

**МЕТОД ПРОГНОЗА УРОЖАЙНОСТИ СЕМЯН ПОДСОЛНЕЧНИКА
ПО СУБЪЕКТАМ ЕВРОПЕЙСКОЙ ЧАСТИ И РОССИИ В ЦЕЛОМ
С ЗАБЛАГОВРЕМЕННОСТЬЮ 3–3,5 МЕСЯЦА**

*Гидрометеорологический научно-исследовательский центр
Российской Федерации, г. Москва*

Метод прогноза урожайности семян подсолнечника разработан по наземным данным агрометеорологических и метеорологических наблюдений гидрометстанций Росгидромета, урожайность подсолнечника использовалась по данным Росстата в весе после доработки.

Большой спрос на семена подсолнечника внутри страны и на внешних рынках обуславливает необходимость своевременного планирования производства подсолнечника как для самообеспечения регионов, так и для экспортных целей. Разнообразие использования подсолнечника в пищевых целях, а также в промышленности, медицине требует более точного прогноза валовых сборов семян, определения наиболее целесообразной структуры их использования в погодных условиях конкретных лет. Этому способствует большая заблаговременность прогноза (3–3,5 месяца до начала уборки). Актуальность разработки метода обусловлена также необходимостью создания метода, адаптированного к значительно изменившимся в последние десятилетия агроклиматическим условиям и учитывающего внедрение новых сортов и гибридов подсолнечника с большим потенциалом продуктивности.

В [1] нами показано, что суммы среднесуточных значений температуры воздуха за период с температурой выше 10 °С почти повсеместно на европейской части России увеличились по сравнению с периодом 1966–1990 гг. на 150–250°С и более. Граница целесообразного возделывания подсолнечника, проходившая в 60–70-е гг. через Курск – Самару в начале 2000-х гг., значительно продвинулась к северу и проходит по южным районам Брянской, Орловской, Рязанской областей и далее по широте Казани, Бугульмы (Республика Татарстан), где появилась возможность возделывания подсолнечника не только скороспелых, но и высокопродуктивных раннеспелых сортов и гибридов,

вегетационный период которых длится 85–90 дней. В указанных субъектах, где ранее подсолнечник на семена практически не возделывался, посевные площади его составляют до 70–140 тыс. га и более. В связи с этим возникает необходимость разработки метода прогноза и для этих районов.

При разработке метода прогноза урожайности семян подсолнечника использован единый методический подход для составления прогнозов и оценок оправдываемости в субъектах Центрального, Приволжского, Южного и Северо-Кавказского федеральных округов, где производится до 93 % валового сбора семян подсолнечника. Анализ временных рядов урожайности за период 2001–2019 гг. показал резкий рост урожайности во всех субъектах этих округов, как и в России в целом (особенно в последние 10–12 лет), обусловленный значительным повышением культуры земледелия: массовым сортообновлением и применением инновационных технологий. Об этом свидетельствуют высокие (0,68–0,78) значения коэффициентов детерминации (R^2) в уравнениях рассчитанных трендов.

В связи с этим при разработке метода прогностическая урожайность подсолнечника (Упр) рассматривалась как сумма двух прогнозов: (1) прогноза тенденции урожайности (тренда, Утр), описываемого нами полиномами первой и второй степени, и (2) прогноза аномалий урожайности (отклонений урожайности от тренда, ΔY), зависящих от метеорологических и агрометеорологических факторов, в наибольшей степени влияющих на урожайность.

Потенциальные предикторы для разрабатываемых прогностических регрессионных моделей для расчета ΔY устанавливались на основе корреляционного анализа, проведенного для каждого субъекта. При этом использовались запасы продуктивной влаги в метровом слое почвы, температура воздуха, количество осадков, дефицит влажности воздуха, гидротермический коэффициент увлажнения за основной период вегетации подсолнечника (апрель–июль) и по отдельным отрезкам этого периода. В связи с большим разнообразием агроклиматических и погодных условий в субъектах указанных выше округов, в разрабатываемые регрессионные модели для каждого субъекта гидрометеорологические факторы (параметры) входили в различных сочетаниях. Критерием отбора параметров являлось значение коэффициентов корреляции между урожайностью подсолнечника и исследуемыми факторами $\geq 0,42$. Схема прогноза урожайности семян подсолнечника по субъектам РФ показана на рисунке. На рисунке обозначено: a_1 , a_2 , a_3 – коэффициенты регрессии; x – порядковый номер года; t – температура воздуха; R – количество осадков; GTK – гидротермический коэффициент увлажнения (за месяц или определенные периоды); W_{4-3} – запасы продуктивной влаги в метровом слое почвы в третьей декаде апреля.

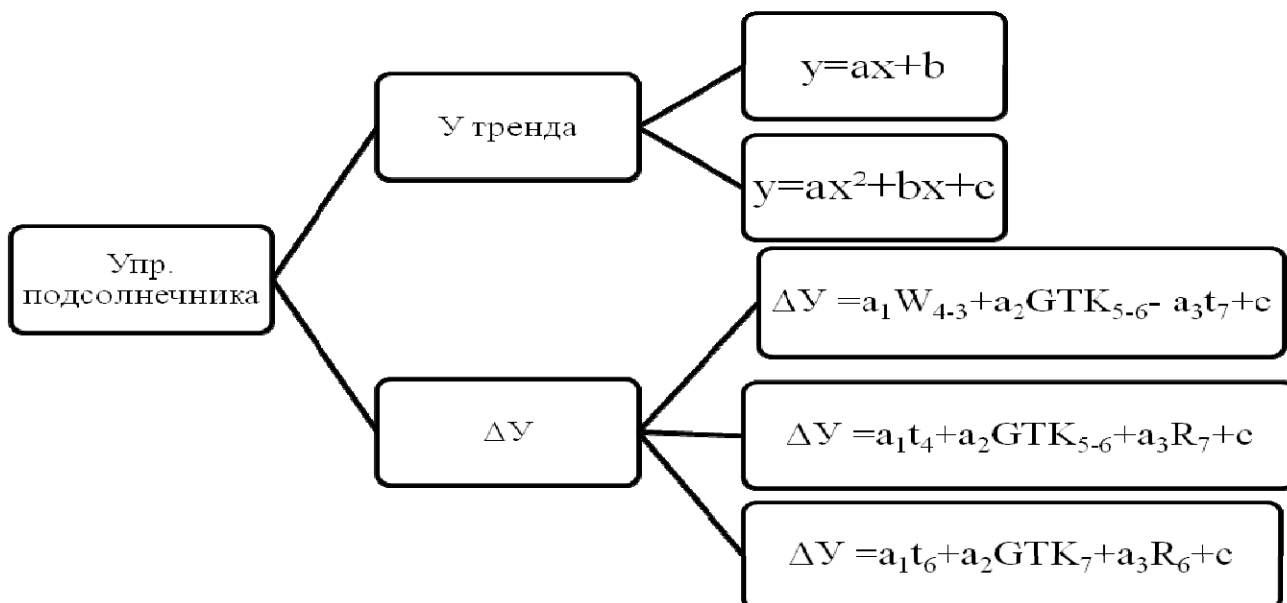


Рисунок. Схема прогноза урожайности семян подсолнечника по субъектам РФ.

Алгоритм автоматизированного расчета прогнозов в субъектах (инструкция) изложен в [3].

В агрометеорологическом обеспечении сельского хозяйства часто ставится задача рассчитать ожидаемую урожайность сельскохозяйственных культур (в нашем случае подсолнечника) по федеральному округу (округам) или России в целом. Задача разработки регрессионной модели для прогноза урожайности подсолнечника по округу решалась с использованием метода главных компонент. Подробно процедура расчетов с использованием этого метода изложена в [5–7]. Прогностическая регрессионная модель для расчета урожайности в целом по Российской Федерации (Урф), также с использованием метода главных компонент, разработана на основе использования урожайности по федеральным округам, выраженной в отклонениях урожайности от средней многолетней (за 2001–2019 гг.) по конкретным округам. Общий вид модели:

$$У_{п.рф} = a_0 \bar{У}_{рф} + a_1 Y_1 + a_2 Y_2 + a_3 Y_3 + a_4 Y_4 + a_5 Y_5,$$

где $У_{п.рф}$ – ожидаемая урожайность подсолнечника (прогноз) в целом по Российской Федерации; $\bar{У}_{рф}$ – средняя многолетняя урожайность по Российской Федерации (a_0 – коэффициент); Y_{1-5} – значения урожайности по федеральным округам в отклонениях от среднего значения (1 – ЦФО, 2 – ПФО, 3 – ЮФО, 4 – СКФО, 5 – СФО); a_{1-5} – коэффициенты.

Необходимо отметить, что для расчета урожайности по Сибирскому федеральному округу использовалась урожайность по Алтайскому краю, где сосредоточены основные

площади возделывания подсолнечника (до 95–96 % от площади в целом по этому округу). Урожайность по округу практически индентична урожайности по Алтайскому краю. В других субъектах округа подсолнечник на семена практически не возделывается.

Разработанная нами регрессионная модель для прогнозов по Алтайскому краю аналогична моделям, приведенным на рисунке.

Авторские испытания разработанной модели, проведенные по независимым данным в Алтайском крае (за 2019, 2020, 2021 гг.), показали хорошую оправдываемость (88–91 %); оправдываемость инерционного и климатического метода за эти годы была ниже на 2–3 %.

Производственные испытания метода в субъектах европейской части России на независимых материалах за 2019, 2020 и 2021 гг. проводились в оперативных подразделениях УГМС Республики Татарстан, Башкирского, Приволжского, Северо-Кавказского, Крымского и Центрально-Черноземного УГМС, а также авторские испытания на зависимых (2001–2018 гг.) и независимых (2019–2021 гг.) материалах в Гидрометцентре России. Оценка качества (успешности) разработанного метода прогноза урожайности подсолнечника проводилась в соответствии с требованиями [2, 4]; основные результаты представлены в табл. 1 и 2.

Таблица 1

Оправдываемость (%) прогнозов урожайности семян подсолнечника в субъектах за период авторских испытаний по зависимым (2001–2018 гг.) и производственных испытаний по независимым (2019–2021 гг.) данным

№	Субъект РФ	Оправдываемость, %			
		Испытываемый метод		Инерционный метод	Климатический метод
		I	II		
1	Белгородская область	90	92	86	90
2	Воронежская область	93	94	85	89
3	Курская область	91	93	87	89
4	Липецкая область	92	92	88	89
5	Орловская область	93	94	88	89
6	Тамбовская область	80	81	84	87
Средняя по ЦФО		90	91	86	89
1	Ставропольский край	84	90	80	86
2	Кабардино-Балкарская Республика	94	90	91	90
3	Карачаево-Черкесская Республика	80	86	78	83
Средняя по СКФО		86	89	83	86
1	Краснодарский край	92	89	80	92
2	Ростовская область	91	92	77	90
3	Волгоградская область	92	94	87	92
4	Республика Калмыкия	78	87	67	80
5	Республика Крым	81	79	55	82
Средняя по ЮФО		87	88	73	87

№	Субъект РФ	Оправдываемость, %			
		Испытываемый метод		Инерционный метод	Климатический метод
		I	II		
1	Саратовская область	89	93	87	90
2	Самарская область	89	90	87	91
3	Оренбургская область	90	91	87	90
4	Пензенская область	94	93	85	85
5	Ульяновская область	91	91	81	88
6	Республика Татарстан	93	95	92	88
7	Республика Башкортостан	93	94	89	89
Средняя по ПФО		91	93	87	90

Как следует из табл. 1, оправдываемость испытываемого метода для первого срока составления прогноза (I) в среднем по субъектам Центрального, Южного, Северо-Кавказского и Приволжского федеральных округов составила от 86 до 91 %, для второго срока (II) составления прогноза – от 88 до 93 %. Оправдываемость инерционного прогноза составила в Центральном, Северо-Кавказском и Приволжском федеральных округах 83–87 %, т. е. на 3–4 % ниже, чем по разработанному методу. При этом в республиках Крым и Калмыкия инерционный прогноз не оправдался (оправдываемость 55–67 %), а в среднем по Южному округу оправдываемость составила 73 %. Оправдываемость климатического прогноза составила в среднем 86–90 %, т. е. на 2–4 % ниже, чем по разработанному методу.

Относительные ошибки прогнозов по результатам производственных испытаний в оперативных подразделениях шести указанных выше УГМС на независимых данных за 2019–2021 гг. для первого и второго сроков прогнозов заметно различались (табл. 2).

Так, небольшие ошибки (от 1,9 до 13 %) в первый срок составления прогноза наблюдались в 42 годослучаях (или 67 %) от всех составленных в субъектах прогнозов за 2019–2021 гг.; в 21 годослучае (или 33 %) ошибки превышали 13 %, из них в 4 годослучаях составили от 21,3 до 25,1 %. Такие ошибки были в Республике Калмыкия (2020 г.), Республике Крым (2019, 2020 гг.) и Карачаево-Черкесской Республике (2020 г.). Основной причиной снижения оправдываемости был недоучет засушливых условий [5].

В прогнозах второго срока небольшие ошибки (от 0,8 до 13 %) наблюдались в 46 годослучаях, или 73 % от всех составленных (63) прогнозов, т. е. хороших прогнозов было больше, чем в прогнозах первого срока, а ошибки более 13 % составляли 27 % (т. е. на 6 % ниже, чем для первого срока прогноза). Причем большая ошибка (21,7 %) была только в одном годослучае (в 2019 г. в Республике Крым). Таким образом, можно констатировать, что успешность прогнозов второго срока составления оказалась несколько больше, чем для прогнозов первого срока составления.

**Результаты производственных испытаний
метода прогноза урожайности семян подсолнечника по субъектам европейской части
и России в целом с заблаговременностью 3–3,5 месяца**

Субъект федерации	Год испытания	Уфакт (ц/га)	I прогноз			II прогноз		
			Упрогн. (ц/га)	Ошибка отн. (%)	Опр-ть (%)	Упрогн. (ц/га)	Ошибка отн. (%)	Опр-ть (%)
ЦФО								
Белгородская область	2019	31,6	27,6	12,6	87,4	27,8	12,0	88,0
	2020	29,3	25,7	12,2	87,8	28,7	1,9	98,1
	2021	26,0	28,5	9,7	90,3	28,5	9,3	90,7
Воронежская область	2019	28,6	28,0	1,9	98,1	25,3	11,5	88,5
	2020	23,9	24,5	2,5	97,5	25,3	5,8	94,2
	2021	22,2	26,1	17,6	82,4	25,6	15,3	84,7
Курская область	2019	29,9	26,2	12,2	87,8	27,0	9,7	90,3
	2020	28,1	26,2	6,9	93,1	27,5	2,3	97,7
	2021	24,9	28,1	12,8	87,2	28,3	14,0	86,0
Липецкая область	2019	26,7	24,0	10,1	89,9	24,5	8,4	91,6
	2020	25,6	23,9	6,6	93,4	23,1	9,7	90,3
	2021	22,4	25,1	11,9	88,1	24,9	11,2	88,8
Орловская область	2019	27,0	25,7	4,9	95,1	27,4	1,4	98,6
	2020	27,6	25,0	9,5	90,5	26,3	4,6	95,4
	2021	25,0	27,3	9,3	90,7	27,3	9,2	90,8
Тамбовская область	2019	24,3	25,8	6,2	93,8	27,8	14,6	85,4
	2020	22,1	25,5	15,5	84,5	25,6	15,9	84,1
	2021	22,1	26,0	17,6	82,4	25,9	17,0	83,0
СКФО								
Ставропольский край	2019	17,0	19,5	14,8	85,2	18,0	5,7	94,3
	2020	12,8	15,3	19,5	80,5	13,6	6,2	94,8
	2021	18,9	20,6	9,2	90,8	20,4	8,1	91,9
Республика Кабардино-Балкария	2019	18,4	18,7	18,7	81,3	17,7	4,0	96,0
	2020	20,9	19,1	3,1	96,9	16,9	19,3	80,7
	2021	23,5	21,4	12,1	87,9	21,4	9,0	91,0
Республика Карачаево-Черкессия	2019	18,5	16,5	10,8	89,2	17,2	7,0	93,0
	2020	13,5	16,9	25,2	74,8	15,9	18,0	82,0
	2021	20,8	17,7	14,9	85,1	17,6	15,0	85,0
ЮФО								
Краснодарский край	2019	25,1	23,0	8,4	91,6	21,8	13,2	86,8
	2020	19,9	22,9	14,9	85,1	22,7	14,3	85,7
	2021	24,2	22,6	6,7	93,3	21,9	9,5	90,5
Ростовская область	2019	24,6	22,7	7,7	92,2	21,34	13,3	86,7
	2020	18,8	21,6	14,9	85,1	20,68	10,0	90,0
	2021	22,1	22,2	0,5	99,5	21,90	0,9	99,1
Волгоградская область	2019	17,9	15,0	16,5	83,5	15,6	12,9	87,1
	2020	15,3	15,7	2,4	97,6	15,1	1,5	98,5
	2021	15,0	16,0	7,0	93,0	15,6	4,0	96,0
Республика Калмыкия	2019	14,1	12,3	12,8	87,2	12,7	10,2	89,8
	2020	15,3	12,1	20,9	79,1	14,1	7,8	92,2
	2021	17,9	15,2	15,3	84,7	14,6	18,7	81,3
Республика Крым	2019	12,1	9,2	24,0	76,0	9,4	21,9	78,1
	2020	8,7	10,8	24,3	75,7	10,0	14,9	85,1
	2021	14,3	13,8	3,6	96,4	17,4	21,7	78,3

Субъект федерации	Год испытания	Уфакт (ц/га)	I прогноз			II прогноз		
			Упрогн. (ц/га)	Ошибка отн. (%)	Опр-ть (%)	Упрогн. (ц/га)	Ошибка отн. (%)	Опр-ть (%)
ПФО								
Саратовская область	2019	15,6	12,7	18,7	81,3	13,4	14,3	85,7
	2020	12,3	12,7	3,1	96,9	11,5	6,3	93,7
	2021	11,9	13,3	12,1	87,9	12,4	4,2	95,8
Самарская область	2019	16,7	13,8	17,5	82,5	13,8	17,3	82,7
	2020	13,1	13,5	2,7	97,3	13,6	4,0	96,0
	2021	13,6	14,5	6,8	93,2	13,9	2,4	97,6
Оренбургская область	2019	12,8	10,3	19,5	80,5	10,6	17,6	82,9
	2020	10,6	10,9	2,8	97,2	10,2	3,7	96,3
	2021	9,7	11,0	13,8	86,2	10,5	8,2	91,8
Пензенская область	2019	19	18,1	4,8	95,2	17,1	7,5	92,5
	2020	19,2	18,2	5,3	94,7	17,0	11,3	88,7
	2021	17,6	19,5	11,0	89,0	19,5	10,5	89,5
Ульяновская область	2019	16,3	14,1	13,8	86,2	14,1	13,7	86,3
	2020	12,8	14,0	9,0	91,0	14,0	9,5	90,5
	2021	14,5	15,5	7,2	92,8	15,6	7,3	92,7
Республика Татарстан	2019	15,3	12,9	15,6	84,4	14,1	7,8	92,2
	2020	14,3	12,8	10,5	89,5	13,0	9,2	90,8
	2021	14,2	13,0	8,8	91,2	13,0	8,4	91,6
Республика Башкортостан	2019	14,3	12,9	9,7	90,3	14,1	1,3	98,7
	2020	13,9	12,8	7,9	92,1	13,0	6,6	93,4
	2021	12,3	13,0	5,3	94,7	13,0	5,8	94,2
Российская Федерация	2019	18,3	18,2	0,5	100			
	2020	15,9	15,9	0,6	99,4			
	2021	16,2	16,2	1,3	98,8			

Экспериментальная проверка разработанного метода прогноза урожайности подсолнечника в целом для России проводилась в Гидрометцентре России по независимым материалам за 2019–2021 гг. Результаты ее (табл. 2) свидетельствуют о хорошей работоспособности метода, оправдываемость метода составила 99–100 %.

Рекомендации о внедрении

При рассмотрении результатов испытания разработанного метода прогноза урожайности семян подсолнечника Центральная методическая комиссия по гидрометеорологическим и гелиогеофизическим прогнозам (ЦМКП) Росгидромета рекомендует:

– внедрить метод прогноза урожайности семян подсолнечника по субъектам европейской части и России в целом с заблаговременностью 3–3,5 месяца в ФГБУ «Гидрометцентр России» в качестве основного метода;

– в соответствии с решениями Технических советов УГМС использовать метод для составления прогноза урожайности семян подсолнечника в качестве основного метода в

субъектах на территории деятельности Башкирского, Приволжского Крымского, Центрально-Черноземного УГМС, УГМС Республики Татарстан и Северо-Кавказского УГМС (Волгоградская, Ростовская области, Краснодарский, Ставропольский края, Кабардино-Балкарская Республика).

– в соответствии с решениями Технических советов УГМС использовать метод для составления прогноза урожайности семян подсолнечника в качестве вспомогательного метода в Карачаево-Черкесской Республике и Республике Калмыкия (Северо-Кавказское УГМС).

Список литературы

1. Вильфанд Р.М., Страшная А.И., Береза О.В. О динамике агроклиматических показателей условий сева, зимовки и формирования урожая основных зерновых культур // Труды Гидрометцентра России. – 2016. – Вып. 360. – С. 45–78.

2. Инструкция по оценке оправдываемости агрометеорологических прогнозов. – М.: Гидрометеиздат, 1983. – 7 с.

3. Методические указания по составлению прогноза урожайности семян подсолнечника по субъектам европейской части России (проект). – М., 2020. – 29 с.

4. РД 52.27.284-91. Методические указания. Проведение производственных (оперативных) испытаний новых и усовершенствованных методов гидрометеорологических и гелиографических прогнозов. – М.: Гидрометеиздат, 1991. – С. 98–107.

5. Страшная А.И., Береза О.В., Кланг П.С. Агрометеорологические условия и прогнозирование урожайности семян подсолнечника в Центральном федеральном округе // Труды Гидрометцентра России. – 2019. – № 3 (373). – С. 121–138.

6. Страшная А.И., Береза О.В., Тищенко В.А. Влияние агрометеорологических условий на урожайность семян подсолнечника в Южном федеральном округе // Труды Гидрометцентра России. – 2017. – Вып. 364. – С. 203–219.

3. Страшная А.И., Богомолова Н.А., Тищенко В.А., Павлова К.И., Тебурев Х.Х. Агрометеорологические условия и прогнозирование урожайности семян подсолнечника в Приволжском федеральном округе // Труды Гидрометцентра России. – 2016. – Вып. 359. – С. 142–160.

8. Уланова Е.С., Страшная А.И. Засухи в России и их влияние на урожайность зерновых культур // Труды ВНИИСХМ. – 2000. – Вып. 33. – С. 64–83.