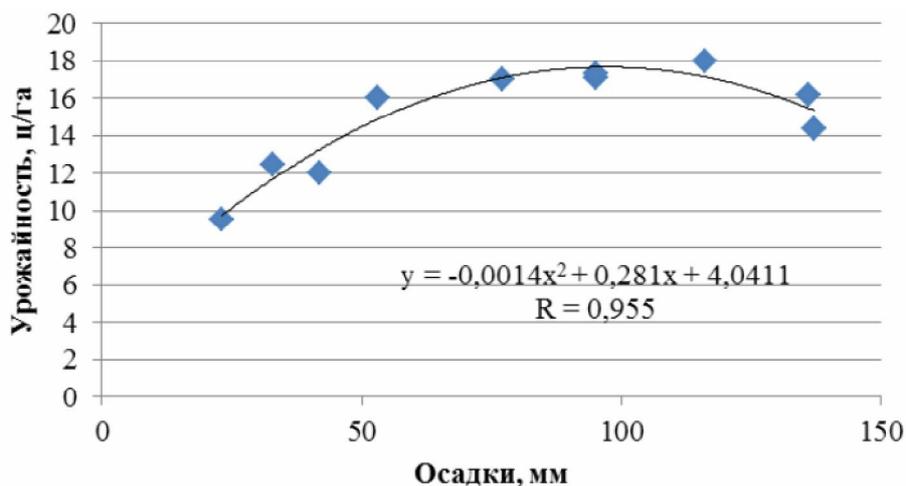


Рис. Уравнение регрессии связи урожайности ячменя с осадками за период с 11 июня по 20 июля (2006–2015 гг.)

Опасные природные явления. Таким образом, неустойчивое увлажнение является основным лимитирующим фактором и является источником варибельности урожайности ячменя. Недостаток влаги проявляется уже в ранние фазы развития яровых культур. Соответственно, можно предположить, что государственной службой гидрометеорологии часто регистрируются опасные для сельскохозяйственного производства метеорологические явления. Так, в системе страхования с государственной поддержкой опасными природными явлениями, от воздействия которых осуществляется страхование урожая сельскохозяйственных культур, являются: засуха, заморозки, вымерзание, выпревание, градобитие, пыльные (песчаные) бури, землетрясение, лавина, сель, половодье, переувлажнение почвы [17]. В 2006–2015 гг. за теплый период было зарегистрировано лишь одно региональное опасное агрометеорологическое явление, относящееся к страховому случаю – атмосферная засуха с 12.07.2010 г. по 18.08.2010 г. Однако существуют и другие опасные природные явления, которые значительно влияют на рост и развитие растений, условия уборки, но не относятся к страховым [17]. Например, в 2014 г. «раннее появление снежного покрова» не позволило полностью убрать поздние овощные культуры, тресту льна-долгунца; в июле 2015 г. зарегистрировано «частые дожди в период уборки». Кроме того, могут проявиться несколько повторяющихся опасных метеорологических явления с небольшими промежутками. Так, в августе 2015 г. выпало 127 мм осадков при климатической норме 52 мм в условиях высокой относительной влажности воздуха. Однако при этом официально не регистрировалось метеоявление, относящееся к опасным по РД 52.88.699-2008.

Заключение

На основании проведенных исследований можно сделать заключение, что фактические агроклиматические условия Удмуртской Республики в теплый период года существенно изменились в сравнении с климатической нормой по теплообеспеченности, количеству и режиму осадков. Урожайность сельскохозяйственных культур (на примере ячменя) характеризуется сильной вариабельностью по годам ($V = 23,0\%$). Неустойчивое увлажнение является основным лимитирующим урожайность ячменя фактором. Недостаток влаги для ячменя в условиях Удмуртии проявляется уже в мае ($r = 0,632$), наиболее сильно влияют на продуктивность культуры осадки в июне – июле ($r = 0,920$). Оптимальное количество осадков для ячменя за период с 11 июня по 20 июля составляет 95 мм (при климатической норме 76 мм). В изменившихся климатических условиях в земледелии Удмуртии необходимо использовать влагосберегающие технологии, и в первую очередь в весенний период: увеличение в структуре посевных площадей озимых и многолетних культур, применение мульчирующих способов обработки почвы, планирование сроков посева и другие известные агроприемы. Следует провести научные изыскания в области стабилизации производства растениеводческой продукции в условиях нестабильности агроклиматических факторов по годам.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Сафонов Г.В., Сафонова Ю.А. Экономический анализ влияния изменения климата на сельское хозяйство России: национальные и региональные аспекты (на примере производства зерновых культур): отчет. М., 2013. 48 с.
2. Акмаров П.Б., Князева О.П., Рысин И.И. Агроклиматический потенциал эффективности земледелия (на примере зерновых культур Удмуртии) // Вестн. Удм. ун-та. Сер. Биология. Науки о Земле. 2014. № 2. С. 89-95.
3. Переведенцев Ю.П., Соколов В.В., Наумов Э.П. Климат и окружающая среда Приволжского федерального округа. Казань: Изд-во Казан. ун-та, 2013. 274 с.
4. Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change / T.F. Stocker, D. Qin, G.-K. Plattner, et al. (eds.). Cambridge: Cambridge University Press, 2013. 2535 p.
5. Черенкова Е.А., Бардин Ю.М., Золотокрылин А.Н. Статистика осадков и засух в противоположные фазы квазидвухлетней цикличности атмосферных процессов и ее связь с урожайностью на европейской территории России // Климатология и гидрография. 2015. № 3. С. 23-35.
6. Мохов И.И., Семенов В.А. Погодно-климатические аномалии в российских регионах и их связь с глобальными изменениями климата // Климатология и гидрография. 2016. № 2. С. 16-28.
7. Агроклиматические ресурсы Удмуртской АССР. Л.: Гидрометеиздат, 1974. 119 с.
8. Владыкина Н.И. Изменение климата южной части Удмуртии // Проблемы и пути развития сельскохозяйственной науки Севера XXI века. К 100-летию сельскохозяйственной науки в Республике Коми: Сб. науч. тр. Сыктывкар, 2011. 359 с.
9. Дмитриев А.В., Леднев А.В. Закономерности изменения агроклиматических показателей за период с 1959 по 2008 год на территории Удмуртской Республики и их влияние на урожайность основных сельскохозяйственных культур. Ижевск: ФГБОУ ВПО «Ижевская ГСХА», 2015. 164 с.
10. Боткин О.И., Сутыгин П.Ф., Гоголев И.М., Сутыгина А.И. Экономическая эффективность использования удобрений в аграрном производстве. Екатеринбург; Ижевск: Ин-т экономики Урал. отд. РАН, 2008. 129 с.
11. Холзаков В.М. Повышение продуктивности дерново-подзолистых почв в Нечерноземной зоне: монография. Ижевск: ФГОУ ВПО «Ижевская ГСХА», 2006. 436 с.
12. Башков А.С. Повышение эффективности удобрений на дерново-подзолистых почвах Среднего Предуралья. Ижевск: ФГБОУ ВПО «Ижевская ГСХА», 2015. 328 с.
13. Фатыхов И.Ш., Исламов Ч.М., Рябова Т.Н. Реакция овса конкур на абиотические условия в Среднем Предуралье // Вестн. Ульяновской гос. сельхоз. акад. 2012. № 3. С. 47-52.
14. Геоинформационная система «Метеоизмерения онлайн». Режим доступа: <http://thermo.karelia.ru> (дата обращения: 15.01.16)
15. Архив погоды городов Российской Федерации. Режим доступа: http://tr5.ru/Архив_погоды_в_Ижевске (дата обращения: 15.01.16)
16. Методические указания по проведению комплексного мониторинга плодородия почв земель сельскохозяйственного назначения. М.: ФГНУ «Росинформагротех», 2003. 240 с.
17. Страхование урожая сельскохозяйственных культур с государственной поддержкой: прак. пособие М.: ФГУ «ФАГПССАП» Минсельхоза России, 2011. 130 с.
18. Кафтанатий Ю.А. Процессы испарения с малых водоемов Ростовской области // Науч. журн. Российского НИИ проблем мелиорации. 2013. № 1(09). С. 80-91.

19. Шейн Е.В., Гончаров В.М. Агрофизика. Ростов н/Д: Феникс, 2006. 400 с.
20. Юскин А.А., Макаров В.И., Максимов П.Л. Актуальность и проблемы исследования агрофизических свойств почв в современных системах земледелия // Наука, инновации и образование в современном АПК: Материалы Всерос. научн.-практ. конф. Ижевск: ФГБОУ ВПО «Ижевская ГСХА», 2014. С. 43-47.
21. Леднев А.В., Юскин А.А. Влияние глубины заделки соломы на разных фонах азотных удобрений на содержание продуктивной влаги в почве // Проблемы агрохимии, агрофизики и фитофизиологии. СПб.: Изд-во СПб. ун-та, 1999. С. 138-139.
22. Ковриго В.П., Леднев А.В. Мульчирующая обработка почвы // Земледелие. 2001. № 5. С. 43-44.
23. Фатыхов И.Ш., Корепанова Е.В., Первушин В.Ф., Огнев В.Н. Основные условия обеспечения эффективности минеральных удобрений в Среднем Предуралье // Достижения науки и техники АПК. 2014. № 8. С. 10-13.
24. Макаров В.И., Сутыгин П.Ф. Эффективность удобрений в земледелии Удмуртской Республики // Плодородие. 2014. № 3. С. 23-24.

Поступила в редакцию 17.06.16

V.I. Makarov

AGROCLIMATIC RESOURCES OF THE UDMURT REPUBLIC AND THEIR CONNECTION WITH CEREAL GRAINS YIELD (EVIDENCE FROM IZHEVSK HYDROMETEOSTATION)

Comparative analysis of agrometeorological conditions of warm period in the Udmurt Republic during 1976-1985 and 2006-2015 years was carried out. The duration of frost-free period increased by 8 days. The sum of active temperatures for the period from the 1st of May to the 20th of September increased from 1975° to 2187°, and the amount of precipitation falling during warm period decreased from 365 to 355 mm. Significant decrease of precipitation was in May and June. The actual value of hydrothermal coefficient in 1976–1985 was on average 1,38 and ranged from 0,64 to 1,89 in separate vegetation periods. In 2006-2015, hydrothermic coefficient decreased to 1,14, which corresponds to the climate norm ($V=28$ %). These years more favourable conditions for harvesting grain crops and potato and sowing of winter crops were established. Hydrothermic coefficient was on average 1,49 in August-September. For the same period 1976-1985, this indicator was equal to 1,94 with a variation from 0,68 to 4,82 ($V=63$ %). In 2006–2015, the yield of barley was characterized by strong variability on an annual basis ($V=23,0$ %). Unstable moisturization is the main factor limiting the yield of barley. The lack of moisture for barley in the conditions of the Udmurt Republic appears already in May ($r=0,632$), but precipitation in June – July ($r=0,920$) influences the crop yield more. Optimum quantity of precipitation for barley for the period from the 11th of June to the 20th of July is 95 mm (climate norm is 76 mm). In the changed climatic conditions in the agriculture of the Udmurt Republic it is necessary to use moisture saving technologies, primarily in spring period: the increase in the cropping pattern of winter crops and perennial crops, the use of mulching methods of tillage, planning the timing of planting and other well-known agricultural practices. Scientific research in the field of stabilization of crop production in conditions of variability in agro-climatic factors by years should be conducted.

Keywords: agroclimatic conditions; temperature; precipitation; the sum of active temperatures; hydrothermal coefficient; dangerous meteorological phenomena; barley; correlation; the Udmurt Republic.

REFERENCE

1. Safonov G.V. and Safonova Ju.A. *Ekonomicheskij analiz vlijanija izmenenija klimata na sel'skoe hozjajstvo Rossii: nacional'nye i regional'nye aspekty (na primere proizvodstva zernovyh kul'tur): otchet* [The economic analysis of the impact of climate change on agriculture in Russia: national and regional aspects (for example, cereal crops): report], M., 2013, 48 p. (in Russ.).
2. Akmarov P.B., Knjazeva O.P. and Rysin I.I. [Agroclimatic potential farming efficiency (for example, cereals Udmurtia)], in *Vestn. Udm. univ.*, 2014, no. 2, pp. 89-95 (in Russ.).
3. Perevedencev Ju.P., Sokolov V.V. and Naumov E.P. *Klimat i okruzhajuschaja sreda Privolzhskogo federal'nogo okruga* [The climate and environment of the Volga Federal District], Kazanj: Izd-vo Kazan. un-ta, 2013, 274 p. (in Russ.).
4. Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change / T.F. Stocker, D. Qin, G.-K. Plattner and et al. (eds.). Cambridge: Cambridge University Press, 2013, 2535 p.
5. Cherenkova E.A., Bardin Ju.M. and Zolotokrylin A.N. [Statistics rainfall and droughts in the opposite phase of the quasi-biennial cycling of atmospheric processes and its relationship with productivity in the European territoria Russia], in *Klimatologija i gidrografija*, no. 3, 2015, pp. 23-35 (in Russ.).
6. Mohov I.I. and Semenov V.A. [Climatic anomalies in the Russian regions and their relation to global climate change-governmental], in *Klimatologija i gidrografija*, no. 2, 2016, pp. 16-28 (in Russ.).
7. *Agroklimaticheskie resursy Udmurtskoj ASSR* [Agro-climatic resources of the Udmurt Autonomous Soviet Socialist Republic], L.: Gidrometeoizdat, 1974, 119 p. (in Russ.).

8. Vladykina N.I. [Climate change southern Udmurtia], in *Sb. nauch. tr. "Problemy i puti razvitija sel'skhozjajstvennoj nauki Severa XXI veka. K 100-letiju sel'skhozjajstvennoj nauki v Respublike Komi"*, Syktyvkar, 2011, 359 p. (in Russ.).
9. Dmitriev A.V. and Lednev A.V. *Zakonomernosti izmenenija agroklimaticeskikh pokazatelej za period s 1959 po 2008 god na territorii Udmurtskoj Respubliki i ih vlijanie na urozhajnostj osnovnyh sel'skhozjajstvennyh kul'tur* [Laws of change of agro-climatic indices for the period from 1959 to 2008 on the territory of the Udmurt Republic and their impact on the productivity of the basic Farmhouse-governmental cultures], Izhevsk: FGBOU VPO Izhevskaja GSXA, 2015, 164 p. (in Russ.).
10. Botkin O.I., Sutygin P.F., Gogolev I.M. and Sutygina A.I. *Ekonomicheskaja effektivnostj ispol'zovanija udobrenij v agrarnom proizvodstve: monografija* [Economic efficiency of use of fertilizers in agricultural production], Ekaterinburg – Izhevsk: 2008, 129 p. (in Russ.).
11. Holzakov V.M. *Povyshenie produktivnosti dervno-podzolistyh pochv v Nechernozemnoj zone: monografija* [Increased productivity of sod-podzolic soils in the non-chernozem zone: monograph], Izhevsk: FGOU VPO Izhevskaja GSXA, 2006, 436 p. (in Russ.).
12. Bashkov A.S. *Povyshenie effektivnosti udobrenij na dervno-podzolistyh pochvah Srednego Predural'ja* [Improving the efficiency of fertilizers on sod-podzolic soils of the Middle Urals: monograph], Izhevsk: FGBOU VPO Izhevskaja GSXA, 2015, 328 p. (in Russ.).
13. Fatyhov I.Sh., Islamov Ch.M. and Rjabova T.N. [Reaction oats jumping on abiotic conditions in the Middle Pre-rale], in *Vestn. Ul'janovskoj gos. sel'skhozjajstvennoj akademii*, 2012, no. 3, pp. 47-52 (in Russ.).
14. [Geographic Information System "Meteo online measurement"], Available at: <http://thermo.karelia.ru> (accessed 15.01.16) (in Russ.).
15. [Weather archive Russian cities], Available at: http://rp5.ru/Arhiv_pogody_v_Izhevsk (accessed 15.01.16) (in Russ.).
16. *Metodicheskie ukazaniya po provedeniju kompleksnogo monitoringa plodorodija pochv zemelj sel'skhozjajstvennogo naznacheniya* [Guidelines for the integrated monitoring of soil fertility of land for Agricultural purposes], M.: FGOU "Rosinformagroteh", 2003, 240 p. (in Russ.).
17. *Strahovanie urozhaja sel'skhozjajstvennyh kul'tur s gosudarstvennoj podderzhkoj: prakticheskoe posobie* [The crop insurance with state support: a practical guide], M.: FGOU "FAGPSSAP" Minsel'hoza Rossii, 2011, 130 p. (in Russ.).
18. Kaftanatiy Ju.A. [Evaporation processes with small reservoirs of the Rostov region of the Russian magazine], in *Nauchnyj zhurnal Rossijskogo NII problem melioracii*, no. 1(09), 2013, pp.80-91 (in Russ.).
19. Shein E.V. and Goncharov V.M. *Agrofizika* [Agrophysics], Rostov n/D: Feniks, 2006, 400 p. (in Russ.).
20. Juskin A.A., Makarov V.I. and Maksimov P.L. [The urgency of the problem and the study of agro properties of soils in modern cropping systems], in *Materialy Vserossijskoj nauchn. - prakt. konf. «Nauka, innovacii i obrazovanie v sovremennom APK»*, Izhevsk: FGBOU VPO Izhevskaja GSXA, 2014, pp. 43-47 (in Russ.).
21. Lednev A.V. and Juskin A.A. [Effect of depth of straw incorporation to different backgrounds nitrogen fertilizers con-content of productive moisture in soil], in *Problemy agrohimii, agrofiziki i fitofiziologii*, SPb.: Sankt-Peterburgskij univ., 1999, pp. 138-139 (in Russ.).
22. Kovrigo V.P. and Lednev A.V. [Mulch tillage], in *Zemledelie*, 2001, no. 5, pp. 43-44. (in Russ.).
23. Fatyhov I.Sh., Korepanova E.V., Pervushin V.F. and Ognev V.N. [The basic conditions for ensuring effective-sti fertilizer in the Middle Urals], in *Dostizheniya nauki i tehniki APK*, 2014, no. 8, pp. 10-13 (in Russ.).
24. Makarov V.I. and Sutygin P.F. [Efficiency of fertilizers in agriculture Udmurt Republic], in *Plodorodie*, 2014, no. 3, pp. 23-24 (in Russ.).

Макаров Вячеслав Иванович,
кандидат сельскохозяйственных наук, доцент,
профессор кафедры агрохимии и почвоведения
ФГБОУ ВО «Ижевская государственная
сельскохозяйственная академия»
426069, Россия, г. Ижевск, ул. Студенческая, 11
E-mail: makaroffVI@yandex.ru

Makarov V.I.,
Candidate of Agriculture, Associate Professor
Izhevsk State Agricultural Academy
Studencheskaya st., 11, Izhevsk, Russia, 426069
E-mail: makaroffVI@yandex.ru