

# АГРОМЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИЕ УСЛОВИЯ И ПРОГНОЗИРОВАНИЕ УРОЖАЙНОСТИ СЕМЯН ПОДСОЛНЕЧНИКА В ПРИВОЛЖСКОМ ФЕДЕРАЛЬНОМ ОКРУГЕ

*А.И. Страшная<sup>1</sup>, Н.А. Богомолова<sup>1</sup>, В.А. Тищенко<sup>1</sup>,  
К.И. Павлова<sup>1</sup>, Х.Х. Тебеев<sup>2</sup>*

*<sup>1</sup>Гидрометеорологический научно-исследовательский центр  
Российской Федерации*

*<sup>2</sup>Кабардино-Балкарский государственный аграрный университет  
ais@mecom.ru, kbgsha@rambler.ru*

В Российской Федерации подсолнечник является основной масличной культурой, на его долю приходится до 80–85 % производимого в стране высококачественного растительного масла, которое употребляется не только в пищевых целях, но также в лакокрасочной промышленности, в мыловарении, как добавка к моторному топливу. Без растительного масла не обходится медицина, консервная и маргариновая промышленность. При переработке семян на масло в виде побочной продукции получают 35 % шрота, который является ценным концентрированным высокобелковым кормом для сельскохозяйственных животных [4, 7].

По производству подсолнечника Россия занимает одно из лидирующих положений в мире. Основными производителями подсолнечника являются три федеральных округа: Южный, где за последние пять лет (2010–2014 гг.), по данным Росстата, средний валовой сбор семян составил 2,71 млн т, Центральный (2,33 млн т.) и Приволжский (2,61 млн т.). В этих округах производилось до 87–90 % валового сбора подсолнечника в нашей стране. В последние несколько лет площади возделывания этой культуры в большинстве районов расширились в связи с высокой рентабельностью

производства семян подсолнечника и растущим спросом на масличное сырье как в России, так и за рубежом.

Для планирования самообеспечения регионов и формирования рынка масличного сырья весьма важным является заблаговременное прогнозирование урожайности и валовых сборов подсолнечника, особенно в Приволжском федеральном округе, где урожайность этой культуры существенно ниже, чем в Южном и Центральном федеральных округах где почвенно-климатические условия для его возделывания более благоприятны. В 60–70-е годы первые агрометеорологические методы прогнозов урожайности семян подсолнечника у нас в стране были предложены Ю.С. Мельником [5], Ю.С. Мельником и Н.Б. Мещаниновой [6], затем Х.Х. Тебуревым [12], хотя попытки изучения связей урожайности подсолнечника с климатическими условиями района его возделывания предпринимались и ранее [8].

Основными факторами, определяющими урожайность подсолнечника, наряду с агротехникой возделывания в этих методах являлись влагообеспеченность посевов и высота растений. Однако в связи с внедрением в последние годы новых сортов и гибридов подсолнечника, а также в связи с изменением агроклиматических ресурсов территорий в условиях наблюдаемых в последние десятилетия глобальных климатических изменений возникла задача разработки новых методов прогнозирования урожайности этой культуры. Особенно актуальна эта задача для территории Приволжского федерального округа, где нередки засухи [10] и урожайность подсолнечника, как и других сельскохозяйственных культур [9, 11], значительно колеблется по годам. Коэффициенты вариации урожайности по субъектам округа ( $v$ ) составляют в основном от 0,26 до 0,41 (сильная изменчивость).

Хотя подсолнечник считается засухоустойчивой культурой, однако получение высоких и устойчивых урожаев возможно лишь при достаточных влагозапасах в почве [2, 3]. В районах недостаточного увлажнения, к которым относится юго-восточная территория Приволжского федерального округа, подсолнечник, благодаря мощной стержневой корневой системе, проникающей на глубину до 1,5–2,0 м, использует практически всю доступную влагу до этой

глубины, являясь, таким образом, плохим предшественником для последующих культур [4, 7].

В Приволжском федеральном округе наибольший валовой сбор семян подсолнечника (в среднем за последние 5 лет 985 тыс. т) был получен в Саратовской области, где самые большие в округе посевные площади подсолнечника (около 1 млн га). В Оренбургской и Самарской областях валовой сбор семян в среднем составил 510–525 тыс. т, а в Ульяновской, Пензенской областях и Республике Башкортостан, соответственно, 144, 187 и 193 тыс. т. В Республике Татарстан, где посевная площадь подсолнечника пока небольшая, валовой сбор семян составил 52 тыс. т. По большинству субъектов округа, где подсолнечник возделывается для получения семян, средняя за 2000–2014 гг. урожайность составила от 8,8 ц/га в Оренбургской области до 12,9 ц/га в Пензенской.

К сожалению, в постперестроечные годы количество гидрометстанций, ведущих параллельные агрометеорологические наблюдения за ростом, развитием подсолнечника и запасами продуктивной влаги в почве на территории Приволжского федерального округа, как и во многих других районах, уменьшилось, что затрудняет анализ и оценку условий вегетации культуры подсолнечника и создает определенные трудности при разработке методов прогнозов урожайности по субъектам округа. Так, например, трудно получить устойчивые средние по субъекту величины высоты растений и запасов влаги в почве, и в связи с этим более надежными являются оценки по условиям термического режима, количеству осадков и различными коэффициентами увлажнения.

При разработке метода прогноза урожайности подсолнечника на первом этапе в работе исследовалось влияние агрометеорологических условий и роста культуры земледелия на среднюю по субъектам урожайность семян подсолнечника за период с 1996 по 2014 г. Для субъектов Приволжского федерального округа и округа в целом были рассчитаны и проанализированы тенденции урожайности, обусловленные повышением культуры земледелия, применением интенсивных технологий (тренд) и случайной компоненты урожайности, зависящей от условий погоды. Уравнения тенденций урожайности в виде полиномов первой и второй

степеней и величины изменений урожайности за рассмотренный период представлены в табл. 1.

Таблица 1

**Уравнения тенденций роста урожайности подсолнечника**

Территория	Уравнение	R	Урожайность, ц/га		Прирост урожайн., ц/га, 1996-2014гг.
			1996 г.	2014 г.	
Саратовская область	$Y=0,308x+4,651$	0,81	5,0	10,5	5,5
Оренбургская	$Y=0,004x^2 + 0,190x+4,980$	0,74	5,0	9,7	4,7
Самарская	$Y=0,032x^2 - 0,332x+7,984$	0,83	7,7	13,3	5,6
Ульяновская	$Y=0,042x^2 - 0,525x+7,380$	0,91	6,8	12,6	5,8
Пензенская	$Y=0,053x^2 - 0,444x+5,870$	0,89	5,5	15,0	9,5
Республика Башкортостан	$Y=0,014x^2 - 0,256x+11,072$	0,27	10,8	11,4	0,6
Республика Татарстан	$Y=0,336x+5,228$	0,85	5,6	11,6	6,0
Республика Мордовия	$Y=0,011x^2+0,362x+4,714$	0,81	4,5	15,1	10,6
Приволжский ф.о.	$Y=0,273x + 5,417$	0,78	5,69	10,61	4,92

Примечание: x – порядковый номер года (1996 г. – 1.)

Как видно из таблицы, наибольший прирост урожайности семян подсолнечника за рассмотренный период наблюдался в Пензенской области (9,5 ц/га). Почти не наблюдалось приростов урожайности в Республике Башкортостан (т. е. он составил за период всего 0,6 ц/га), по остальным субъектам прирост урожайности колебался от 4,7 ц/га до 6,0 ц/га. Для выявления периодов, когда рост урожайности за счет повышения культуры земледелия происходил наиболее интенсивно, рассмотрим некоторые показатели, характеризующие динамику временных рядов урожайности в субъектах округа  $\Delta Y_T$  и темп роста тенденции урожайности  $T_p$ . При этом

$$\Delta Y_T = Y_{Ti} - Y_{Ti-k},$$

$$Y_p = \frac{Y_{Ti}}{Y_{Ti-k}} \cdot 100,$$

где  $Y_{Ti}$  – значение урожайности подсолнечника по тренду в  $i$ -й год ( $i = 1, 2, 3 \dots n$ ) ц/га;  $Y_{Ti-k}$  – базисный уровень, отстоящий от  $Y_{Ti}$  на  $k$  лет ( $k = 5$ ), ц/га.

Значения средних характеристик абсолютного прироста урожайности по пятилетиям за 1996–2015 гг., ц/га и темпов роста (%) представлены в табл. 2.

Таблица 2

**Динамика основных характеристик тенденции урожайности подсолнечника в субъектах Приволжского федерального округа**

Территория	1996-2000	2001-2005	2006-2010	2011-2014
Самарская область	$\frac{-0,6}{92}$	$\frac{0,7}{110}$	$\frac{2,1}{126}$	$\frac{2,4}{122}$
Пензенская	$\frac{-0,5}{91}$	$\frac{1,6}{131}$	$\frac{3,7}{150}$	$\frac{1,6}{139}$
Саратовская	$\frac{1,2}{125}$	$\frac{1,2}{119}$	$\frac{1,2}{115}$	$\frac{0,9}{110}$
Оренбургская	$\frac{1,0}{120}$	$\frac{1,0}{116}$	$\frac{1,1}{114}$	$\frac{0,8}{109}$
Республика Татарстан	$\frac{1,3}{123}$	$\frac{1,4}{119}$	$\frac{1,4}{116}$	$\frac{1,0}{109}$
Ульяновская область	$\frac{-1,1}{84}$	$\frac{0,6}{110}$	$\frac{2,3}{134}$	$\frac{2,9}{130}$
Республика Башкортостан	$\frac{-0,6}{94}$	$\frac{-0,2}{98}$	$\frac{0,5}{105}$	$\frac{0,7}{107}$
Республика Мордовия	$\frac{2,4}{152}$	$\frac{2,4}{132}$	$\frac{2,4}{123}$	$\frac{1,8}{113}$

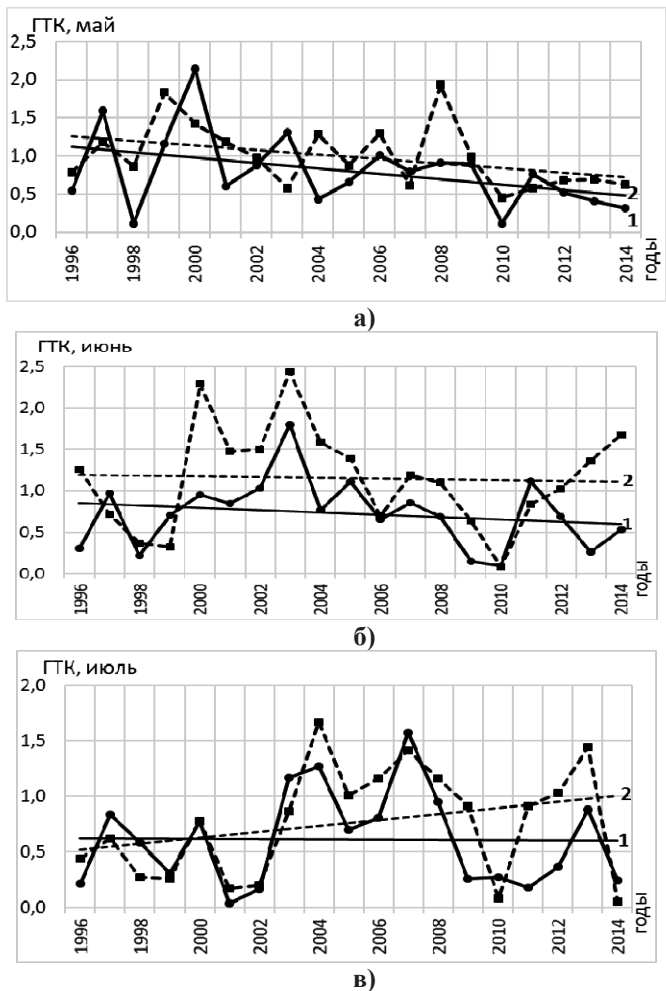
Примечание: цифры над чертой обозначают абсолютный прирост урожайности, ц/га, под чертой – темп роста, %.

Анализ тенденций по пятилетиям показывает, что рост урожайности и темпы прироста  $T_p$  в субъектах округа значительно

различаются. В первом пятилетии в ряде субъектов прироста урожайности практически не наблюдалось, а  $T_p$  составлял всего 84–94 %. Характерным является также некоторое замедление в ряде субъектов наблюдавшихся темпов роста урожайности в последние годы (2011–2014 гг.). Максимальные темпы роста в начале рассматриваемого периода были в Саратовской, Оренбургской областях и в Республиках Татарстан и Мордовия, в Самарской, Пензенской и Ульяновской областях в 2006–2010 гг., а в Республике Башкортостан темпы роста урожайности несколько увеличились лишь в конце периода. На основе данных, приведенных в таблице, можно сделать вывод, что отсутствие четко выраженной синхронности абсолютных приростов урожайности (ц/га) и темпов роста (%) указывает на существенные различия в условиях формирования урожайности подсолнечника в субъектах округа. Это обусловлено, на наш взгляд, не только различным уровнем применяемых технологий возделывания культуры, но и различием складывающихся погодных условий в связи с изменением агроклиматических ресурсов (в основном увлажнения) при наблюдаемых глобальных климатических изменениях. Это можно видеть, анализируя динамику ГТК в Пензенской и Оренбургской областях за период 1996–2014 гг. Так, например, условия увлажнения в Пензенской области, где рост урожайности происходил наиболее интенсивно и прирост урожайности за период составил 9,5 ц/га (табл. 1) условия увлажнения в мае несколько ухудшились, в июне они оставались практически без изменений, однако в июле (в основной, наиболее важный период для формирования урожая – образования соцветий-цветения) условия увлажнения существенно улучшились, о чем свидетельствует увеличение ГТК в июле от 0,51 в начале периода до 1,0 – в конце (рис. 1). В Оренбургской области увлажнение ухудшалось в мае и июне, в июле улучшение влагообеспеченности практически не наблюдалось, и прирост урожайности за 1996–2014 гг. составил всего 4,7 ц/га, т.е. был в два раза меньше, чем в Пензенской области.

В целом можно отметить, что в Пензенской области улучшение увлажнения в основной период вегетации подсолнечника положительно сказалось на приросте урожайности, тогда как в

Оренбургской области, напротив, увлажнение ухудшилось и приросты урожайности были небольшими. Для получения высоких устойчивых урожаев в этом регионе необходимо орошение.



**Рис. 1.** Динамика гидротермического коэффициента (ГТК) по Оренбургской (1) и Пензенской (2) областям в мае (а), июне (б) и июле (в) за период 1996–2014 гг.

На основании анализа построенных нами трендов урожайности подсолнечника по субъектам округа (для примера по Пензенской и Саратовской областям они показаны на рис. 2), также можно отметить, что значительное повышение урожайности наблюдалось в последние годы, когда в хозяйствах на значительных площадях стали высеваться высокоурожайные сорта и гибриды подсолнечника отечественной и зарубежной селекции и увеличились площади возделывания подсолнечника с использованием новых интенсивных технологий [2, 3].

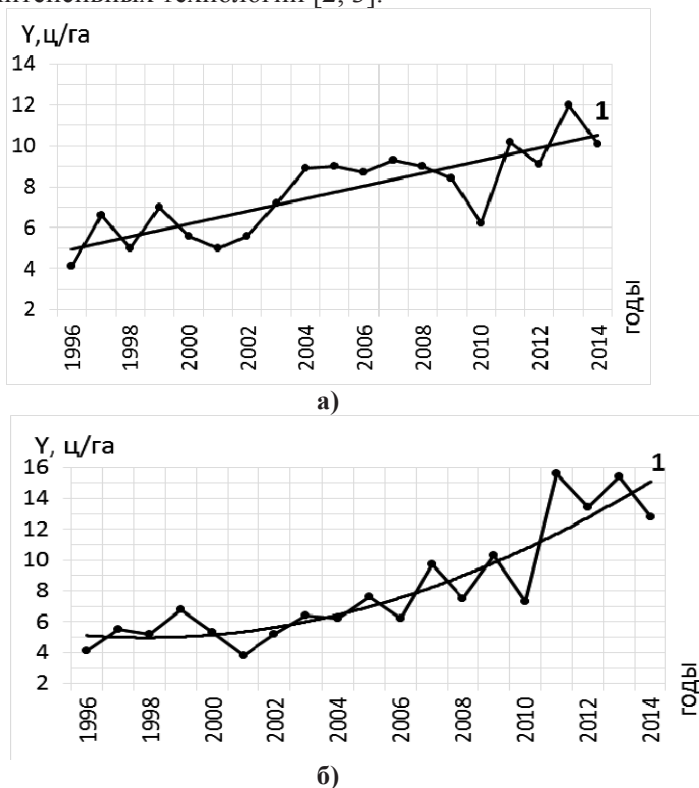


Рис. 2. Динамика урожайности подсолнечника ( $Y$ , ц/га) по Саратовской (а) и Пензенской (б) областям и линии трендов (1) за период 1996–2014 гг.



Средний погодичный прирост урожайности за счет культуры земледелия в рассмотренный период составлял, в основном 0,29–0,32 ц/га.

В то же время на фоне выявленных тенденций роста урожайности подсолнечника за счет улучшения культуры земледелия колебания урожайности за счет погодных условий (величины отклонения от трендов) даже в смежные годы были значительными и составляли до 2–3 ц/га. Они обусловлены в основном часто повторяющимися в южной половине округа засушливыми явлениями и засухами [10, 13]. Так, например, в Саратовской области в засушливом 2012 г., когда в мае гидротермический коэффициент увлажнения (ГТК) составил всего 0,31, что соответствует критерию сильной засухи, а в июне–июле наблюдался дефицит осадков (в среднем по области выпало 85 мм, или 80 % нормы), средняя урожайность подсолнечника составила 9,1 ц/га. В смежном 2013 г., когда в течение большей части вегетационного периода влагообеспеченность была достаточной (ГТК в мае составил около 0,70), а количество осадков за июнь–июль – 117 мм, или 118 % нормы, урожайность составила 12,0 ц/га. В Пензенской области в 2012 г. ГТК в мае составил 0,58, а количество осадков в июне–июле 127 мм, или 98 % нормы, средняя урожайность была 13,4 ц/га. В 2013 г. при ГТК в мае 0,69 и количестве осадков в июне–июле 166 мм (128 % нормы), урожайность подсолнечника составила 15,4 ц/га.

В жестокую засуху 2010 г. различия в урожайности в ряде субъектов составили более 4 ц/га (в Самарской области, например, в 2010 г. средняя урожайность была 7,4 ц/га, а в смежном 2011 г. – 12 ц/га, в Саратовской области, соответственно, 6,2 и 10,2 ц/га, а в Пензенской области 7,3 и 15,6 ц/га). Приведенные примеры убедительно показывают значительную роль погодных условий, особенно условий увлажнения, для формирования урожая подсолнечника в субъектах Приволжского федерального округа.

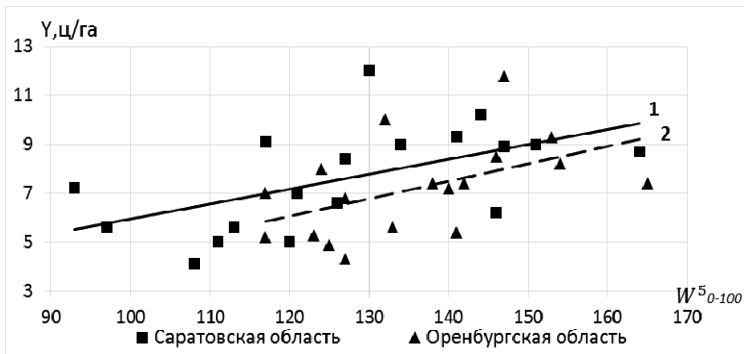
Для оценки влияния условий погоды на случайный компонент урожайности (отклонение урожайности подсолнечника от линии тренда) нами использовался корреляционный и графический анализ. С этой целью по субъектам округа была установлена теснота

связей между урожайностью и осредненными по субъектам значениями агрометеорологических и метеорологических факторов (запасов продуктивной влаги, осадками, температурой воздуха и гидротермическими коэффициентами увлажнения) по месяцам вегетационного периода. В связи с тем, что сев подсолнечника в округе производится в мае (лишь на крайнем юге в конце апреля), а созревание семян происходит в конце августа–начале сентября, теснота связей урожайности с указанными факторами устанавливалась отдельно по месяцам: май, июнь, июль, август.

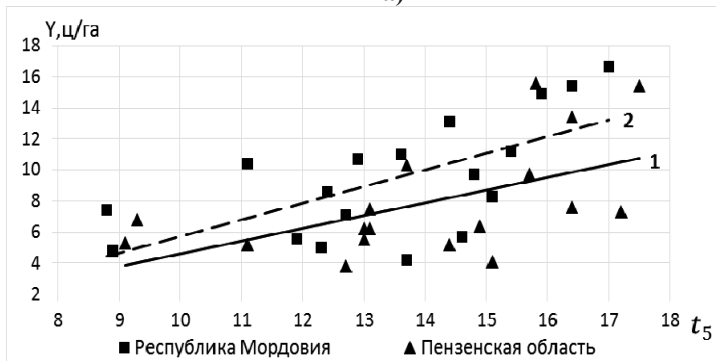
При этом в мае наиболее тесные прямые связи урожайности подсолнечника с запасами продуктивной влаги и гидротермическим коэффициентом увлажнения установлены на юге округа – в Саратовской, Оренбургской и Самарской областях, где значения коэффициентов корреляции ( $r$ ) составляли от 0,37 до 0,49, несколько слабее связи были в Пензенской, Ульяновской областях, а в Республиках Башкортостан и Татарстан, где весной увлажнение почвы обычно бывает достаточным, они оказались лишь на уровне значимых. С температурой воздуха в мае во всех субъектах округа связь была положительной ( $r$  от 0,38 до 0,48), при этом более тесной она была в более северных районах.

В качестве примера зависимости урожайности подсолнечника от запасов влаги в почве и средней температуры воздуха за май показаны на рис. 3 а, б. Наиболее высокие урожаи подсолнечника наблюдались в основном при средней за этот месяц температуре воздуха, равной 14,5...17,0° и запасах продуктивной влаги в метровом слое почвы 130 мм и более. По данным [1, 3], теплая погода в мае, когда почва прогревается до 10...12°, при хорошей влагообеспеченности обеспечивает появление дружных и равномерных всходов, при этом формируется оптимальная густота растений, что является важным фактором для формирования урожая. В опытах [2] установлено, что оптимальная густота составляет 50 тыс. растений на 1 га.

В июне существенного улучшения тесноты связей урожайности подсолнечника с рассматриваемыми параметрами в большинстве субъектов практически не наблюдалось, а в отдельных субъектах она была даже слабее, чем в мае.



а)



б)

**Рис. 3.** Зависимость урожайности подсолнечника ( $Y$ , ц/га) от запасов продуктивной влаги в почве ( $W^5_{0-100}$ , мм) по Саратовской (1) и Оренбургской (2) областям (а) и от средней температуры воздуха ( $t_5$ , °C) за май по Пензенской области (1) и Республике Мордовия (2) (б).

Как показал проведенный нами анализ фенологических наблюдений отдельных гидрометстанций округа за фазами развития подсолнечника, на большей части территории округа всходы подсолнечника появляются в первой декаде июня, а в конце этого месяца в среднем у него наблюдается фаза образования соцветий. До образования соцветий потребность подсолнечника во влаге небольшая. Как указывалось выше, у него в это время интенсивно

растет и развивается корневая система, а надземная масса растет медленно [7]. В этот период подсолнечник расходует около 22 % от общего количества влаги, необходимого для формирования урожая.

Наиболее тесные связи урожайности подсолнечника с ГТК и температурой воздуха на преобладающей территории округа наблюдались в июле, т. е. в наиболее важный для формирования урожая период – от образования соцветий до массового цветения. В это время интенсивно растет надземная масса, формируются соцветия, в связи с чем потребность во влаге резко возрастает и ее расход на обеспечение линейного роста растений, формирования и роста корзинки составляет 60 % от общего количества необходимой влаги [4, 7]. Коэффициенты корреляции урожайности подсолнечника с количеством осадков, ГТК и температурой воздуха в июле в рассмотренный нами период (1996–2014 гг.) составляли от 0,39 до 0,54. При этом следует отметить, что связь урожайности с параметрами, характеризующими влагообеспеченность посевов, была положительной во всех субъектах и проявлялась она достаточно четко даже в северных районах территории. В южных районах очень ярко проявлялась отрицательная роль высоких температур воздуха, а на севере территории, где уровень температур в июле обычно несколько ниже, связь урожайности с этим параметром (средней температурой за июль) оказалась положительной.

Характерный пример такой диаметрально противоположной связи показан на рис. 4, по Саратовской области и Республике Татарстан, а связь ГТК в июле с урожайностью на рис. 5 по Саратовской и Оренбургской областям. Можно отметить, что более высокая урожайность подсолнечника в Республике Татарстан формируется при средней температуре за июль равной 17,5...20,0°, в Саратовской области при 19...23°, при температуре выше 23° урожайность снижается.

В дальнейшем, при наливе семян и их созревании, в августе потребность подсолнечника во влаге снижается, что подтверждается уменьшением тесноты связей (коэффициентов корреляции) урожайности подсолнечника с ГТК и температурой воздуха, в этом месяце. При этом увеличение массы семян (налив) происходит за

счет продолжающейся фотосинтетической деятельности верхних листьев и продуктов гидролиза органических азотсодержащих веществ отмирающих нижних листьев и стебля. Количество влаги, потребляемой подсолнечником в этот период, по данным [4, 7] составляет 17,5% от необходимой для формирования урожая.

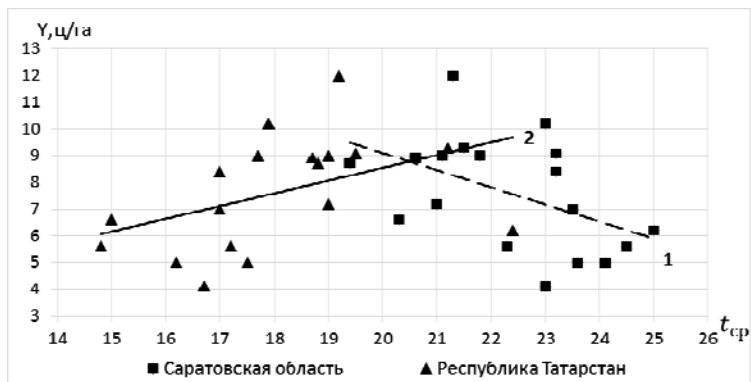


Рис. 4. Зависимость урожайности подсолнечника ( $Y$ , ц/га) от средней температуры воздуха за июль ( $t_5$ , °C) Саратовской области (1) и за август по Республике Татарстан (2).

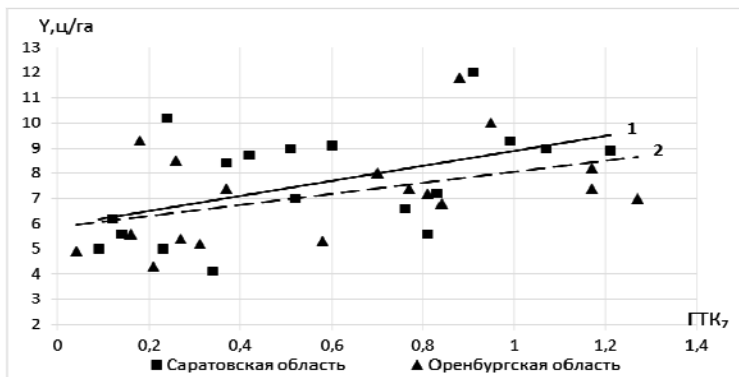


Рис. 5. Зависимость урожайности подсолнечника ( $Y$ , ц/га) от ГТК в июле ( $ГТК_7$ ) по Саратовской (1) и Оренбургской (2) областям.

Проведенные исследования влияния метеорологических и агрометеорологических факторов на урожайность семян подсолнечника в субъектах Приволжского федерального округа позволили нам разработать метод прогноза урожайности подсолнечника с учетом выявленных наиболее тесных связей урожайности с указанными факторами. Были получены две группы прогностических уравнений.

В первой группе, кроме указанных метеорологических факторов, учитывалось влияние повышения культуры земледелия на рост урожайности, во второй – абсолютные значения средней по области (республике) урожайности семян подсолнечника непосредственно связывались с метеорологическими и агрометеорологическими факторами. При этом ожидаемая урожайность рассчитывалась по уравнениям вида:  $Y = ax_1 + ax_2 + c$ .

В связи с тем, что на преобладающей территории лучшие статистические характеристики уравнений были получены в первой группе, предлагается подход к прогнозированию урожайности, основанный на учете влияния не только агрометеорологических условий, но и культуры земледелия. В этом случае задача прогнозирования урожайности решается на основании расчетов двух компонентов урожайности:  $Y_T$  – урожайности по тренду и  $\Delta Y$  – отклонений урожайности от тренда.

Ожидаемая урожайность подсолнечника, таким образом, будет состоять из урожайности, рассчитанной по уравнениям трендов, построенных для каждого субъекта (табл. 1) и отклонений, рассчитанных по разработанным прогностическим моделям (табл. 3), основными параметрами которых является ГТК, запасы продуктивной влаги в метровом слое почвы и средняя температура воздуха за май. Указанные параметры рассчитываются в автоматизированном режиме по алгоритму, включенному в состав рабочего места (РМ) агрометеоролога (пакет программ «ПРОМЕТЕЙ», «Статистика России»), что значительно ускоряет расчеты.

Этот прогноз может быть составлен 31 мая – 1 июня, т. е. с трехмесячной заблаговременностью и является весьма востребованным потребителями. Большая заблаговременность прогноза дает возможность планирования ожидаемого валового сбора семян

подсолнечника (если известна посевная площадь культуры) для потребления в регионе и формирования рынка семян.

Таблица 3

**Значения коэффициентов регрессии в прогностических моделях урожайности и множественные коэффициенты корреляции (май)**

Территория	Урожайность подсолнечника (в отклонениях от тренда), $Y$ (ц/га)			
	$a_1$	$a_2$	$C$	$R$
Оренбургская область	1,802	0,196	-4,322	0,53
Саратовская	2,599	0,046	-2,354	0,60
Самарская	5,372	1,212	-22,627	0,61
Пензенская	3,527	-0,132	-0,521	0,54
Ульяновская	1,896	0,444	-8,108	0,53
Республика Татарстан	-1,805	-0,292	5,913	0,59
Республика Башкортостан	0,037	0,049	-6,024	0,55
Республика Мордовия	4,246	1,248	-21,032	0,49

Примечание:  $a_1$  – коэффициент при ГТК<sub>5</sub>, в Башкортостане при влагозапас в почве  $W_{100}^5$ ;  $a_2$  – коэффициент при  $t_5$ ;  $C$  – свободный член уравнения;  $R$  – множественный коэффициент корреляции.

Уточнение прогноза можно рассчитать по прогностическим моделям, полученным на основе учета наиболее важных метеорологических факторов за июль.

В табл. 4 приведены коэффициенты регрессий в прогностических моделях урожайности (в отклонениях от трендов) с месячной заблаговременностью. Этот вид прогноза составляется 1 августа.

Проверка прогностических моделей на зависимых материалах показала вполне удовлетворительные результаты, в 83–90 % случаев ошибки не превышали  $0,8\sigma$ .

При агрометеорологическом обеспечении сельского хозяйства очень часто ставится задача рассчитать ожидаемую урожайность культуры (в нашем случае подсолнечника) в целом по округу.

Таблица 4

**Значения коэффициентов регрессии в прогностических  
моделях урожайности и множественные коэффициенты  
корреляции (июль)**

Территория	Урожайность подсолнечника (в отклонениях от тренда), $Y$ (ц/га)			
	$a_1$	$a_2$	$C$	$R$
Оренбургская область	2,393	-0,153	1,902	0,69
Саратовская	1,417	-0,335	6,729	0,75
Самарская	2,573	0,427	-8,434	0,51
Пензенская	0,431	0,227	-3,586	0,46
Ульяновская	0,514	0,249	-3,989	0,52
Республика Татарстан	3,124	-0,109	-0,456	0,74
Республика Башкортостан	3,329	-0,226	1,853	0,81
Республика Мордовия	1,350	0,167	-3,569	0,45

Примечание:  $a_1$  – коэффициент при ГТК7;  $a_2$  – коэффициент при  $t_7$  в Оренбургской, Саратовской областях и Республике Башкортостан, в Республике Татарстан – при  $t_8$ , в остальных субъектах при  $t_5$ ;  $C$  – свободный член уравнения;  $R$  – множественный коэффициент корреляции.

Если бы на момент составления прогноза были точно известны посевные площади по каждому субъекту, среднюю урожайность по федеральному округу  $Y_p$  можно было бы вычислить простым осреднением урожайностей по регионам  $Y_h$  с весами, пропорциональными площадям. Для расчета прогностического значения  $Y_p$  по Приволжскому федеральному округу было предложено уравнение регрессии, связывающее среднюю по округу урожайность с урожайностью отдельно взятых субъектов с использованием метода главных компонент.

При этом исходные ряды урожайности по субъектам представляются в виде отклонений от средних многолетних значений и раскладываются на главные компоненты:

$$Y_{ih} = \sum_{j=1}^k G_{ij} V_{jh} ,$$



где  $Y_{ih}$  – значения урожайности в субъекте  $h$  за год  $i$ ;  $V_{jh}$  – собственные векторы ковариационной матрицы  $Cov(Y)$ ,  $G_{ij}$  – коэффициенты разложения по времени.

Решается уравнение множественной линейной регрессии, связывающее среднюю урожайность  $Y_p$  с  $G$ .

$$Y_p = R' \cdot G,$$

где  $R$  – вектор-строка коэффициентов регрессии;  $Y_p$ , как и значения урожайности по субъектам, представляется в виде отклонений от средней многолетней урожайности в округе.

Чтобы перейти к исходным переменным вычисляем коэффициенты:

$$k = V \cdot R,$$

которые входят в искомое прогностическое уравнение:

$$Y_p = k' \cdot Y.$$

В нашей работе для построения прогностической схемы использованы 19-летние ряды средних значений урожайности по 8 регионам Приволжского федерального округа и средние значения урожайности подсолнечника по округу. Полученное прогностическое уравнение для вычисления  $Y_p$  на 19-летнем ряде наблюдений:

$$Y_p = Y_{pm} + 0,159Y_1 + 0,04Y_2 + 0,005Y_3 + 0,21Y_4 + 0,029Y_5 + \\ + 0,099Y_6 + 0,327Y_7 + 0,134Y_8,$$

где  $Y_{pm} = 8,15$  – средняя многолетняя урожайность по Приволжскому федеральному округу;  $Y_1 \div Y_8$  – урожайность в отклонениях от средних многолетних значений.

Используя метод кросс-валидации, то есть последовательно убирая из выборки один год и решая уравнения регрессии для оставшейся части выборки, были получены следующие характеристики качества прогноза  $Y_p$ : коэффициент корреляции  $R = 0,98$ , оценка по знаку аномалии  $\rho = 0,9$ .

Этот метод прогнозирования урожайности подсолнечника, на наш взгляд, можно применять и для других федеральных округов,

причем не только подсолнечника, но и (при соответствующем тестировании) для других сельскохозяйственных культур.

Таким образом, проведенные исследования позволили определить вклад повышения культуры земледелия в современных условиях и метеорологических факторов в формировании урожайности семян подсолнечника по субъектам Приволжского федерального округа. Показано, что темпы роста урожайности в субъектах по периодам сильно различаются и колебания урожайности за счет погодных условий значительно превосходит погодичные приросты урожайности за счет культуры земледелия. В неблагоприятные по погодным условиям годы (в Приволжском федеральном округе чаще всего из-за засух) снижение урожайности относительно тренда (отрицательное отклонение) на порядок превышает прирост урожайности за счет роста культуры земледелия. Выявлены основные метеорологические факторы, которые вносят наибольший вклад в формирование урожайности подсолнечника. Разработаны методы прогноза урожайности подсолнечника по субъектам Приволжского федерального округа с месячной и трехмесячной заблаговременностью, что будет способствовать поддержке принимаемых наиболее целесообразных и выгодных хозяйственных решений в АПК регионов в сложившихся агрометеорологических условиях. Впервые предложен способ расчета ожидаемой урожайности подсолнечника в целом по округу, что необходимо для улучшения агрометеорологического обеспечения органов власти и АПК крупных регионов.

#### **Список использованных источников**

1. *Зеленский Н.А., Келигов И.А.* Урожайность подсолнечника в зависимости от сроков посева // Достижения науки и техники АПК. – 2009. – С. 35–36.

2. *Клюка В.И.* Урожайность и сбор масла с гектара гибридов подсолнечника отечественной и зарубежной селекции в зависимости от густоты растений и зон выращивания Краснодарского края // Труды КубГАУ. – 2008. – Вып. 34 (459). – С. 336–339.

3. *Кураш О.В.* Зависимость урожайности подсолнечника от влажности почвы и предшественников // Зерновое хозяйство. – 2002. – № 1. – С. 25–26.

4. Лукомец А.В., Чернобривец К.М. Проблемы устойчивости производства подсолнечника в Краснодарском крае // Масличные культуры: науч.-техн. бюл. ВНИИМК. – Краснодар, 2011. – Вып. 2 (148–149). – С. 167–170.
5. Мельник Ю.С. Опыт расчета на быстродействующей вычислительной машине связи урожая подсолнечника с условиями увлажнения // Метеорология и гидрология. – 1963. – № 11. – С. 23–25.
6. Мельник Ю.С. Мещанинова Н.Б. Методика прогноза средней областной урожайности семян подсолнечника и результаты ее испытаний // Труды Гидрометцентра СССР. – 1968. – Вып. 24.
7. Пустовойт В.С. Избранные труды: Селекция, семеноводство и некоторые вопросы агротехники подсолнечника. – М.: Колос, 1966. – 368 с.
8. Смирнова В.А. Опыт изучения связи урожайности подсолнечника с климатическими условиями места возделывания // Труды НИИАК. – 1958. – Вып. 6. – С. 85–86.
9. Страшная А.И. Использование показателей увлажнения для оценки засушливости и прогноза урожайности зерновых культур в Поволжском экономическом районе // Труды Гидрометцентра России. – 1993. – Вып. 327. – С. 15–22.
10. Страшная А.И., Максименкова Т.А., Чуб О.В. Агрометеорологические особенности засухи 2010 года в России по сравнению с засухами прошлых лет // Труды Гидрометцентра России. – 2011. – Вып. 345. – С. 194–214.
11. Страшная А.И., Коренкова Н.В. О засушливости в Среднем Поволжье и ее влиянии на урожайность яровой пшеницы // Труды Гидрометцентра России. – 2005. – Вып. 340. – С. 25–34.
12. Тебуев Х.Х. Метод долгосрочного прогноза урожайности семян подсолнечника // Метеорология и гидрология. – 1989. – № 6. – С. 110–115.
13. Уланова Е.С., Страшная А.И. Засухи в России и их влияние на урожайность зерновых культур // Труды ВНИИСХМ. – 2000. – Вып. 33. – С. 64–83.

*Поступила в редакцию 2.02.2016 г.*