

*Е.Г. Пивоварова, А.О. Люцигер, Е.В. Райхерт, Т.А. Кузнецова*

**Влияние климатических изменений  
на урожайность картофеля и моркови  
в условиях Алтайского Приобья\***

*E.G. Pivovarova, A.O. Luciger, E.V. Raichert, T.A. Kuznetsova*

**Influence of Climatic Changes on Productivity  
of Potato and Carrots in the Conditions of the Altai Priobja**

Определены тенденции изменения суммы средне-суточных температур и осадков по месяцам вегетационного периода за 1961–2010 гг., подтверждающие усиление аридности климата. Выявлены оптимальные параметры суммы температур и осадков для получения максимально возможной урожайности картофеля и моркови, а также тенденции их изменения в современных условиях.

**Ключевые слова:** изменение климата, среднемесячные температуры, урожайность, картофель, морковь.

The changing trends in the average daily total of temperature and precipitation are determined for the months of growing seasons of 1961–2010; the revealed trends confirm the aridity intensification of the climate. The optimal parameters of the temperature and precipitation totals for achieving uppermost potential potato and carrot yields and their change trends in current conditions are revealed.

**Key words:** climate change, average monthly temperatures, yielding capacity, potato, carrot.

Погода и климат оказывают существенное влияние на продуктивность сельскохозяйственных культур в засушливых условиях, характерных для степной зоны Алтайского края. Однако выделить и оценить степень влияния погодных условий очень трудно, поскольку эффект технологических параметров (обработка почв, мелиорации, средства защиты и т.п.), используемых в сельском хозяйстве, с каждым годом возрастает [1]. Целью данного исследования являлась оценка воздействия метеорологических параметров на урожайность овощных культур (картофеля и моркови) и тенденций изменения их продуктивности в условиях меняющегося климата Алтайского Приобья за 1961–2010 гг. В последнее время появился ряд работ, посвященных изучению климатических изменений на территории Западной Сибири и Алтайского края [2–4], зачастую противоречивых, что объясняется использованием различных методов оценки. Ранее нами были определены тенденции изменения среднесуточных годовых, максимальных и минимальных температур, изменения суммарной солнечной радиации в весенний и осенний периоды, математически доказано увеличение продолжительности безморозного периода на 2 декады [4]. Однако для продуктивности сельскохозяйственных культур имеет значение не только и не столько изменение обобщенных годовых показателей, сколько распределение температур и осадков в течение года (вегетационного периода). В работе

Н.Ф. Харламовой впервые дан анализ тенденций изменения температуры воздуха и осадков внутри сезонов года [5]. Приведенные результаты подтверждают региональную тенденцию изменений климата в форме глобального потепления с замедлением скорости роста температуры за счет повышения суровости зим. Поскольку биологические особенности культур предъявляют различные требования к теплу и влаге в течение вегетации, нам показалось интересным проанализировать изменение среднемесячных температур и сумм осадков по месяцам за последние 50 лет и оценить их влияние на продуктивность таких распространенных овощных культур, как картофель и морковь.

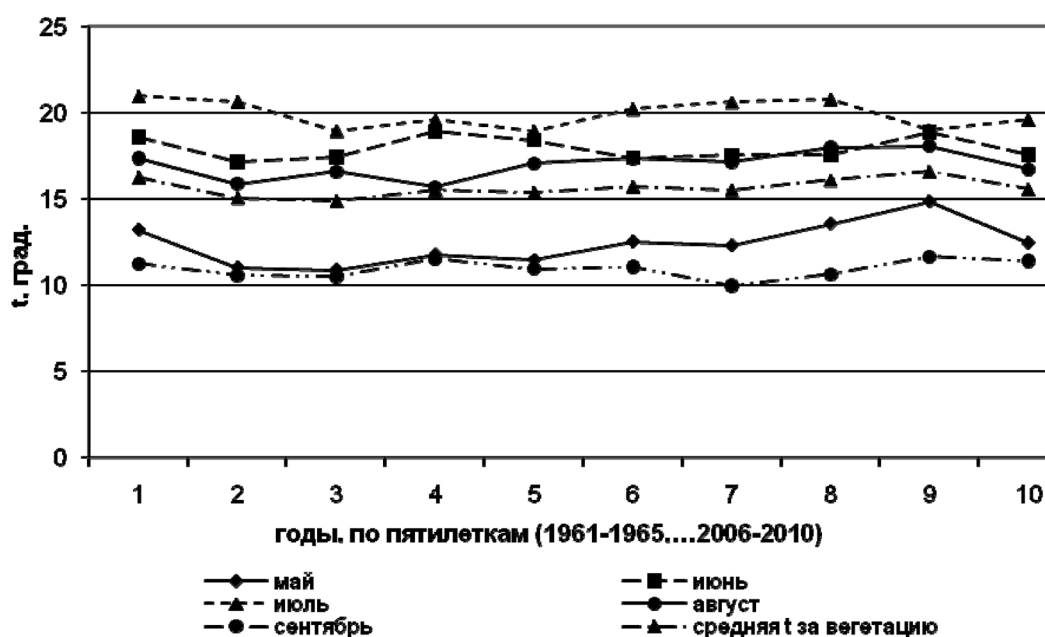
В работе использованы материалы многолетних наблюдений (1961–2010 гг.), проводимых на метеорологических площадках в Барнауле и предоставленных Алтайским краевым центром по метеорологии и мониторингу окружающей среды. Современные тенденции в рамках долговременного цикла климатических изменений оценивались с помощью статистических методов. Результаты многолетних полевых опытов с удобрениями в овощном севообороте представлены НИИ Западно-Сибирской овощной станции РАСХН за указанный период. В силу того, что распределение метеорологических и урожайных данных часто не подчиняется закону нормального распределения, статистические параметры дают искаженное представление

\* Работа выполнена при поддержке грантов РФФИ №10-04-92506-ИК\_а и CRDF № RUB1-2988-BR-10.

о тенденциях изменения климата и урожайности во времени. Использование информационного метода [6], основанного на параметрах вероятности и неопределенности (энтропии по С.Е. Shannon [7]), не требует соответствия эмпирических распределений какому-либо статистическому закону, позволяет вычленять действие отдельных факторов и давать оценку каждого в отдельности. Степень связи между фактором и явлением оценивается с помощью коэффициента передачи информации ( $K_{эфф}$ ), а наиболее вероятные состояния функции при определенном состоянии факторов по отношению условных вероятностей ( $c$ ).

Оценка эффективности сельскохозяйственно-го производства в зоне рискованного земледелия

(к которым относится территория Алтайского края) производится с учетом погодных условий текущего вегетационного периода и средних многолетних климатических показателей. Однако данные, вошедшие в климатический справочник [8], получены до 1961 г. и до сих пор не обновлялись. Тем не менее у климатологов принято говорить об изменениях климата в том случае, если таковые установлены за более чем 30 лет. В рамках данного исследования обобщены среднемесячные значения температуры воздуха с мая по сентябрь с осреднением по 5 лет (рис.). Начиная с 1961–1970 гг. отмечаются тенденции увеличения среднесуточных температур только в мае и в целом за вегетационный период.



Динамика среднесуточных температур по месяцам вегетационного периода (средние за 1961–2010 гг.)

Однако, если усреднить среднесуточные температуры за 50-летний период и суммировать по месяцам, то полученные закономерности становятся более явными (табл. 1). Наибольший прирост суммы температур отмечается в мае (+52,70) и июне (+40,20) соответственно, минимальный – в сентябре (+13,80), в целом же за вегетационный период потепление составило более 160°.

По осадкам аналогичные показатели изменились незначительно, в среднем на 2–5 мм за месяц, а в целом за вегетацию сумма осадков уменьшилась лишь на 10,8 мм. Таким образом, полученные результаты позволяют сделать вывод об усилении аридности климата Алтайского Приобья за последние 50 лет. Для того, чтобы оценить, как данные изменения отразятся на продуктивности овощных культур, были выбраны одни из наиболее распространенных – картофель и морковь.

Биологические особенности данных культур определяют и их требования к гидротермическим условиям вегетационного периода (табл. 2). Так, на продуктивность картофеля наиболее сильное влияние оказывают температуры мая и августа ( $K_{эфф} = 0,3187$  и  $0,2846$  соответственно), а также осадки июня и августа. Известно, что картофель испытывает потребность в тепле при прорастании. Клубни начинают прорастать при 4–5 °С, но прорастание идет медленно, и лишь в прогретой до 10 °С почве начинается дружный интенсивный рост [9]. В период формирования и роста клубней большое значение имеют июльские и августовские осадки [10].

Для увеличения продуктивности моркови наиболее важен температурный режим в период роста корнеплодов – июль ( $K_{эфф} = 0,3499$ ), а режим влажности в период всходов – май-июнь ( $K_{эфф} = 0,1807–0,1802$ ).

Таблица 1

Тенденции изменения среднесуточных и суммы температур по месяцам вегетационного периода

Климатические параметры	Месяц					май-сентябрь
	май	июнь	июль	август	сентябрь	
Среднесуточная температура, °С						
Средние до 1961 г.	10,7	16,6	18,9	16,3	10,5	14,6
Средние за 1961–2010 гг.	12,40	17,94	19,93	16,98	10,96	15,65
Сумма температур, °С						
Средние до 1961 г.	331,7	498,0	585,9	505,3	315,0	2233,8
Средние за 1961–2010 гг.	384,4	538,2	617,8	526,4	328,8	2394,5
Прирост, °С	+52,7	+40,2	+31,8	+21,1	+13,8	+160,7
Осадки, мм						
Средние до 1961 г.	37	49	67	52	37	242
Средние за 1961–2010 гг.	38,8	51,4	61,3	49,1	30,6	231,2

Таблица 2

Влияние гидротермических параметров на урожайность овощных культур (по коэффициентам эффективности передачи информации)

Культура	Месяц					За вегетационный период
	май	июнь	июль	август	сентябрь	
Суммы температур, °С						
Картофель	0,3187	0,2497	0,2434	0,2846	0,2443	0,1939
Морковь	0,2147	0,1980	0,3499	0,1665	0,2472	0,1278
Осадки, мм						
Картофель	0,1593	0,3031	0,2338	0,3100	0,1063	0,2458
Морковь	0,1807	0,1802	0,1682	0,1039	0,1696	0,1724

Специфические состояния урожайности картофеля и моркови (табл. 3) на различных этапах вегетационного периода позволили нам выявить оптимальные суммы температур и осадков, позволяющих получить максимально возможную урожайность картофеля и моркови в соответствии с их биоклиматическим потенциалом. Оптимальная сумма температур для картофеля в мае составляет 350–375°. Известно, что корни у картофеля образуются при температуре не ниже 7 °С. Всходы картофеля не выдерживают даже небольших весенних заморозков (1–2 °С). Оптимальная температура августа для роста и развития клубней картофеля составляет в сумме 450–500°. Самая благоприятная температура почвы в период образования клубней – около 17 °С. Высокие температуры в это время подавляют процесс формирования клубней, приводят к их измельчению и вырождению [8]. Температурный оптимум для картофеля за весь вегетационный период составляет 2200–2400°. Оптимальное количество осадков в наиболее критические периоды составляет 40–80 (июнь) и 40–60 (август). Сопоставление их с тенденциями изменения климатических показателей за период с 1961 по 2010 г. (см. табл. 1) позволяет сделать следующие выводы. Недостаток осадков в июне и превышения суммы температур в мае и августе создают

объективные предпосылки к снижению урожайности картофеля в современных условиях, а при сохранении тенденций изменения климата может существенно повлиять на эффективность производства картофеля в исследуемом регионе.

Для формирования высоких урожаев моркови в современных условиях лимитирующим фактором может оказаться недостаток осадков в мае-июне и избыток тепла в июне. Известно, что всходы моркови могут выдерживать весенние заморозки до 3–4 °С. При благоприятных температурах они появляются на 10–15-е сутки после посева, а в холодную и засушливую погоду – только на 25–30-е сутки. Оптимальная температура для роста и развития растений – 15–25 °С. Морковь плохо переносит перегревы, особенно когда почва подсушена [11]. В период роста корнеплодов (июль-август) возможны 2 оптимума (см. табл. 3). Это объясняется контрастностью климата исследуемого региона – при недостатке осадков возможны высокие урожаи, если сумма температур не превышает 500–550 °С в июле и 475–500 °С в августе, если же в этот период достаточное количество осадков, то урожайность сохраняется на высоком уровне даже при суммарном уровне температур 650–700 °С в июле и 550–600 °С в августе.

Таблица 3

Оптимальные гидротермические параметры для формирования урожайности овощных культур (по специфичным состояниям)

Культура	Месяц					
	май	июнь	июль	август	сентябрь	За вегетационный период
	Суммы температур, °С					
Картофель	350–375	550–650	500–550 625–650	450–500	-	2200–2400
Морковь	400–450	600–650	500–550 650–700	475–500 550–600	350–375	2200–2300
	Осадки, мм					
Картофель	40–60	60–80	40–100	40–60	–	225–250
Морковь	40–80	60–80	60–80	60–80	40–60	300–325

Пути регулирования продуктивности сельскохозяйственных культур известны (агротехника, удобрения, мелиорация и т.п.), однако по сравнению с климатическими факторами их воздействие значительно слабее (табл. 4). Так, влияние удобрений на урожайность картофеля ( $K_{эфф} = 0,0436$ ) и моркови ( $K_{эфф} = 0,0350$ ) на порядок ниже, чем влияние температуры и осадков. Максимальная урожайность картофеля (5–6 ранги урожайности) наблюдается на вариантах с органической

и органоминеральной системой удобрения, причем отмечается значительное последствие высоких доз удобрений (вариант 8). Урожайность моркови на всех вариантах удобрений близка к оптимальной (4–5 ранги), лишь на контроле (без удобрений) отмечается значительное снижение (менее 30 т/га, 1 ранг урожайности). Эффект последствия удобрений на урожайность моркови существенно ниже по сравнению с его воздействием на урожайность картофеля.

Таблица 4

Влияние вариантов удобрения на урожайность картофеля и моркови (по специфичным состояниям)

№	Варианты удобрений	Специфичные состояния урожайности картофеля		Специфичные состояния урожайности моркови	
		т/га	ранг	т/га	ранг
1	без удобрений	15–20	2	< 30	1
2	$N_{30}P_{60}K_{60}$	20–30	3-4	50-60	4
3	$N_{30}K_{60}$	25–35	4-5	> 60	5
4	$P_{60}K_{60}$	15–20	2	> 60	5
5	$N_{45}P_{90}K_{90}$	25-30	4	50–60	4
6	компост 40 т/га	> 35	6	> 60	5
7	компост 40 т/га + $N_{30}P_{60}K_{60}$	30–35	5	> 60	5
8	последствие удобрений	30–35	5	30–40	2
9	$N_{30}P_{60}$	30–35	5	30–50	2-3
	$K_{эфф}$	0,0436		0,0350	

Таким образом, сохранение современных тенденций изменения климата может существенно повлиять на технологические процессы сельскохозяйственного производства. Наиболее эффективными приемами сохранения высокого уровня урожайности

овощных культур могут стать изменение сроков посева (посадки), разработка новых сортов, мелиоративных приемов по регулированию водного режима культур, научно обоснованных систем удобрения и т.п.

### Библиографический список

1. Andresen J.A., Gopal A., Rotz C. A., Ritchie J.T., and LeBaron A. W. Weather Impacts on Maize, Soybean, and Alfalfa Production in the Great Lakes Region, 1895–1996. *Agronomy Journal*, vol. 93, september–october 2001.
2. Kharlamova N.F., Revyakin V.S. Regional climate and environmental change in Central Asia // *Environmental security and sustainable land use* / ed. Hartmut Vogtmann, Nikolai Dobretsov / Springer. The NATO programme for security through science. – The Netherlands, 2006.
3. Кирста Ю.Б., Ловицкая О.В. Прогноз климатических изменений в зернопроизводящих зонах Сибири и России // *Мир науки, культуры, образования*. – 2009. – №7 (19).
4. Бурлакова Л.М., Люцигер А.О., Пивоварова Е.Г. Долговременные и современные тенденции изменения параметров климата высокогорного Алтайского Приобья // *Вестник Алтайского государственного аграрного университета*. – 2011. – №5.
5. Харламова Н.Ф. Долговременные климатические изменения на внутриконтинентальной территории России (Алтайский регион) // *Известия Алтайского государственного университета*. Серия: Биологические науки. Науки о земле. Химия. – 2010. – №3/1.
6. Пузаченко Ю.Г., Мошкин А.В. Информационно-логический анализ в медико-географических исследованиях // *Итоги науки*. Серия: Медицинская география. – М., 1969. – Вып. 3.
7. Shannon C.E. A mathematical theory of communication I. *Bell Syst. Tech. J.* 27, 1948.
8. *Справочник по климату СССР*. – Вып. 20. – Л., 1965.
9. Балашев Н.Н. Выращивание картофеля и овощей в условиях орошения. – М., 1976.
10. Литвинов С.С. Научные основы современного овощеводства. – М., 2008.
11. Гладких В.И., Сирота С.М. Агротехника овощных культур. – Барнаул, 2002.