

ПОСТРОЕНИЕ ФОРМУЛ ПРОГНОЗА БОЛЕЗНЕЙ РАСТЕНИЙ НА ОСНОВЕ ГРАНИЧНЫХ ЗНАЧЕНИЙ ФАКТОРОВ ПОГОДЫ

**В. В. Чекмарёв, Ю. В. Зеленева,
Э. А. Конькова, А. В. Козачек**

*Среднерусский филиал ФГБНУ «ФНЦ им. И. В. Мичурина»,
п. Новая Жизнь, Тамбовский р-н, Тамбовская обл., Россия;
ФГБОУ ВО «Тамбовский государственный университет
им. Г. Р. Державина», г. Тамбов, Россия;
ФГБНУ «Научно-исследовательский институт сельского
хозяйства Юго-Востока», г. Саратов, Россия;
ФГБОУ ВО «Тамбовский государственный технический
университет», г. Тамбов, Россия*

Рецензент д-р биол. наук, доцент В. В. Михайлов

Ключевые слова: болезни растений; бурая ржавчина; граничные значения; индекс погоды; озимая пшеница; прогноз; факторы погоды; формула.

Аннотация: Изучено влияние погодных условий на развитие возбудителя бурой ржавчины озимой пшеницы. Использован новый подход, основанный на применении граничных факторов погоды, которые рассчитывались за годы эпифитотий и депрессии заболевания. При построении соотношений – вероятных формул прогноза использованы суммы граничных или близких к ним значений погодных факторов (и числа дней с этими значениями). Согласно формулам, рассчитаны индексы погоды X . Критерием отбора наиболее перспективных формул служила величина коэффициента корреляции (близкая к 0,850 и выше), отражающая связь индекса погоды с развитием заболевания. Для формул определены пороговые значения индексов погоды (5,23; 1,11 и 1,86), при которых отмечено сильное или умеренное развитие возбудителя бурой ржавчины озимой пшеницы.

Чекмарёв Виктор Валентинович – кандидат сельскохозяйственных наук, заведующий лабораторией патофизиологии, Среднерусский филиал ФГБНУ «ФНЦ им. И. В. Мичурина», п. Новая Жизнь, Тамбовский р-н, Тамбовская обл., Россия; Зеленева Юлия Витальевна – кандидат сельскохозяйственных наук, доцент кафедры медицинской биологии с курсом инфекционных болезней, e-mail: zelenewa@mail.ru, ФГБОУ ВО «Тамбовский государственный университет им. Г. Р. Державина», г. Тамбов, Россия; Конькова Эльмира Александровна – кандидат сельскохозяйственных наук, старший научный сотрудник лаборатории иммунитета растений, ФГБНУ «Научно-исследовательский институт сельского хозяйства Юго-Востока», г. Саратов, Россия; Козачек Артемий Владимирович – кандидат педагогических наук, доцент, и. о. заведующего кафедрой «Природопользование и защита окружающей среды», ТамбГТУ, г. Тамбов, Россия.

Введение

В настоящее время для прогноза болезней растений часто используются метеопатологический и метеобиологический методы [1, 2, 3]. Метеобиологический метод отличается большей точностью, так как учитываются факторы погоды, оказывающие непосредственное влияние на развитие возбудителя заболевания или растение-хозяина. Но данный метод имеет некоторые недостатки. Главным является тот факт, что полученная формула прогноза оказывается справедливой лишь для того пункта наблюдения, по данным которого она составлена (многолетние результаты метеонаблюдений и учетов заболевания). На другом пункте, в пределах той же климатической зоны или области данная формула оказывается неприменимой. По этой причине существует необходимость совершенствования метеобиологического метода прогноза, в частности, построения формул, пригодных для прогноза болезней растений на достаточно большой территории. Цель исследований – изучение зависимости развития ржавчинных заболеваний зерновых культур от погодных условий и возможности получения общих, универсальных формул прогноза, применимых на территории Тамбовской области. В данной работе освещены вопросы прогноза бурой ржавчины озимой пшеницы. Представленный способ составления прогностических формул на основе граничных факторов погоды может быть использован в отношении других болезней растений. Впервые математическое соотношение с граничным фактором погоды ($\sum t > 10\text{ }^\circ\text{C}$ – формула гидротермического коэффициента (ГТК)) получено Г. Т. Селяниновым в 1928 году [4]. В наших исследованиях корреляционная связь ГТК с развитием возбудителя бурой ржавчины находилась на уровне 0,502...0,768. Но данные величины оказались недостаточно высокими для составления прогноза, поэтому необходимо продолжить исследования в направлении поиска новых формул.

Материалы и методы

В качестве материалов исследования использовались годовые отчеты госсортоучастков (ГСУ) Тамбовской области о сортоиспытании озимой пшеницы и метеорологические отчеты. Для составления прогноза развития бурой ржавчины озимой пшеницы в 2005 – 2015 гг. взяты данные Тамбовской метеостанции, результаты собственных наблюдений и учетов интенсивности поражения растений этим заболеванием. При проведении математических расчетов применялись методы, изложенные в работе [3]. Вычисления проводились с использованием компьютерной техники и программы Excel.

Результаты исследований

В данной работе из-за большого объема вычислений отражены лишь конечные результаты. Полностью материалы исследований представлены в монографии [5]. Рассмотрим главные этапы. Первое, что необходимо

выяснить, – какие факторы погоды, согласно литературным данным, оказывают наибольшее влияние на развитие заболевания. В случае с возбудителем бурой ржавчины – факторы увлажнения и температуры. Для развития данного заболевания необходимо наличие капельно-жидкой влаги на растениях и определенная температура воздуха. Следовательно, возможно выбрать такие факторы погоды, как сумма осадков, относительная средняя или минимальная влажность воздуха и его среднесуточная температура. Далее определяли период времени, когда вышеназванные факторы оказывают наибольшее влияние на развитие патогена. Проводилось вычисление коэффициентов корреляции R за месяцы года. Возможен также расчет по декадам, с последующим их суммированием и новым вычислением коэффициента корреляции. Данный показатель отражает связь развития заболевания с погодными условиями периода. Период времени, где цифровое значение коэффициента корреляции находилось на уровне 0,5 и выше выбирали для дальнейшего исследования. При изучении влияния факторов погоды на развитие возбудителя бурой ржавчины озимой пшеницы такими периодами оказались май, июнь и июль. С целью составления прогноза выбран более ранний период – май месяц. За данный период по трем пунктам наблюдения (госсортоучасткам Тамбовской области) проводилась выборка количества осадков ΣO , средних величин относительной минимальной влажности воздуха B_{cp} и его среднесуточной температуры t в годы эпифитотий и депрессии бурой ржавчины. Рассчитывали их средние значения, которые условно определены как граничные факторы погоды (табл. 1).

Таблица 1

Граничные значения факторов погоды за май месяц в годы эпифитотий и депрессии бурой ржавчины озимой пшеницы на госсортоучастках Тамбовской области

Сортоучасток	Средние значения погодных факторов за май месяц на госсортоучастках Тамбовской области за 1971 – 1991 гг. в годы эпифитотий/депрессии бурой ржавчины		
	ΣO , мм	B_{cp} , %	t , °C
Тамбовский	53,8/28,1	44/33	12,6/15,6
Кирсановский	66,6/31,0	49/35	12,1/15,0
Староюрьевский	57,6/28,0	51/37	11,4/14,9
Среднее по трем ГСУ, граничные значения	59,3/29,0	48/35	12,0/15,2
Среднее количество осадков (из расчета на каждые сутки периода 31 сутки), граничные значения	1,9/0,9	–	

Для дальнейших расчетов отбирались близкие к граничным факторам цифровые значения. Были выбраны следующие показатели: осадки (O) – их общее количество и $O \geq 2$ мм, относительная минимальная влажность воздуха – $B \geq 40\%$, $B \geq 45\%$, $B \geq 50\%$ и его среднесуточная температура – $t \geq 10^\circ\text{C}$, $t \geq 15^\circ\text{C}$, $t \geq 20^\circ\text{C}$. Значение $t \geq 20^\circ\text{C}$ выбрано произвольно, с целью уточнения влияния этого фактора на развитие бурой ржавчины. В расчетах также использовались показатели общих сумм осадков, влажности и температуры воздуха.

На следующем этапе проводилось вычисление сумм граничных факторов погоды, числа дней (ЧД) с ними в течение выбранного периода (май месяц) и коэффициентов корреляции. В таблице 2 представлены средние значения вышеназванных показателей за годы эпифитотий и депрессии бурой ржавчины озимой пшеницы.

Таблица 2

Средние суммы и число дней с граничными факторами погоды за май месяц в годы эпифитотий и депрессии бурой ржавчины озимой пшеницы на ГСУ Тамбовской области (1971 – 1991 гг.)

Фактор погоды	Среднее по трем ГСУ (Тамбовский, Кирсановский, Староюрьевский)		Знак коэффициента корреляции (+, -)
	эпифитотия	депрессия	
Сумма осадков O , мм			
$\sum O$	59,3	29,0	+
$\sum O \geq 2$	54,6	26,8	+
Сумма относительной минимальной влажности воздуха B , %			
$\sum B$	1488	1086	+
$\sum B \geq 40$	1133	495	+
$\sum B \geq 45$	983	385	+
$\sum B \geq 50$	849	266	+
Сумма среднесуточных температур воздуха t , °C			
$\sum t$	374	470	-
$\sum t \geq 10$	305	437	-
$\sum t \geq 15$	129	310	-
$\sum t \geq 20$	13	102	-
Число дней			
с осадками (O)	14	6	+
$O \geq 2$ мм	8	4	+
$B \geq 40\%$	20	9	+
$B \geq 45\%$	16	7	+
$B \geq 50\%$	13	4	+
$t \geq 10^\circ\text{C}$	22	27	-
$t \geq 15^\circ\text{C}$	7	17	-
$t \geq 20^\circ\text{C}$	1	5	-

Согласно полученным результатам, значения граничных факторов погоды в годы эпифитотий и депрессии бурой ржавчины существенно отличались. По показателям погодных факторов, представленным в табл. 2, построены вероятные варианты прогностических формул. Номера формул обозначались как X1, X2, ... X39, где X – индекс погоды. При построении формул фактор погоды с положительным знаком коэффициента корреляции помещали в числитель, отрицательным – в знаменатель, например:

$$X1 = \frac{\sum O \cdot 10}{\sum t}; \dots, X16 = \frac{\sum B \geq 40 \%}{\sum t \geq 10 ^\circ\text{C}}; \dots, X39 = \frac{\text{ЧД}(B \geq 50 \%)}{\text{ЧД}(t \geq 20 ^\circ\text{C})+1}.$$

Всего составлено и проанализировано 39 формул, построенных на основе только сумм факторов погоды или числа дней с ними. Как видно из данных табл. 2, возможны и другие соотношения погодных факторов или их произведение. Следует отметить, что предлагаемый способ обладает многовариантностью. Но из множества полученных формул необходимо отобрать наиболее применимые.

Основой отбора формул служила величина коэффициента корреляции, которая должна быть близкой к 0,850 и выше на всех пунктах наблюдения (ГСУ). Поэтому на следующем этапе рассчитывали индексы погоды X, затем коэффициенты корреляции, отражающие связь индексов погоды с развитием бурой ржавчины. Из полученных формул только у трех (X17, X26 и X32) величина коэффициента корреляции соответствовала вышеназванному условию и составила 0,845...0,902. Проведенный ретроспективный анализ выбранных формул по данным 1971 – 1991 гг. показал удовлетворительные результаты – вероятность прогноза составила 80,0–86,7 %.

Следующий этап состоял в установлении пороговых значений индексов погоды, при определенном значении которых отмечено сильное развитие возбудителя бурой ржавчины. Проводилось сравнение величин индексов погоды и уровня поражения растений пшеницы бурой ржавчиной. Выбиралось минимальное значение индекса погоды, при котором наблюдалось сильное и умеренное развитие заболевания. Для возбудителя бурой ржавчины озимой пшеницы получены следующие формулы и величины пороговых индексов погоды:

$$X17 = \frac{\sum B \geq 40 \%}{\sum t \geq 15 ^\circ\text{C}} = 5,23;$$

$$X26 = \frac{\text{ЧД}(O)}{\text{ЧД}(t \geq 15 ^\circ\text{C})} = 1,11;$$

$$X32 = \frac{\text{ЧД}(B \geq 40 \%)}{\text{ЧД}(t \geq 15 ^\circ\text{C})} = 1,86.$$

В целях проверки полученных формул и пороговых индексов погоды составлен прогноз развития заболевания для Центральной части Тамбовской области на 2005 – 2015 годы (табл. 3). Группу интенсивности поражения пшеницы бурой ржавчиной определяли по шкале, представленной в работе [3]. Согласно данной шкалы, при депрессии (Д) заболевания уровень поражения растений составляет 0 – 32 %, умеренном (У) – 33–47 %, эпифитотии (Э) – 48–100 %. Эти показатели затем использовали в течение указанного периода при оценке реального фактического поражения расте-

Таблица 3

**Прогноз поражения озимой пшеницы
бурой ржавчиной согласно формул X17, X26 и X32
(Среднерусский филиал ФГБНУ Тамбовский НИИСХ)**

Год	Индексы погоды и группа интенсивности поражения бурой ржавчиной							
	по прогнозу						фактически	
	X17 (5,23)	группа	X26 (1,11)	группа	X32 (1,86)	группа	%	группа
2005	2,30	Д	0,42	Д	0,89	Д	25	Д
2006	4,39	Д	0,60	Д	1,40	Д	11	Д
2007	2,24	Д	0,59	Д	0,94	Д	0	Д
2008	6,58	Э (или У)	1,50	Э (или У)	2,20	Э (или У)	45	У
2009	2,49	Д	0,57	Д	0,86	Д	19	Д
2010	1,37	Д	0,28	Д	0,52	Д	0	Д
2011	1,27	Д	0,47	Д	0,40	Д	10	Д
2012	0,85	Д	0,17	Д	0,35	Д	36	У
2013	0,96	Д	0,37	Д	0,37	Д	6	Д
2014	1,11	Д	0,29	Д	0,46	Д	8	Д
2015	2,57	Д	0,47	Д	1,00	Д	4	Д

ний бурой ржавчиной в процентах. При составлении прогноза, согласно полученным формулам, депрессию в развитии заболевания определяли, когда величина индекса погоды за период находилась ниже порогового значения индекса погоды, эпифитотию или умеренное развитие – на его уровне и выше.

Как видно из полученных результатов, наблюдалось достаточно удовлетворительное совпадение прогноза с фактическим поражением пшеницы возбудителем бурой ржавчины. Сильное развитие данного заболевания отмечено в 2008 году. Прогноз, составленный по метеоданным мая месяца, практически совпал с реальным уровнем поражения растений – 45 %. Существенное расхождение ожидаемого развития болезни с фактическим по группе интенсивности отмечено в 2012 году, что связано со сдвигом периода заражения растений. В первых двух декадах мая складывались засушливые условия, а в третьей декаде и начале июня – благоприятные для развития ржавчины. Рассчитанный за этот период согласно формулы X17 индекс погоды превысил пороговое значение и составил 6,23. При складывающихся подобным образом погодных условиях индекс погоды следует рассчитывать как за весь период (май месяц), так и его часть. Данный вопрос освещен в опубликованных монографии и методике [5, 6]. В другие годы прогнозируемый уровень поражения растений озимой пшеницы бурой ржавчиной был близок к фактическому. Вероятность прогноза составила 92,8 % (10 лет совпадений из 11), что в целом подтвердило справедливость полученных формул. Следует отметить недостаток данного способа – согласно полученным индексам погоды возможны лишь два варианта прогноза: эпифитотия (или умеренное развитие) бурой ржавчины и депрессия заболевания. Преимуществом является применимость полученных формул на достаточно значительной территории Тамбовской области.

Выводы

Использование граничных значений факторов погоды позволило выявить определенные закономерности развития возбудителя бурой ржавчины озимой пшеницы в зависимости от погодных условий. Составлен ряд вероятных формул прогноза, из которых методом корреляционного анализа отобраны три (X17, X26, X32), в наибольшей степени отражающие связь развития заболевания с факторами погоды. Они основаны на соотношении сумм граничных величин относительной минимальной влажности воздуха ($\sum B \geq 40\%$) и его среднесуточной температуры ($\sum t \geq 15^\circ\text{C}$), числа дней с этими факторами погоды – ЧД ($B \geq 40\%$) и ЧД ($t \geq 15^\circ\text{C}$), количества дней с осадками – ЧД(О) и ЧД ($t \geq 15^\circ\text{C}$). Определены пороговые значения индексов погоды, позволяющие составить краткосрочный прогноз бурой ржавчины озимой пшеницы на территории Тамбовской области. Для формулы X17 данный показатель составляет 5,23; X26 – 1,11 и X32 – 1,86. Применение данного способа может стать основой нового направления исследований в рамках метеобиологического метода прогноза.

Список литературы

1. Макарова, Л. И. Погода и болезни культурных растений / Л. А. Макарова, И. И. Минкевич. – Л. : Гидрометеиздат, 1977. – 144 с.
2. Методические указания по разработке долгосрочного и многолетнего прогнозов усыхания плодовых насаждений / М-во сел. хоз-ва СССР, Всесоюз. науч.-исслед. ин-т защиты растений ; авт. разработки: И. И. Минкевич. – Л. : [б. и.], 1968. – 32 с.
3. Степанов, К. М. Прогноз болезней сельскохозяйственных растений / К. М. Степанов, А. Е. Чумаков. – Л. : Колос, 1972. – 271 с.
4. Селянинов, Г. Т. О сельскохозяйственной оценке климата / Г. Т. Селянинов // Тр. по сельскому метеорологии. – 1928. – Вып. 20. – С. 169 – 178.
5. Чекмарев, В. В. Новый подход к составлению формул прогноза болезней сельскохозяйственных культур (на примере ржавчинных заболеваний зерновых культур) : монография / В. В. Чекмарев. – Тамбов : Принт-Сервис. – 2016. – 186 с.
6. Методика составления краткосрочного прогноза развития ржавчинных заболеваний зерновых культур (для условий Тамбовской области) / В. В. Чекмарев, [и др.]. – Тамбов : Изд. дом ТГУ им. Г. Р. Державина. – 2014. – 30 с.

References

1. Makarova L.I., Minkevich I.I. *Pogoda i bolezni kul'turnykh rastenii* [Weather and diseases of cultivated plants], Leningrad: Gidrometeoizdat, 1977, 144 p. (In Russ.)
2. *Metodicheskie ukazaniya po razrabotke dolgosrochnogo i mnogoletnego prognozov usykhaniya plodovykh nasazhdenii* [Methodical instructions for the development of long-term and multi-year forecasts for the drying of fruit plantations], Leningrad, 1968, 32 p. (In Russ.)
3. Stepanov K.M., Chumakov A.E. *Prognoz boleznei sel'skokhozyaistvennykh rastenii* [Prognosis of diseases of agricultural plants], Leningrad: Kolos, 1972, 271 p. (In Russ.)
4. Selyaninov G.T. [On Agricultural Climate Assessment], *Trudy po sel'skokhozyaistvennoi meteorologii* [Proceedings of Agricultural Meteorology], 1928, issue 20, pp. 169-178. (In Russ.)

5. Chekmarev V.V. *Novyi podkhod k sostavleniyu formul prognoza boleznei sel'skokhozyaistvennykh kul'tur (na primere rzhavchinnykh zabolevanii zernovykh kul'tur)* [A new approach to the formulation of formulas for the prediction of diseases of crops (on the example of rust diseases of cereals)], Tambov: Print-Servis, 2016, 186 p. (In Russ.)

6. Chekmarev V.V., Zeleneva Yu.V., Levin V.A., Firsov V.F., Yakunina I.V. *Metodika sostavleniya kratkosrochnogo prognoza razvitiya rzhavchinnykh zabolevanii zernovykh kul'tur (dlya uslovii Tambovskoi oblasti)* [A methodology for compiling a short-term forecast for the development of rusty diseases of cereals (for the conditions of the Tambov region)], Tambov: Izd. dom TGU im. G.R. Derzhavina, 2014, 30 p. (In Russ.)

Construction of Formulas for Plant Disease Prognosis Using Boundary Values of Weather Factors

**V. V. Chekmarev, Yu. V. Zeleneva,
E. A. Konkova, A. V. Kozachek**

*Srednerussky Branch of the I.V. Michurin Federal Research Center,
Novaya Zhizn, Tambov District, Tambov Region, Russia;
G. R. Derzhavin Tambov State University, Tambov, Russia;
Southeastern Research Institute of Agriculture, Saratov, Russia;
Tambov State Technical University, Tambov, Russia*

Keywords: boundary values; brown rust; forecast; formula; plant diseases; weather factors; weather index; winter wheat.

Abstract: The influence of weather conditions on the development of the causative agent of brown rust of winter wheat is studied. A new approach based on the use of boundary weather factors has been used. These factors were calculated during the years of epiphytoty and depression of the disease. The sums of the boundary or close to them values of weather factors (and the number of days with these values) were used to construct the relationships – probable prediction formulas. According to these formulas, weather indices (X) were calculated. The criterion for selecting the most promising formulas was the value of the correlation coefficient (close to 0.850 and higher), reflecting the relationship between the weather index and the development of the disease. Of the 39 ratios obtained, only three responded to these requirements. For these formulas, the threshold values of the weather indices (5.23, 1.11 and 1.86) were determined, under which a strong or moderate development of the brown rust exciter of winter wheat was noted. The prognosis of the disease, compiled according to these formulas and the threshold weather indices in 2005 – 2015, showed satisfactory results.

© В. В. Чекмарёв, Ю. В. Зеленева,
Э. А. Конькова, А. В. Козачек, 2017