

Тебуев Х. Х., Бисчоков Р.М.
TebuevKh.Kh., Bischokov R.M.

**К ВОПРОСУ СОЗДАНИЯ НЕЧЕТКО-ЛОГИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ
УРОЖАЙНОСТИ ПОДСОЛНЕЧНИКА В КБР
ON THE ISSUE OF CREATING A FUZZY-LOGICAL MODEL OF
SUNFLOWER YIELD IN THE CBD**

С повышением урожайности (за счет высокоурожайных и высокомасличных гибридов), новой технологии (в том числе с нулевой обработки почвы) возрастает и роль агрометеорологических условия, следовательно, возрастает и актуальность прогноза урожайности сельскохозяйственных культур. На примере подсолнечника, рассматриваются подходы к созданию нечетко-логической модели урожайности сельскохозяйственных культур в КБР. Влияние одних и тех же метеофакторов на урожайность подсолнечника неодинаково по периодам и фазам вегетации растений. Поэтому были опрделены оптимальные значения температуры, осадков и увлажнения почвы по периодам и фазам развития, которые должны обеспечить и максимум.

Качественную оценку урожайности на перспективу можно сделать по результатам периодов цикличности урожайности подсолнечника.

Отметим, что для любого хозяйства, да и страны в целом, долгосрочные прогнозы урожайности имеют исключительное экономическое значение, особенно, при планировании фьючерских сделок. Данная нечетко-логическая схема прогноза подсолнечника может применяться и для других культур и территории при наличии достаточно длинных ($\gg 18$) рядов урожайности, метеорологических данных и сопряженных фенологических характеристик.

Дается методика прогноза урожайности на несколько «шагов» вперед (аппроксимируя трендовую составляющую Y_t . временных рядов урожайности (для этого обычно используют линейные уравнения), а случайные отклонения от него $\Delta Y_p^i(t_i)$ рассчитывать на основании прогностических значения природно-климатических характеристик, которые даны в работе [1] для Северного Кавказа).

With increasing yields (due to high-yielding and high-oil hybrids), new technology (including from zero tillage), the role of agrometeorological conditions increases, therefore, the relevance of crop yield forecast increases. As the example of sunflower approaches to the creation of a fuzzy-logical model of crop yields in the KBR are considered. The influence of the same meteorofactors on the yield of sunflower is not the same over the periods and phases of the vegetation of plants. Therefore, optimal values of temperature, precipitation and soil moistening were established for the periods and phases of development, which should ensure a maximum.

A qualitative assessment of the yield for the future can be made from the results of periods of cyclical yields of sunflower.

Note that for any farm, and the country as a whole, long-term yield forecasts are of exceptional economic importance, especially when planning futures deals. This fuzzy-logical scheme of sunflower forecasting can also be used for other crops and territories if there are sufficiently long ($\gg 18$) yield series, meteorological data and related phenological characteristics.

A method of forecasting yields a few "steps" ahead (approximating the trend component Y_t . Of time series yields (linear equations are usually used for this)), and random deviations from it

$\Delta Y_p^j(t_i)$ are calculated based on the predictive values of climatic characteristics, which are given in [1] for the North Caucasus).

Ключевые слова: тренд, цикличность, фенология, органогенез, функции распределения, экстраполяция, фьючерские сделки.

Key words: trend, cyclicity, phenology, organogenesis, distribution functions, extrapolation, futures transactions.

Тебуев Хызыр Хасанович – кандидат географических наук, доцент кафедры природообустройства, ФГБОУ ВО «Кабардино-Балкарский ГАУ, Нальчик

Тел.: 8-962-650-13-23

E-mail: senta48@mail.ru

Бисчоков Руслан Мусарбиевич – кандидат экономических наук, доцент кафедры высшей математики и информатики, ФГБОУ ВО «Кабардино-Балкарский ГАУ, Нальчик

Тел.: 8-960-423-89-23

E-mail: rusbis@mail.ru

Tebuev Khyzyr Khasanovich – Candidate of Geographical Sciences, Associate Professor of the Department of Nature Management, FSBEI HE "Kabardino-Balkaria State Agrarian University, Nalchik

Bischokov Ruslan Musarbievich – Candidate of Economic Sciences, Associate Professor of the Department of Higher Mathematics and Computer Science, FSBEI HE "Kabardino-Balkarian State Agrarian University, Nalchik

В агрометеорологии принято считать, что урожайность сельскохозяйственных культур определяется агротехникой и агрометеорологическими условиями.

$$Y_{\text{пр}} = Y_t + \Delta Y \quad (1),$$

где Y_t (тренд) отражающий агротехнические мероприятия при возделывании подсолнечника. Включает в себя качество семян (посадочного материала), уход за растениями согласно фазам развития (соответственно, обработка почвы, внесение удобрений, борьба с вредителями и болезнями, соблюдение оптимальной структуры посевных площадей и севооборотов). В связи с внедрением инновационных технологий в сельскохозяйственное производство, в последние годы, угол наклона трендовой составляющей несколько повысился (спад наблюдался в постперестроечный период), а ΔY - которая характеризует изменчивость урожайности за счет вариации метеорологических показателей в течение вегетационного периода значительно возрос [7,9].

Как известно, каждая культура требует определенного сочетания агрометеорологических характеристик по периодам и фазам развития. Различными авторами выделяются 4 (иногда 5) основных периодов вегетации, отмечается также 12 (иногда 10) основных фаз развития у подсолнечника. Мы будем придерживаться описанной П.Г. Семихненко классификации периодов развития [5], которая основана на выделенных Ф.М. Куперман этапах органогенеза этой культуры [4].

Влияние одних и тех же метеофакторов на урожайность подсолнечника неодинаково по периодам и фазам вегетации растений.

Оптимальные значения температуры, осадков и увлажнения почвы по периодам и фазам развития должны обеспечить и максимум ΔY . Тогда можно записать:

$$\Delta Y_{max} = f(T_{opt}, R_{opt}, W_{opt}) \quad (2).$$

Если T_i, R_i, W_i больше или меньше оптимальных значений, то

$$\Delta Y_i < \Delta Y_{max} \quad (3).$$

Осталось определить $T_{opt}, R_{opt}, W_{opt}$ для каждой культуры в органогенезе.

Для каждого месяца вегетации нами для подсолнечника найдены оптимальные сочетания T и R , и они приводятся в таблице 1.

Таблица 1 – Оптимальные, минимальные и максимальные температуры воздуха для вегетации подсолнечника.

Месяц вегетации	май	июнь	июль	август	сентябрь
T_{min}	12	14	15	13	14
T_{opt}	20	22	23	26	23
T_{max}	25	30	30	35	35

В работе [6] мы описали функции распределения ΔR_{j-1} между периодами $j-1$ и j через $\eta_{j-1}(T)$ и $\eta_{j-1}(F)$. Первая характеризуется температурными условиями, вторая – величиной транспирационной поверхности подсолнечника и выразили их в виде графиков приведенных на рис.1.

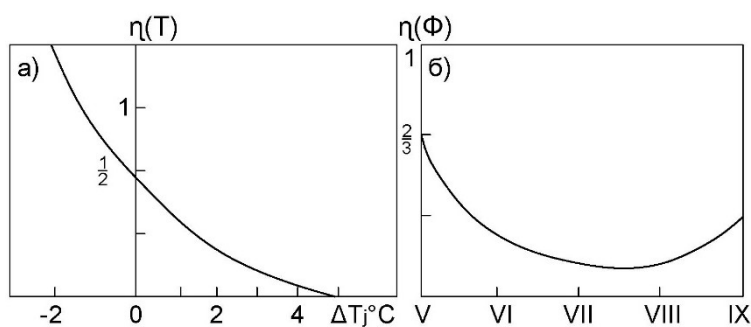


Рис.1. Функции распределения осадков в период вегетации подсолнечника. $\Delta T_j^{\circ}C = T_j - \bar{T}_j$

Также попытались определить сочетания T и R для оценки агрометеорологических условий формирования урожая подсолнечника. Получено, к примеру, что с наибольшей вероятностью в области температур $20-24^{\circ}$ и количества осадков $32-44$ мм в июне урожайность будет выше трендовой, т.е. $\Delta Y_i \gg 0$. Эти значения можно принять за оптимальные для подсолнечника на Северном Кавказе в июне (вклад в общую продуктивность подсолнечника будет максимальной) (рис.2).

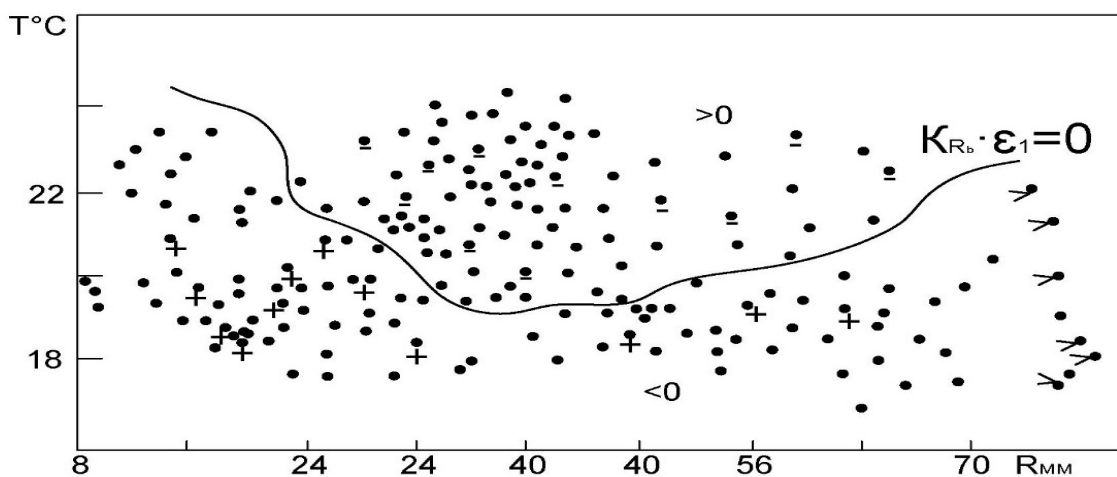


Рис.2. Совместное влияние температуры и осадков на продуктивность подсолнечника в июне

Такие же графики построены по всем месяцам вегетации.

Анализируя эти данные, можно заметить, что отклонения урожайности от тренда колеблются в пределах $1,2-4,0$ ц/га. Исследования показали, что наибольшие отклонения наблюдаются при малом количестве осадков ($R_i \leq 12$ –

32 мм) и низких температурах ($T_i, \leq 14 - 18^\circ$), а также при $R_i \geq 44-70$ мм и $T_i \leq 18-22^\circ$. Очевидно, в первом случае из-за недостаточной влагообеспеченности и низких температур, ограничивающих фотосинтетическую активность посевов, во втором – из-за обильных осадков (почвенная корка), высокой влажности воздуха (грибковые заболевания) и малой прямой радиации (много облачных дней). В отдельные годы наблюдается некоторое нивелирование отрицательного влияния одних агрометеорологических факторов компенсацией других характеристик. К примеру, повышенный фон температуры смягчается осадками, а недостаточное увлажнение – пониженным температурным режимом (уменьшается суммарное испарение).

По данным расчетов (на основании графиков построенных по всем месяцам (рис.1)) за оптимальную урожайность подсолнечника в КБР можно принять на богаре 32ц/га (из 10 лет число исполнений 10%), среднюю 17 ц/га ($Y_{\text{ср}} < Y_i < Y_{\text{опт}}$ - число исполнений 40-50%). $Y_i < Y_{\text{ср}}$ (число исполнений 20-30%).

С учетом изложенного, прогностические уравнения можно построить на основании модифицированных нами в работах [6,9] индексов Д.А. Педя и Н.А. Багрова,

$$P_i = \frac{\Delta T}{\sigma_T} - \frac{\Delta R}{\sigma_R} - \frac{\Delta E}{\sigma_E} \quad (4);$$

$$B_j = \frac{\Omega_j}{\bar{\Omega}_j}, \quad \text{где} \quad \Omega_j = R_j + \Delta R_{j-1} \eta_{j-1}(T) \eta_{j-1}(F) \quad (5)$$

и используя экстраполированные погодные условия из [1].

В работе [1] при прогнозировании природно-климатических характеристик использовалась, как и в [3] функция:

$$P(t) = p_0 + k_0 t + \sum_{i=1}^N (a_i \cos \frac{2\pi t}{T_i} + b_i \sin \frac{2\pi t}{T_i}) \quad (6),$$

При этом, $p_0 + k_0 t$ описывает в нашем случае трендовую составляющую. Исключив его из (4), попробуем по аналогии с [1] найти временные циклы (периоды T_i ($i=1, n$)) для ΔY_i . В этой работе для построения фазовых портретов ме-

теопараметров использовали интерполяцию кубическим сплайном. В работе [8] мы обосновали, что в КБР временные ряды урожайности более предпочтительно интерполировать методом гармонических весов.

В результате такой работы были получены цикличности $T_i \approx 4,7,11$ лет, что, как и следовало ожидать, близких к данным [1,2,3] т.к. цикличность природно-климатических характеристик в той или иной степени влияют на урожайность сельскохозяйственных культур.

Если весь период временных рядов урожайности подсолнечника разделить на периоды цикличности и на основании этого просмотреть ход $\Delta Y(t_i)$, где t_i , - номер года в циклическом ряду, в первом случае равен 1-4, во втором 1-7, в третьем 1-11, и рассчитать:

$$\Delta Y_{\phi}^j(t_i) - \Delta Y_p^j(t_i) = \varepsilon^j, (j=4,7,11), \text{ то получим } \varepsilon^{11} < \varepsilon^4 < \varepsilon^7. \quad (7)$$

Для условий КБР можно придерживаться 7-летней цикличности, но (7) говорит о том, что при различных складывающихся условиях или для различных районов возделывания подсолнечника предпочтительный выбор периодов цикличности может несколько меняться. Некоторое нарушение (7), наблюдалось за период 1992-1998 гг. Это может быть связано с нарушением технологии возделывания культуры в эти годы. Нами ранее отмечалось, что чем выше урожайность, тем значительнее отклонение ΔY от Y_t .

Таким образом, прогнозировать урожайность (1) на несколько «шагов» вперед можно аппроксимируя трендовую составляющую Y_t . временных рядов урожайности (для этого обычно используют линейные уравнения), а случайные отклонения от него $\Delta Y_p^j(t_i)$ рассчитывать на основании прогностических значения природно-климатических характеристик, которые даны в работе [1] для Северного Кавказа.

Если шаг экстраполяции один год, можно для прогноза $\Delta Y_p^j(t_i)$ воспользоваться уравнениями, которые приводятся в таблице 1.

Таблица 2 – Уравнения регрессии для первого шага и коэффициенты предикторов для последующих этапов прогноза [8].

Территория	ΔY на начало сева	Коэффициенты предикторов				
		май	июнь	июль	август	сентябрь
КБР	$0.146-0.538P_i$	-0.953	-0.893	0.653	0.098	0.071

Качественную оценку урожайности на перспективу можно сделать по результатам периодов цикличности урожайности подсолнечника. Отметим, что для любого хозяйства, да и страны в целом, долгосрочные прогнозы урожайности имеют исключительное экономическое значение, особенно, при планировании фьючерских сделок. Данная нечетко-логическая схема прогноза подсолнечника может применяться и для других культур и территории при наличии достаточно длинных ($\gg 18$) рядов урожайности, метеорологических данных и сопряжённых фенологических характеристик.

Предлагаемая методика построения нечетко-логических схем прогнозирования урожайности очень упрощённая. Для более полной реализации данной задачи необходимо учесть достаточно большое количество входных данных, так или иначе связанных (прямо или косвенно) с интегральным показателем - урожаем. Это и широта местности (долгота дня, орография, климатические характеристики), число часов солнечного сияния (ФАР), общая циркуляция атмосферы (связанные с ней характеристики погоды), почвы (структура, гумус, содержание элементов питания и т.д.), соответствие требованиям культур в севообороте режиму питания, увлажнения, температурным характеристикам территории возделывания, качество семенного материала, наличие удобрений, гербицидов, ядохимикатов, парк соответствующей техники и квалифицированных кадров механизаторов и т.д.

Литература

1. Ашабоков Б.А., Бисчоков Р.М., Жеруков Б.Х., Калов Х.М. Анализ и прогноз климатических изменений режима осадков и температуры воздуха в различных климатических зонах Северного Кавказа. - Нальчик 2008

2. Бабков Г.А. Плодородие почв, интенсификация производства, урожайность сельскохозяйственных культур, elibrary_18736678_93422982
3. Болин Б.В. Климат и наука, знание и понимание, необходимые для действия в условиях неопределенности.//Тезисы докладов Всемирной конференции по изменению климата. Москва,29 сентября-3 октября 2003-С9-13.
4. Куперман Ф.М. Морфофизиологическая изменчивость растений в онтогенезе. - М. Изд. МГУ 1963.-64с.
5. Семихненко Л.Г. и др. Подсолнечник. М.:Колос. 1965.295с.
6. Тебуев Х.Х. Модель поэтапной оценки агрометеорологических условий и прогноза урожайности семян подсолнечника //Метеорология и гидрология-1991 №5.С95-100.
7. Тебуев Х.Х. Исследования влияния агрометеорологических условий на качество семян подсолнечника и пути прогнозирования масличности.- Известия КБГАУ. 2019, №1
8. Тебуев Х.Х. Метод долгосрочного прогноза урожайности семян подсолнечника. - Метеорология и гидрология, 1989, № 6.
9. Тебуев Х.Х. Моделирование влияния агрометеорологических условий на формирование продуктивности подсолнечника. - Метеорология и гидрология, 1988, № 10

References

1. Ashabokov B.A.,Bischokov R.M.,ZHerukov B.H.,Kalov H.M. Analiz i prognoz klimaticheskih izmeneii rezhima osadkov i temperatury vozduha v razlichnyh klimaticheskih zonah Severnogo Kavkaza.-Nal'chik 2008
2. Babkov G.A. Plodorodie pochv, intensivikaciya proizvodstva, urozhajnost' sel'skohozyajstvennyh kul'tur, elibrary_18736678_93422982
3. Bolin B.V. Klimat i nauka, znanie i ponimanie, neobhodimye dlya dejstviya v usloviyah neopredelennosti.//Tezisy dokladov Vsemirnoj konfe-rencii po izmene-niyu klimata. Moskva,29 sentyabrya-3 oktyabrya 2003-S9-13.
4. Kuperman F.M. Morfofiziologicheskaya izmenchivost' rastenij v ontogeneze. - M. Izd. MGU 1963.-64s.
5. Semihnenko L.G. i dr. Podsolnechnik. M.:Kolos. 1965.295s.
6. Tebuev H.H. Model' poehtapnoj ocenki agrometeorologicheskikh uslo-vij i prognoza urozhajnosti semyan podsolnechnika //Meteorologiya i gidrologiya-1991 №5.S95-100.
7. Tebuev H.H. Issledovaniya vliyaniya agrometeorologicheskikh uslovij na kachestvo semyan podsolnechnika i puti prognozirovaniya maslichnosti.- Iz-vestiya KBGAU. 2019, №1
8. Tebuev H.H. Metod dolgosrochnogo prognoza urozhajnosti semyan podsolnechnika. - Meteorologiya i gidrologiya, 1989, № 6.
9. Tebuev H.H. Modelirovanie vliyaniya agrometeorologicheskikh uslovij na formirovanie produktivnosti podsolnechnika. - Meteorologiya i gidrologiya, 1988, № 10