

ВЛИЯНИЕ АГРОМЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИХ УСЛОВИЙ НА УРОЖАЙНОСТЬ СЕМЯН ПОДСОЛНЕЧНИКА В ЮЖНОМ ФЕДЕРАЛЬНОМ ОКРУГЕ

А.И. Страшная, О.В. Береза, В.А. Тищенко

*Гидрометеорологический научно-исследовательский центр
Российской Федерации;
ais@mesom.r*

Введение

В Российской Федерации значительная доля пахотных земель расположена в зонах с неблагоприятными для масличных культур значениями как минимум одного из агроклиматических факторов: теплообеспеченности (суммы эффективных и активных температур), влагообеспеченности, продолжительности безморозного периода и др. В то же время на преобладающей территории сравнительно успешно возделывается целый ряд масличных культур, среди которых основные площади занимают подсолнечник, соя, яровой и озимый рапс, горчица, рыжик. Общая площадь под масличными культурами составляет около 11,0 млн. га.

Основной масличной культурой, возделываемой в нашей стране, является подсолнечник. Товарное производство семян подсолнечника сосредоточено в Центральном, Южном и Приволжском федеральных округах, на долю которых, по данным Росстата за 2011–2015 гг., приходится около 90 % от всего валового сбора подсолнечника в Российской Федерации. В Северо-Кавказском федеральном округе производится 5,0–5,5 % семян подсолнечника, в Уральском и Сибирском федеральных округах валовые сборы этой культуры пока незначительны, хотя резервы увеличения посевных площадей и валовых сборов в этих округах большие в связи с выведением новых скороспелых и высокоурожайных сортов и гибридов отечественной селекции [2, 4], а также в связи с наблюдаемым глобальным потеплением.

В настоящее время основными задачами аграрной политики в Российской Федерации являются обеспечение роста агропромышленного производства на основе интенсификации, а также формирование конкурентоспособного продовольственного рынка.

Одним из важнейших элементов продовольственного рынка страны является рынок подсолнечника. 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. При этом нельзя не отметить, что роль масличных культур, в том числе подсолнечника, очень высока не только из-за их высокой пищевой ценности в рационе питания человека, но и из-за хорошо сбалансированной по белку кормовой базы животноводства [4, 7]. Исходя из вышесказанного, увеличение производства подсолнечника является актуальной проблемой. Основными факторами, определяющими валовой сбор семян подсолнечника, является урожайность и посевные площади.

В Южном федеральном округе решающим фактором является урожайность, т. к. резервы для увеличения посевных площадей здесь невелики. Доля посевных площадей и валовых сборов подсолнечника по федеральным округам показана на рис. 1. В Южном федеральном округе она составляет 24 %, а валовой сбор семян подсолнечника в связи с более высокой урожайностью – 30 %.

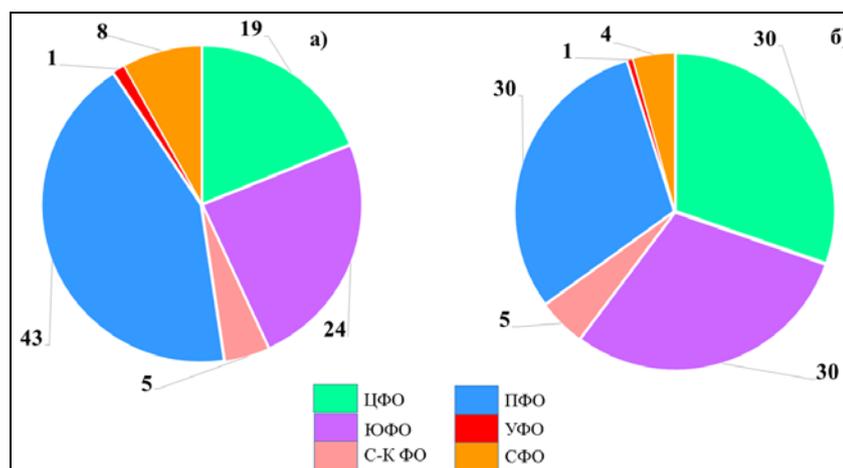


Рис. 1. Посевные площади подсолнечника в процентах от общей посевной площади (а) и валовые сборы семян подсолнечника в процентах от общего валового сбора (б) по федеральным округам России.

Для планирования самообеспечения регионов и формирования рынка семян подсолнечника весьма важным является заблаговременное прогнозирование урожайности. Первые попытки определения связей урожайности подсолнечника с климатическими условиями районов его

возделывания предпринимались в конце 50-х годов [8]. Методы прогнозов урожайности подсолнечника были разработаны Ю.С. Мельником, Н.Б. Мещаниновой в 60–70-е годы, затем Х.Х. Тебueвым [6, 12]. Однако в связи с произошедшей почти повсеместно сортосменной культурой подсолнечника, изменением технологии возделывания, а также сокращением данных наблюдений гидрометстанций и изменением агроклиматических ресурсов территорий в связи с наблюдаемым потеплением появилась необходимость разработки нового метода.

В данной работе была поставлена задача изучения агрометеорологических условий возделывания подсолнечника в Южном федеральном округе и установления возможности долгосрочного прогнозирования урожайности (с заблаговременностью 2–3 месяца до массовой уборки) в субъектах этого округа и по округу в целом. Для ее решения была сформирована база метеорологических и агрометеорологических параметров (значений температуры воздуха, суммы осадков, дефицита влажности воздуха, коэффициентов увлажнения, запасов продуктивной влаги в почве) по месяцам вегетационного периода (апрель-август), осредненных по субъектам за период 1986–2015 гг., и урожайности подсолнечника по данным Росстата за 1991–2015 гг. Основное внимание, исходя из поставленной задачи, уделялось первому периоду вегетации (апрель-июнь).

На первом этапе необходимо было изучить тенденции урожайности в субъектах округа, обусловленные повышением культуры земледелия, в том числе внедрением новых сортов и гибридов, применением интенсивных технологий (тренд), и случайные компоненты урожайности, зависящие в основном от условий погоды. Рассчитанные нами уравнения тенденций урожайности подсолнечника в виде полиномов первой и второй степени, величины изменений урожайности за последние 20 лет (1996–2015 гг.), а также коэффициенты вариации урожайности представлены в табл. 1, где Y – урожайность подсолнечника в ц/га; x – порядковый номер года (1 – 1996 г.).

Как видно из таблицы, в субъектах округа (за исключением Республики Калмыкия) наблюдался значительный рост урожайности подсолнечника от начала к концу рассмотренного периода; наибольшим он был в Краснодарском крае, где урожайность повысилась на 14,75 ц/га, а средняя годовичная скорость роста в указанный период составляла около 0,78 ц/га.

В Ростовской и Волгоградской областях, где площади возделывания подсолнечника значительные (даже несколько больше, чем в Краснодарском крае), а агрометеорологические условия для формирования урожайности подсолнечника по влагообеспеченности более жесткие,

урожайность в этот период повышалась ежегодно в среднем на 0,30 и 0,36 ц/га, а увеличение урожайности за 20-летний период составило 5,76 и 6,77 ц/га соответственно.

Таблица 1. Изменчивость урожайности подсолнечника в субъектах Южного федерального округа

Субъекты ЮФО	Уравнения трендов	R ²	Урожайность по тренду, ц/га		Прирост урожайности, ц/га	Коэффициент вариации
			1996	2015		
Ростовская область	$Y=0,459x-0,008x^2+7,677$	0,59	10,0	15,8	5,7	0,20
Волгоградская область	$Y=0,358x+5,383$	0,74	5,7	12,5	6,7	0,26
Краснодарский край	$Y=0,776x+10547$	0,89	11,3	26,0	14,7	0,24
Республика Калмыкия	$Y=-0,381x+0,0098x^2+8,395$	0,40	7,9	4,7	-3,2	0,30
Республика Крым*	$Y=0,522x-10386$	0,69	7,2*	13,0	5,8	0,25

Примечание: * – за период 2002–2016 гг.

Высокие коэффициенты детерминации (R²) уравнений указывают на значительный вклад в повышении урожайности подсолнечника культуры земледелия, однако при этом существенна роль и случайной компоненты урожайности (в Волгоградской области, например, до 42 %). Следует отметить, что если погодичный рост урожайности вследствие повышения культуры земледелия практически во всех субъектах округа составлял десятые доли центнера, то величины случайной компоненты урожайности (отклонений от тренда) достигали 3–4 ц/га, а в очень засушливые 2009 и 2010 гг. в Ростовской области, например, более 4,0 ц/га.

Вариабельность урожайности во всех субъектах была значительной, особенно в Волгоградской области и республиках Калмыкия и Крым, где коэффициенты вариации составили 0,26–0,30, в Ростовской области и Краснодарском крае – 0,20 и 0,24.

В [5] показано, что значительного повышения урожайности подсолнечника в период массового внедрения иностранных гибридов (2001–2014 гг.) по сравнению с доперестроечным периодом (1981–1990 гг.) в большинстве регионов России не получено вследствие того, что они "недостаточно хорошо адаптированы к почвенно-климатическим условиям России".

Нами был проведен анализ влагообеспеченности посевов подсолнечника за указанный выше период (массового распространения иностранных гибридов), используя гидротермический коэффициент Г.Т. Селянинова (ГТК) – наиболее распространенный показатель увлажнения. По субъектам округа были рассчитаны значения ГТК по годам и в среднем по пятилетиям за май и июнь. В табл. 2 приведены значения ГТК, а также сумм осадков по пятилетиям за июнь – важный период для формирования урожая подсолнечника, когда у растений на большей части территории округа наблюдается формирование генеративных органов, идет образование и рост соцветий.

Таблица 2. Значения гидротермического коэффициента увлажнения и суммы осадков по субъектам Южного федерального округа за июнь

Годы	Ростовская область	Волгоградская область	Краснодарский край	Республика Калмыкия	Республика Крым
Гидротермический коэффициент увлажнения					
2001–2005	0,93	0,7	1,10	0,66	1,0
2006–2010	0,54	0,43	0,93	0,42	0,75
2011–2015	0,80	0,60	1,50	0,70	1,30
Количество осадков, мм					
2001–2005	54,2	43,8	61,8	40,0	51,6
2006–2010	34,8	27,2	70,2	26,8	51,8
2011–2015	52,0	40,6	50,6	86,6	68,6

Анализ данных, приведенных в таблице, показал, что наиболее «сухим» в большинстве субъектов было пятилетие 2006-2010 гг. В это пятилетие урожайность подсолнечника в среднем значительно снижалась, что можно видеть, анализируя кусочно-линейные тренды, построенные нами за три последних пятилетия (2001–2015 гг.).

Рассмотрим сложившуюся ситуацию на примере Ростовской области.

На рис. 2 показан тренд урожайности подсолнечника в этой области, а также в Краснодарском крае и Волгоградской области (рис. 3, 4) для периода современной России (1991–2015 гг.), и построенные по трем пятилетиям (2001–2005; 2006–2010; 2011–2015 гг.) указанного выше периода (период массового распространения иностранных гибридов) кусочно-линейные тренды (1, 2, 3).

Анализируя приведенные данные, можно констатировать, что в начале перестроечного периода (1991–1995 гг.) урожайность подсолнечника в Ростовской области, как и в Волгоградской области и Краснодарском

крае – крупных производителях семян подсолнечника, снижалась, что в значительной степени связано с переходом к рыночным отношениям, хотя увлажнение в этот период в целом было достаточным: средний за период ГТК в мае в Ростовской области, по нашим данным, составил 1,14, в июне – 0,82, но в июне 1991 г. наблюдалась засуха (ГТК = 0,46).



Рис. 2. Динамика урожайности семян подсолнечника по Ростовской области за период 1991–2015 гг.



Рис. 3. Динамика урожайности семян подсолнечника по Краснодарскому краю за период 1991–2015 гг. и кусочно-линейные тренды.

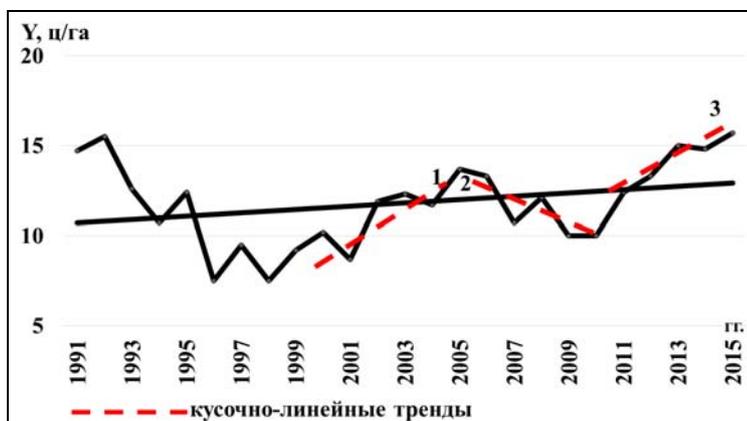


Рис. 4. Динамика урожайности семян подсолнечника по Волгоградской области за период 1991–2015 гг. и кусочно-линейные тренды.

В последующее пятилетие (1996–2000 гг.) при удовлетворительной влагообеспеченности в целом за период, но наблюдавшихся в Ростовской области засухах в 1998 и 1999 гг., падение урожайности замедлилось, а в период 2001–2005 гг., когда наблюдалось улучшение материально-технической базы хозяйств и началось массовое распространение иностранных гибридов, урожайность в области увеличивалась в среднем со скоростью 0,98 ц/га, хотя в 2002 г. наблюдалась засуха в мае и в июле-августе. В период 2006–2010 гг. в Ростовской области в течение трех лет наблюдались сильные засухи: в 2007 г. сильная засуха наблюдалась в мае, июле и августе, в 2009 и 2010 гг. – в июне, июле и августе, когда значения ГТК в эти месяцы изменялись от 0,09 до 0,66, что, согласно установленным критериям [9, 10, 13], соответствует очень сильной и сильной засухе. Даже среднее значение ГТК за это пятилетие в июне составило 0,54 (критерий сильной засухи), в июле – 0,24 (очень сильная засуха), а среднее количество осадков составило всего 34,8 мм.

В результате урожайность в среднем за этот период резко снижалась (со скоростью 0,73 ц/га ежегодно). Это подтверждает выводы, полученные в [5], о том, что иностранные гибриды могут реализовать свой потенциал продуктивности лишь в условиях техногенной интенсификации при благоприятных погодных условиях. В условиях засух, как показывают приведенные нами данные, урожайность их резко снижается. В пятилетие 2011–2015 гг., когда влагообеспеченность посевов подсолнечника в области была удовлетворительной, урожайность вновь возрастала. Заметим,

что почти аналогичная ситуация в рассматриваемые три пятилетия наблюдалась и в других субъектах округа, например в Волгоградской области, а также в Республике Калмыкия. В Краснодарском крае в период 2006–2010 гг. увлажнение было в основном достаточным (средний за период ГТК составил 0,93), и в крае наблюдался, хотя и слабый, рост урожайности (со скоростью 0,18 ц/га).

В связи с тем, что на преобладающей территории Южного федерального округа ограничивающим фактором для формирования высоких урожаев подсолнечника является дефицит влаги, для определения тенденции увлажнения мы проанализировали значения ГТК по годам за последние 30 лет (1986–2015 гг.), разделив этот период на два подпериода: 1986–2000 гг. и 2001–2015 гг. Расчеты значений ГТК и его изменчивости – среднего квадратического отклонения (СКО) – производились отдельно за май и июнь и в целом за май-июнь (табл. 3).

Таблица 3. Значения ГТК и его изменчивость (СКО) по ЮФО

Субъекты ЮФО	Май		Июнь		Май-июнь	
	Среднее значение ГТК	СКО	Среднее значение ГТК	СКО	Среднее значение ГТК	СКО
	1986–2000 гг.					
Ростовская область	0,93	0,31	0,92	0,35	0,92	0,22
Волгоградская область	0,77	0,38	0,79	0,39	0,78	0,34
Краснодарский край	1,47	0,44	1,30	0,54	1,38	0,37
Республика Калмыкия	0,72	0,50	0,63	0,32	0,68	0,30
Республика Крым	0,86	0,35	0,88	0,33	0,85	0,26
2001–2015 гг.						
Ростовская область	0,85	0,48	0,76	0,29	0,80	0,25
Волгоградская область	0,69	0,33	0,59	0,30	0,64	0,18
Краснодарский край	1,29	0,60	1,06	0,46	1,17	0,42
Республика Калмыкия	0,86	0,47	0,59	0,22	0,73	0,25
Республика Крым	0,77	0,48	0,88	0,43	0,90	0,34

Оказалось, что в мае условия увлажнения улучшились только в Республике Калмыкия, где средний ГТК за второй период по сравнению с первым увеличился на 0,14 (0,72 до 0,86), СКО при этом уменьшилось незначительно – от 0,50 до 0,47. В остальных субъектах в мае увлажнение в целом уменьшилось, значение ГТК уменьшилось на 0,08–0,18.

В июне ухудшение условий увлажнения во второй период отмечалось во всех субъектах округа: значение ГТК в большинстве субъектов, кроме Республики Калмыкия, в среднем уменьшилось на 0,16–0,24, изменчивость (СКО) этого показателя также несколько уменьшилась. В среднем за май-июнь во втором периоде увлажнения несколько улучшилось в Республике Калмыкия, где значение ГТК увеличилось на 0,05, почти на такую же величину уменьшилось и СКО. На рис. 5 для примера показана динамика ГТК в июне, наиболее важном месяце для формирования урожая, в период 1991–2015 гг. по Краснодарскому краю, где прослеживается положительная динамика этого показателя, и в Волгоградской области, где, напротив, значение ГТК от начала к концу периода уменьшалось.



Рис. 5. Динамика гидротермического коэффициента увлажнения в июне по Краснодарскому краю и Волгоградской области за период с 1991 по 2015 г.

Проведенный анализ показал, что на преобладающей территории Южного федерального округа значительное снижение урожайности подсолнечника наблюдалось в условиях сильных засух (когда ГТК составил менее 0,60), в связи с этим нами рассчитана повторяемость (вероятность, %) таких засух по субъектам округа за 1986–2000 и 2001–2015 гг. (табл. 4). Оказалось, что повторяемость сильных засух в целом за май-июнь во втором периоде в республиках Калмыкия, Крым и в Волгоградской области уменьшилась на 6–14 %, в Краснодарском крае повторяемость таких засух увеличилась на 7 %, а в Ростовской области – на 26 %. Эти тенденции необходимо учитывать при подборе сортов и при необходимости планирования применения режимов орошения.

Таблица 4. Повторяемость (вероятность, %) сильных атмосферных засух ($ГТК \leq 0,60$) по субъектам ЮФО за 1986–2000 и 2001–2015 гг.

Субъекты ЮФО	Вероятность, %					
	1986–2000 гг.			2001–2015 гг.		
	май	июнь	май-июнь	май	июнь	май-июнь
Ростовская область	13	20	7	27	27	33
Волгоградская область	40	47	47	47	53	33
Краснодарский край	0	0	0	13	7	7
Республика Калмыкия	60	67	53	40	47	47
Республика Крым	27	27	20	40	20	13

На втором этапе разработки долгосрочного метода прогноза урожайности подсолнечника в субъектах Южного федерального округа нами использовался корреляционный и графический анализ. Установлена теснота связей между урожайностью и осредненными по субъектам округа значениями метеорологических и агрометеорологических факторов (количество осадков, температура воздуха, дефицит и относительная влажность воздуха, ГТК за апрель, май, июнь, запасы продуктивной влаги в метровом слое почвы на конец апреля). При недостаточном количестве данных наблюдений о запасах продуктивной влаги под посевами подсолнечника привлекались данные наблюдений за этим параметром под яровыми зерновыми культурами, которые в конце апреля были близкими по значениям. В дальнейшем разница в запасах продуктивной влаги под подсолнечником и яровыми культурами увеличивалась и их использование оказалось нецелесообразным.

В апреле наиболее тесная прямая связь урожайности подсолнечника с запасами продуктивной влаги в метровом слое почвы на конец апреля установлена в Ростовской области ($r = 0,42$), в Краснодарском крае эта связь обратная ($r = -0,58$); с температурой воздуха – в Республике Крым ($r = 0,44$). Связь урожайности с гидротермическим коэффициентом увлажнения в Волгоградской и Ростовской областях в этом месяце прямая ($r = 0,42 \dots -0,48$), а в Краснодарском крае – обратная, т. е. с увеличением ГТК урожайность в крае заметно уменьшалась. Объяснить это можно тем, что в более «сухих» Волгоградской и Ростовской областях увлажнение в апреле часто бывает недостаточным, и увеличение ГТК в апреле положительно сказывается на урожае. В Краснодарском крае при больших значениях ГТК возможно переувлажнение почвы на глубине заделки семян, что сдерживает их прорастание и обуславливает неравномерность всходов [1, 3].

В мае тесная связь с осадками установлена в основном лишь в Волгоградской и Ростовской областях, с температурой воздуха – в Краснодарском крае ($r = 0,39 \dots -0,41$), с другими параметрами теснота связей урожайности в субъектах была лишь на уровне значимой и ниже.

Влияние температуры воздуха в июне хорошо проявилось в Волгоградской и Ростовской областях ($r = -0,40 \dots -0,49$), в остальных субъектах связь урожайности с температурой июня оказалась на уровне значимой или ниже. Связь с осадками в июне в Республике Крым и Краснодарском крае оказалась положительной. С дефицитом влажности воздуха в июне тесная обратная связь урожайности подсолнечника проявилась в Республике Калмыкия ($r = -0,48$), с относительной влажностью воздуха установлена тесная прямая связь ($r = 0,53$) в Республике Крым. Установлены также достаточно тесные связи отклонений урожайности подсолнечника от трендов (ΔY) с указанными выше факторами; при этом наиболее тесными ($r =$ от $0,39$ до $0,50$) с большинством рассмотренных факторов они были в июне. В качестве примера зависимости ΔY от ГТК, количества осадков в июне и средней за июнь температуры воздуха по Волгоградской области приведены на рис. 6, где можно видеть, что величины положительных отклонений ΔY увеличиваются при улучшении условий увлажнения (увеличения ГТК и количества осадков), а при повышении температуры воздуха, напротив, увеличиваются отрицательные отклонения урожайности от тренда.

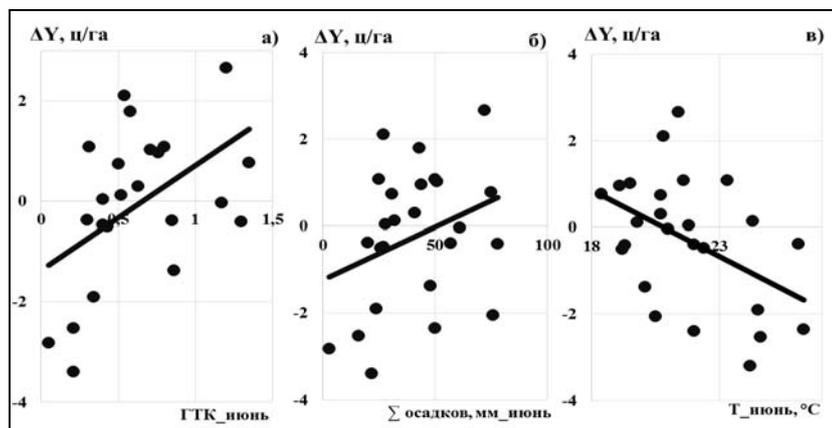


Рис. 6. Зависимость отклонения урожайности (ΔY , ц/га) от ГТК июня (а), количества осадков за июнь (б) и средней температуры воздуха за июнь (в) по Волгоградской области.

Исходя из приведенных данных необходимо отметить, что значительные различия в проявлении связей урожайности подсолнечника в субъектах округа с метеорологическими параметрами связаны не только с большим разнообразием агроклиматических условий в субъектах округа, но и с преобладанием в них различных по скороспелости сортов, темпы развития которых и этапы органогенеза различаются, что по-разному сказывается на тесноте и характере связей.

С учетом установленных связей урожайности подсолнечника с метеорологическими и агрометеорологическими параметрами за апрель-июнь нами получены регрессионные уравнения для прогноза урожайности подсолнечника с большой заблаговременностью. Разумеется, что на конечную урожайность будут влиять и метеорологические параметры в июле-августе, когда у растений еще происходит цветение, наблюдается налив семян и начинается их созревание. Это явится предметом наших дальнейших исследований. В настоящей работе нами предложен метод долгосрочного прогноза урожайности, базирующийся в основном на учете агрометеорологических условий первого периода вегетации (апрель-июнь).

В полученных прогностических уравнениях учтено влияние повышения уровня культуры земледелия, так как задача прогнозирования урожайности $Y_{пр}$ решалась на основании расчетов двух компонентов урожайности: Y_T – урожайности по тренду и ΔY – отклонений урожайности от тренда.

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

Прогноз может быть составлен 30 июня – 1 июля, т. е. с двух-трехмесячной заблаговременностью и является весьма востребованным потребителями, так как дает возможность планирования ожидаемого валового сбора семян подсолнечника (если известна посевная площадь культуры) для потребления в регионе и формирования рынка семян.

В табл. 5 приведены коэффициенты регрессии в прогностических уравнениях урожайности подсолнечника (в отклонениях от трендов), лишь для Республики Крым из-за короткого и неоднородного ряда прогнозируется урожайность в абсолютных величинах и полученные уравнения имеют общий вид: $y = ax_1 + bx_2 + c$.

Таблица 5. Значения коэффициентов регрессии в прогностических уравнениях и множественные коэффициенты корреляции

Субъекты ЮФО	Коэффициенты регрессии и множественные коэффициенты корреляции									
	a ₁	a ₂	a ₃	a ₄	a ₅	a ₆	a ₇	a ₈	C	R ²
Волгоградская область	-	0,770	-	-	-	-	-0,273	-	4,998	0,342
	-	-	-	0,028	-	-	-0,241	-	4,138	0,346
Ростовская область	0,050	-	-	-0,044	-	-	-	-	-4,035	0,504
	-	0,780	-	-	-	-	-0,217	-	5,398	0,332
Краснодарский край	0,008	-1,107	-	-	-	-	-	-	0,516	0,334
	-	-0,970	-	-	-0,142	-	-	-	3,903	0,356
Республика Калмыкия	-	-	-	-	-	0,015	-0,155	-	1,618	0,255
Республика Крым	-	-	0,454	-	-	0,062	-	-	1,796	0,727
	-	-	0,536	-	-	-	-	0,286	-14,516	0,411

В табл. 5 коэффициенты при:

- a₁ – запасах продуктивной влаги в метровом слое почвы (W₀₋₁₀₀);
- a₂ – гидротермическом коэффициенте увлажнения за апрель (ГТК_{IV});
- a₃ – температуре воздуха за апрель (T_{IV});
- a₄ – сумме осадков за май (ΣP_V);
- a₅ – температуре воздуха за май (T_V);
- a₆ – сумме осадков за июнь (ΣP_{VI});
- a₇ – температуре воздуха за июнь (T_{VI});
- a₈ – относительной влажности воздуха за июнь (φ_{VI});
- C – свободный член уравнения;
- R² – коэффициент детерминации.

Проведенная проверка прогностических моделей на зависимых материалах показала вполне удовлетворительные результаты, в 81–90 % случаев ошибки прогнозов не превышали $0,8\sigma$, что является вполне приемлемым для использования в оперативной работе по агрометеорологическому обеспечению АПК в субъектах Южного федерального округа.

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

На основе подхода, использованного в работе [11] для расчета прогностического значения урожайности в целом по Южному федеральному округу Y_p было предложено уравнение регрессии, связывающее среднюю по округу урожайность с урожайностью отдельно взятых субъектов с использованием метода главных компонент.

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

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

где Y_{ih} – отклонения от средних многолетних значений урожайности в субъекте h за год i ; V_{jh} – собственные векторы ковариационной матрицы Y_{ih} , G_{ij} – коэффициенты разложения по времени.

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

$$Y_p = R' \cdot G, \quad (2)$$

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

Чтобы перейти к исходным переменным вычисляем коэффициенты:

$$k = V \cdot R, \quad (3)$$

которые входят в искомое прогностическое уравнение. Таким образом, прогностическое уравнение для вычисления Y_p имеет вид:

$$Y_p = Y_{pm} + \sum_{n=1}^N k_n Y_n, \quad (4)$$

где Y_{pm} – средняя многолетняя урожайность по федеральному округу; N – число субъектов, по которым производятся вычисления.

Значения Y_n представляются в отклонениях от средних многолетних.

Для построения прогностической схемы использованы 15-летние ряды средних значений урожайности по пяти субъектам Южного федерального округа и средние значения урожайности подсолнечника по этому округу:

$$Y_p = Y_{pm} + 0,475 Y_1 + 0,245 Y_2 + 0,017 Y_3 + 0,274 Y_4 + 0,053 Y_5, \quad (5)$$

где $Y_{pm} = 14,18$ ц/га – средняя многолетняя урожайность подсолнечника по Южному федеральному округу; $Y_1 - Y_5$ – урожайность в отклонениях от средних многолетних значений в субъектах.

Используя метод кросс-валидации, т. е. последовательно убирая из выборки один год и решая уравнения регрессии для оставшейся части выборки, были получены следующие характеристики качества прогноза Y_p : для Южного федерального округа коэффициент корреляции $R = 0,97$, оценка по знаку аномалии $\rho = 0,9$.

На рис. 7 показаны фактические и прогностические значения урожайности семян подсолнечника в Южном федеральном округе. Можно отметить, что существенных различий между фактическими и прогностическими значениями не наблюдается.

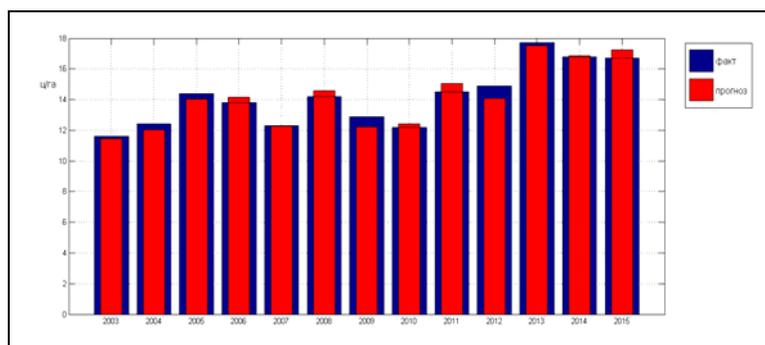


Рис. 7. Фактические и прогностические значения урожайности (ц/га) по годам в Южном федеральном округе.

Выводы

Таким образом, проведенные в работе исследования позволили определить вклад повышения культуры земледелия и агрометеорологических факторов в формировании урожайности семян подсолнечника по субъектам Южного федерального округа в изменившихся при наблюдаемом

потеплении климата современных условиях. Показано, что погодичная скорость роста урожайности в субъектах округа сильно различается, а колебания урожайности за счет погодных условий значительно превосходят погодичные приросты урожайности за счет повышения уровня культуры земледелия. В неблагоприятные по погодным условиям годы (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. Разработан метод прогноза урожайности подсолнечника по субъектам Южного федерального округа с двух-трехмесячной заблаговременностью. Использование этого метода будет способствовать поддержке принимаемых наиболее обоснованных и выгодных в условиях рыночных отношений хозяйственных решений в АПК субъектов округа в сложившихся в конкретном году агрометеорологических условиях, позволит заблаговременно намечать меры по реализации семян подсолнечника с учетом конъюнктуры рынка. 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 КубГАУБ. 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: Научно-технический бюллетень Всероссийского НИИ масличных культур. 2011. Вып. 2. С. 167-170.
5. *Лукомец В.М., Бочковой А.Д., Хатнянский В.И., Кривошлыков К.М.* Результаты и перспективы внедрения иностранных гибридов подсолнечника в Российской Федерации // Масличные культуры: Научно-технический бюллетень Всероссийского НИИ масличных культур. 2015. Вып. 3 (163). С. 3-8.
6. *Мельник Ю.С., Мещанинова Н.Б.* Методика прогноза средней областной урожайности семян подсолнечника и результаты ее испытаний // Труды Гидрометцентра СССР. 1968. Вып. 24. С. 42-49.

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. 79-92
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., Тищенко В.А., Богомолова Н.А., Павлова К.И., Тебуев Х.Х.* Агрометеорологические условия и прогнозирование урожайности семян подсолнечника в Приволжском федеральном округе // Труды Гидрометцентра России. 2016. Вып. 359. С. 142-160.
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 25.04.2017 г.