

УДК 932.938.651

DOI: 10.31016/1998-8435-2018-12-2-95-103

Принципы и методы моделирования прогноза развития глободероза картофеля в зависимости от агрометеорологических условий

Александр Александрович Шестеперов¹,
Е. А. Лукьянова²

¹⁻²Всероссийский научно-исследовательский институт фундаментальной и прикладной паразитологии животных и растений им. К. И. Скрябина, 117218, Москва, ул. Б. Черемушкинская, д. 28; e-mail: shesteperv@vniigis.ru

Поступила в редакцию: 27.03.2018; принята в печать: 25.04.2018

Аннотация

Цель исследований: разработать вербальную, аналоговую, математическую модели прогноза развития глободероза картофеля в зависимости от агрометеорологических условий.

Материалы и методы. Проведен анализ отечественной и зарубежной литературы по вопросам эпифитотииологии, моделирования, а также обобщены имеющиеся литературные данные и собственные наблюдения по влиянию метеорологических условий на развитие глободероза картофеля. Для разработки вербальной, аналоговой, математической модели была использована база данных, полученных в г. Кондрово Калужской области. Из 40 опытных участков и делянок был выбран один, на котором в течение 1979–1993 гг. выращивали восприимчивый сорт Синеглазка. На участке со средним плодородием почвы плотность популяции нематоды колебалась от 14 900 до 27 300 (в среднем 20 600) яиц и личинок на 100 см² почвы. Развитие глободероза оценивали ежегодно в июле по шкале для наземной визуальной оценки поражения глободерозом растений картофеля в баллах.

В течение вегетационного периода проводили фенологические, фитосанитарные и фитогельминтологические учеты и наблюдения на опытном участке. Корреляционный и регрессивный анализ собранного материала был проведен с использованием компьютерной программы Microsoft Excel.

Результаты и обсуждение. С помощью корреляционного анализа были рассчитаны коэффициенты корреляции для метеорологических факторов, тесно связанных с развитием глободероза за 15 лет. Определены предикторы (среднесуточная температура, количество и число осадков) для краткосрочных прогнозов развития глободероза на посадках картофеля со средним уровнем плодородия. В результате регрессивного анализа получены математические модели прогноза развития глободероза в зависимости от агрометеорологических факторов. Достоверность математической модели, т. е. отличие расчетных данных от ретроспективных в среднем составляет 3,6%. Адекватность математической модели проверена на ретроспективных данных с использованием коэффициента корреляции между результатом прогноза развития глободероза и фактическими данными. Он равен 0,83. Оправданность прогноза варьирует от -36,8 до 35,6%.

Ключевые слова: глободероз, картофель, золотистая картофельная нематода, метеорологические факторы, прогностическое моделирование, математическая модель.

Для цитирования: Шестеперов А. А., Лукьянова Е. А. Принципы и методы моделирования прогноза развития глободероза картофеля от агрометеорологических условий // Российский паразитологический журнал. 2018. Т. 12. № 2. С. 95–103. <https://doi.org/10.31016/1998-8435-2018-12-2-95-103>.

© Шестеперов А. А., Лукьянова Е. А.

Principles and Methods of Modeling of Projected Growth of Potato Globoderosis Depending on Agrometeorological Conditions

Aleksandr A. Shesteporov¹, E. A. Lukyanova²

¹⁻²All-Russian National Scientific Research Institute of Fundamental and Applied Parasitology of Animals and Plants named after K. I. Skryabin, 28, Chermushkinskaya Street, Moscow, 117218; e-mail: shesteporov@vniigis.ru

Received on: 27.03.2018; accepted for printing on: 25.04.2018

Abstract

The purpose of the research: to develop verbal, analogous, mathematical models of projected growth of potato globoderosis depending on agrometeorological conditions.

Materials and methods. Analysis of national and foreign literature regarding epiphytology, modeling was performed, as well as available literature data and personal supervision about influence of meteorological conditions on the potato globoderosis development were generalized. A database received in Kondrovo of Kaluga Region was used in order to develop verbal, analogous, mathematical model. One experimental field was chosen out of 40 experimental fields and plots of land where Sineglazka vulnerable variety was grown during 1979-1993. On the field with average soil quality the population density of nematodes varied from 14,900 to 27,300 (average 20,600) ovicells and larvae at the 100 cm³ of soil. Globoderosis development was evaluated according to the scale for at-ground visual appraisal of defeat potato plants by globoderosis in points annually in July. Phenological, phytosanitary and phytohelminthological metering and supervision at the experimental field were conducted during vegetational season. Correlation and regression analysis of collected material was conducted using software application Microsoft Excel.

Results and discussion. Correlation coefficient for meteorological factors closely related to globoderosis development over 15 years were calculated with the help of correlation analysis. Predictors (average daily temperature, quantity and amount of rainfall) for short period forecast of globoderosis development while planting of potatoes with average level of fertility were determined. As the result of regression analysis mathematic models of projected growth globoderosis depending on agrometeorological factors were received. Confidence of a mathematical model, i.e. differences of expectancy record from retrospective average 3.6%. Correspondence of mathematic model was checked by historical data using correlation coefficient between the result of projected growth globoderosis and measurement data. It is 0.83. Accuracy of forecast varied from -36.8 to 36.5%.

Keywords: globoderosis, potato, golden nematode of potato, meteorologic factors, prognostic modeling, mathematic model.

For citation: Shesteporov A. A., Lukyanova E. A. Foundations and methods of modeling of projected growth potato globoderosis on agrometeorological conditions. *Rossiyskiy parazitologicheskii zhurnal = Russian Journal of Parasitology*. 2018; 12(2):95-103. <https://doi.org/10.31016/1998-8435-2018-12-2-95-103>

Введение

На современном этапе изучения глободероза картофеля, вызываемого золотистой картофельной нематодой, математические и компьютерные модели представляют широкие возможности для прогноза развития глободероза, усовершенствования элементов интегрированной системы защиты картофеля и оптимизации противонематодных мероприятий [2, 4, 10].

Разработка прогностических математических моделей развития глободероза и других фитогельминтозов в зависимости от агрометеорологических факторов позволяет углубить понимание возникновения и течения эпифитотии глободероза, правильно оцени-

вать складывающуюся фитогельминтологическую ситуацию, планировать противонематодные мероприятия, оптимизированные по экологическим и экономическим характеристикам [6, 7, 9].

В зависимости от процесса развития эпифитотии болезни растений можно разделить на два класса: болезни, протекающие с постоянным воспроизводством инокулюма, и болезни, имеющие невосполнимый в течение некоторого продолжительного периода времени запас инфекции (инвазии). К первым относятся практически все виды наземных болезней (ржавчина, мучнистая роса, фитофтороз, септориоз и т. д.), а ко вторым в большинстве случаев – болезни, развивающиеся в почве

(корневые гнили, рак картофеля, корневые фитогельминтозы) [1, 10, 11].

Простейшая математическая модель эпифитотии для болезней первого класса, построенная Ван-дер-Планком [1], отражает взаимодействие системы «хозяин-патоген-окружающая среда». В последующие годы были разработаны математические модели прогноза развития многих болезней из первого класса. В этих моделях учитывали количественные характеристики развития растения-хозяина, патогена и окружающей среды, в том числе и метеорологических условий. Математические модели прогноза развития болезней второго класса во многих случаях не учитывали метеорологические факторы [2, 5, 6, 11]. Для корневых фитогельминтозов подобные модели не разработаны.

Погодные условия оказывают существенное влияние на развитие культурных растений, вредных и полезных организмов, поэтому использование исчерпывающей метеорологической информации обязательно при разработке прогнозов развития болезней. Применение математических моделей, основанных на метеорологической информации, позволяет экономить трудовые затраты и материалы как при выработке оптимальных решений, так и при проведении борьбы против вредных организмов [3, 4, 12].

Для разработки математических моделей прогноза развития болезней используют метеорологическую информацию ближайших к району исследований метеостанций. Она характеризует показатели температуры и влажности воздуха, температуры и влажности почвы, сумм осадков, глубину снежного покрова и т. д. за конкретные отрезки времени. Эти данные могут включаться в формулы прогнозов определенных параметров развития болезней сельскохозяйственных культур [1, 10, 11].

Сложность системы «паразит-хозяин-окружающая среда» служит причиной разнообразия описывающих их математических моделей. Поэтому при математическом моделировании широко используют компьютеры. В связи с тем, что основой для построения математической модели, подчиненной конкретной цели, служат фактические данные, наиболее полно характеризующие количественные параметры фитогельминтоза, необходимо установить количественное значение

ряда факторов. Главнейшей задачей является создание системной математической модели, имитирующей возникновение, развитие и течение эпифитотического процесса при глободерозе картофеля [8].

В эпифитотическом анализе используют модели трех типов: вербальные (словесные), аналоговые (графические) и символические (математические) [4, 9].

Использование вербальных моделей на начальных этапах подобных исследований позволяет глубже понять и осмыслить всю сложность взаимосвязей, зависимость и динамику факторов, участвующих в этой системе. Такой подход в значительной мере облегчает рассмотрение отдельных составных частей системы, которые в свою очередь могут быть рассмотрены как состоящие из ряда более мелких частей или компонентов, блоков или факторов, охватывающих отдельные звенья эпифитотического процесса, включающих в себя развитие глободероза, биологию и экологию золотистой картофельной нематоды, а также некоторые абиотические, биотические и антропогенные факторы. Она может быть построена на основе литературных, собственных и экспериментальных данных [3, 8].

На следующем этапе должны быть разработаны аналоговые модели, в которых данные по динамике численности фитогельминта, развития глободероза, метеорологические данные и т. д. представлены графиками. Аналоговые модели более удобны для анализа явлений, чем цифровые данные [4, 11].

На основе созданных вербальных и аналоговых моделей может быть осуществлен переход на количественную основу, для чего требуется заменить все параметры математическими формулами, т.е. провести перевод этих моделей эпифитотического процесса на язык математики и провести математический анализ исходных данных с помощью компьютеров [5, 12].

Математические и имитационные модели – это строго формализованная система записи исходных данных о глободерозе, картофельной нематоды и экологических факторах в форме соответствующих математических уравнений. Такая формализация позволяет проанализировать все важнейшие следствия, которые вытекают из исходных представлений об изучаемом объекте. Сравнивая эти следствия с

наблюдаемыми в эксперименте свойствами моделируемого объекта, можно судить о том, насколько верны те или иные теоретические представления, используемые при построении математической и компьютерной моделей. Математические модели позволяют изучать такие свойства глободероза картофеля, которые часто не могут быть изучены прямыми экспериментальными методами из-за карантинных или экономических ограничений. Адекватные компьютерные модели, отражающие суть развития глободероза и его эпифитотического процесса, экономят много средств и времени. При решении ряда практических задач (особенно в карантине растений), такая «заменяющая» функция моделей исключительно важна. Учитывая, что эпифитотический процесс при глободерозе картофеля развивается достаточно медленно – на протяжении десятилетий, и на него в значительной мере влияют метеорологические и антропогенные факторы, поэтому прямой экспериментальный подход к его изучению невозможен, тогда как математические модели позволяют обозревать прошлое и будущее этого процесса. Также они позволяют проследить, к каким последствиям может привести вмешательство человека, изменение климата [8, 9].

Для создания математической модели прогноза развития глободероза картофеля необходимо знать количественный характер и относительные величины ряда параметров эпифитотического процесса и метеорологических данных. Поэтому важно, кроме анализа данных из литературы, провести многолетние эксперименты и наблюдения в базовых районах с целью получения необходимой фитогельминтологической, агрономической, фенологической и агрометеорологической информации [8].

Цель работы – разработать вербальную, аналоговую, математическую модели прогноза развития глободероза картофеля в зависимости от агрометеорологических условий.

Материалы и методы

Проведен анализ отечественной и зарубежной литературы по вопросам эпифитотиологии, моделирования, а также обобщены имеющиеся литературные данные и собственные наблюдения по влиянию метеорологических условий на развитие глободероза картофеля. Для разработки вербальной, аналоговой, математической модели была использована

база данных, полученных в базовом районе (г. Кондрово, Калужской области). Из 40 опытных участков и делянок был выбран один, на котором в течение 1979–1993 гг. выращивали восприимчивый сорт Синеглазка. На участке со средним плодородием почвы плотность популяции нематоды колебалась от 14 900 до 27 300 (в среднем, 20 600) яиц и личинок на 100 см³ почвы. Развитие глободероза оценивали ежегодно в июле по шкале.

Шкала для наземной визуальной оценки поражения глободерозом растений картофеля в баллах: 0 – куст хорошо облиственен, цвет листьев темно-зеленый, зеленый, от 2 до 5 стеблей, их высота от 35 до 80 см в зависимости от сорта. Беловато-желтые мочковатые корни проникают глубже пахотного слоя, на них мало вторичных, фиброзных корней; 1 – по внешнему виду не отличается от неинвазированных, но на корнях можно обнаружить единичных самок; 2 – растение отстает в росте, его высота от 25 до 60 см, куст имеет 1–3 стебля, цвет листьев светло-зеленый, зелено-желтый. Наблюдается пожелтение листьев нижнего яруса. Корневая система развитая, «бородатая», за счет образования вторичных, фиброзных корней. На корнях – белые, желтые, светло-коричневые самки; 3 – растение угнетено, низкорослое (11–30 см), светло-зеленого, зелено-желтого, желтого цвета. Нижние листья желтые, коричневые, верхние измельченные, хлоротичные; 1–3 истонченных стебля. В засуху они увядают первыми. Мочковатые корни не проникают глубже пахотного слоя. Корневая система имеет «бородатый» вид из-за чрезмерного разветвления корней. Многие корни с некрозами, имеют бурый цвет, размочалены. На них много шарообразных самок; 4 – карликовый куст (8–20 см) мало облиственный, светло-зеленый, желтый, усыхающие листья имеют бурый или коричневый цвет; один, реже два стебля. Листья увядают и опадают, начиная с нижних, что приводит к пожелтению и преждевременной гибели куста. Корневая система слаборазвитая, «бородатая», буреет или загнивает. На корнях очень много самок.

Расчет развития глободероза картофеля (%) проводили по формуле:

$$R = \sum (a B) \times 100 / (N K),$$

где $\sum (a B)$ – сумма произведений числа растений на соответствующий им балл поражения

B ; N – число угнетенных растений; K – наивысший балл шкалы учета [8].

В течение вегетационного периода проводили фенологические, фитосанитарные и фитогельминтологические учеты и наблюдения на опытном участке [6, 8]. Метеорологическая информация была получена на метеостанции Малоярославец. Агрометеорологические данные: средняя t воздуха, °С май, июнь, июль, август; t почвы на глубине 10 см, °С апрель, май, июнь, июль, август, сентябрь, декабрь, январь, февраль, март; максимальная глубина промерзания; период промерзания (дней); минимальная t , °С зимой; минимальная высота снежного покрова, см; количество осадков, мм ср. год, количество осадков, мм апрель, май, июнь, июль, август, сентябрь; дней с осадками, май, июнь, июль, август, сентябрь.

Корреляционный и регрессивный анализ собранного материала был проведен с использованием компьютерной программы Microsoft Excel.

Условия и ограничения при разработке моделей. Основой для разработки математических моделей прогноза развития глободероза картофеля в зависимости от метеорологических условий послужили методические подходы при создании математических моделей прогноза развития глободероза в зависимости от агрохимических показателей почвы [8].

При разработке вербальной и, соответственно, формализованной модели прогноза развития глободероза картофеля в зависимости от метеорологических условий нами были сделаны следующие допущения:

1. Эпифитотический процесс при глободерозе картофеля происходит в почве, где находятся цисты, яйца, инвазионные личинки золотистой картофельной нематоды (ЗКН) и корневая система растения-хозяина, в которой заканчивают свое развитие нематоды. В период отсутствия корней растения-хозяина личинки и яйца, находящиеся в цистах, переживают неблагоприятный период в почве.
2. Развитие глободероза картофеля есть результат взаимодействия популяций ЗКН, растения-хозяина и экологических факторов окружающей среды.
3. Фитосанитарная обстановка на учетных участках была типичной и не оказывала влияние на развитие глободероза.

4. Влияние анализируемых метеорологических факторов на развитие глободероза принимали линейным и не учитывали их комплексного воздействия.

Результаты и обсуждение

Вербальная модель прогноза. Глободероз картофеля – это болезнь голодания надземных органов, т.е. они не получают достаточного количества воды и необходимого питания для роста и развития из-за паразитирования нематод в корневой системе (см. Шкала поражения глободерозом растений).

Оптимальные условия для максимального развития глободероза складываются в годы с теплой, влажной погодой в период отрастания придаточных корней и их инвазирования личинками ЗКН (май). В период отрастания фиброзных корней их инвазирование личинками происходит при температуре почвы выше 10°C и влажности почвы 60–70% от полной влагоемкости (май–июнь). Усиливается проявление глободероза при формировании «бородатости» корней при снижении влажности почвы ниже оптимальной и редких небольших дождях (июнь–июль). Наступление засухи в период начала бутонизации–цветения может привести к гибели растений от глободероза (табл. 1).

Неблагоприятные условия для развития глободероза складываются в годы, когда после посадки картофеля наступает холодная и сухая погода, температура почвы ниже 8–10°C, влажность почвы ниже оптимальной. В период формирования «бородатости» корней (июнь–июль) регулярные дожди и оптимальная влажность почвы уменьшают проявление глободероза. Во время бутонизации и цветения оптимальная влажность почвы и температура ниже 18°C создают неблагоприятные условия для развития глободероза.

Вышеизложенная вербальная модель прогноза развития глободероза картофеля демонстрирует, что из многочисленных метеорологических показателей для развития глободероза имеют важное значение годовая среднесуточная температура воздуха, температура воздуха и почвы в летние месяцы, осадки, влажность почвы.

Аналоговая прогностическая модель. Схематически аналоговую модель можно представить в виде «черного ящика» (рис. 1).

Влияние благоприятных и неблагоприятных факторов на развитие глободероза в период роста растений картофеля

Этапы развития картофеля	Условия	
	благоприятные	неблагоприятные
Посадка	Мелкие, некачественные клубни	Крупные, элитные клубни
Отрастание придаточных корней и их инвазирование	Теплая, влажная погода, t почвы выше 10 °С, оптимальная влажность почвы (60–70 % от полной влагоемкости почвы)	Холодная, сухая погода, t ниже 5–7 °С, влажность ниже оптимальной
Отрастание фиброзных корней и их инвазирование	- « -	- « -
Формирование бородатости корней	Влажность почвы ниже оптимальной, редкие небольшие дожди	Оптимальная влажность почвы, регулярные дожди
Всходы	Заморозки	- « -
Кущение – начало бутонизации	Засуха, редкие дожди	- « -
Бутонизация, цветение	- « - t почвы выше 18 °С	- « - t почвы ниже 18 °С, облачность

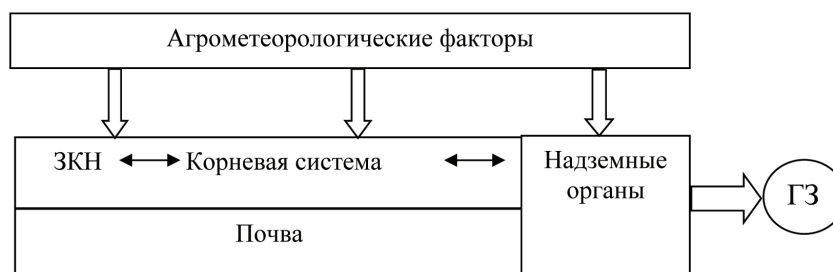


Рис. 1. Концептуальная модель взаимодействия популяции ЗКН с корневой системой растения-хозяина (РХ), его надземных органов и агрометеорологических факторов на развитие глободероза (ГЗ) картофеля

Представим, что на систему «РХ = ЗКН = Почва» на входе действуют метеорологические факторы, а на выходе – показатель «развитие глободероза». Что происходит внутри «черного ящика» каждый вегетационный год, мы не знаем. Знаем, что в разные годы показатель развития глободероза изменялся от 10 до 96% (табл. 2). Другие метеорологические показатели, которые не коррелировали со сроками развития глободероза за 15 лет [9], позволили выделить предикторы эпифитотического процесса при глободерозе картофеля или не могли с достаточной заблаговременностью быть использованы для прогноза, мы выбраковали.

После проведения корреляционного анализа (табл. 3) мы провели отбор наиболее сильно коррелирующих метеорологических характеристик. Для участка со средним уровнем плодородия предикторами оказались метеорологические характеристики: среднегодовая температура; среднемесячная температура в

мае, июне; среднегодовые осадки; осадки за май, июнь и число дней с осадками в эти месяцы.

Математическая модель прогноза. В результате регрессионного анализа составлено уравнение развития глободероза картофеля в зависимости от метеорологических характеристик.

Для посадок картофеля со средним уровнем плодородия почвы уравнение регрессии:

$$Y = 0,341747 \times X_1 + 6,566353 \times X_2 - 3,67411 \times X_3 - 0,05401 \times X_4 + 0,69803483 \times X_5 - 0,39014 \times X_6 + 0,431227 \times X_7 + 0,7978021 \times X_8 + 64,55521,$$

где Y – развитие глободероза, %; X_1 – среднесуточная годовая температура; X_2, X_3 – среднесуточная температура в мае, июне; X_4 – среднегодовые осадки, мм; X_5, X_6 – осадки, мм в мае, июне; X_7, X_8 – число осадков в мае, июне; коэффициент детерминации $R^2 = 0,55$.

Таблица 2

База данных для разработки математической модели

Год	Y ₁	X ₁	X ₂	X ₃	X ₄	X ₅	X ₆	X ₇	X ₈
	ГЗ	T, °C		Осадки, мм		Число дней с осадками			
	июль	Ср. год	май	июнь	Ср. год	май	июнь	май	июнь
1979	95	4,7	16,5	17,1	640	20,0	23,7	4	5
1980	24	3,5	7,9	17,2	673	66,5	105,0	11	11
1981	18	5,9	13,5	19,2	729	30,0	68,7	6	9
1982	100	4,9	11,4	13,5	663	48,3	50,8	8	12
1983	75	5,8	15,2	14,5	699	25,5	72,0	3	13
1984	87	4,5	15,3	14,7	649	23,4	161,5	5	18
1985	95	3,6	13,0	14,7	728	30,2	101,1	8	13
1986	83	4,4	13,4	17,6	741	31,5	175,8	4	13
1987	63	2,7	12,4	16,9	614	75,8	108,6	7	12
1988	23	5,1	13,4	18,8	840	35,3	138,5	8	14
1989	97	6,9	13,2	19,8	705	17,2	118,1	4	15
1990	96,7	6,0	10,5	14,1	902	66,9	57,9	11	8
1991	93,3	5,9	12,6	18,6	756	56,8	60,0	13	10
1992	94	5,7	11,8	16,3	489	24,7	36,2	8	6
1993	83,3	4,4	14,6	13,7	754	10,5	124,1	4	14

Таблица 3

Парные коэффициенты корреляции между развитием глободероза картофеля и агрометеорологическими показателями

ГЗ	Метеорологические факторы							
	T, °C				Осадки, мм			
	Ср. год	май	июнь	Ср. год	май	июнь	Май	июнь
Y	X ₁	X ₂	X ₃	X ₄	X ₅	X ₆	X ₇	X ₈
0,307142	0,091335	-0,28768861	0,032725	0,041343	-0,711932	0,164062	-0,609635	

Графическое сравнение расчетных и экспериментальных данных развития глободероза картофеля на участках со средним (рис. 2) уровнем плодородия почвы показывает, что адекватность математической модели прогноза развития глободероза картофеля в зависимости от выбранных агрометеорологических факторов позволяет использовать ее для разработки компьютерной модели.

Достоверность математической модели, т. е. отличие расчетных данных от ретроспективных в среднем составляет 3,6%. Адекватность математической модели проверили на ретроспективных данных с использованием коэффициента корреляции между результатом прогноза развития глободероза и фактическими

данными. Он равен 0,83. При сравнении данных, полученных путем обследования посадки картофеля на участке со средним уровнем плодородия при балльной оценке, переведенной в %, за 15 сут наблюдений с прогнозируемыми данными, полученными на математической модели на основе агрометеорологических показателей видно, что модель адекватна. Оправдываемость прогноза варьирует от -36,8 до 35,6% (в среднем, 3,59%) (табл. 4).

Таким образом, математическая модель прогноза развития глободероза картофеля на участке со средним уровнем плодородия в зависимости от агрометеорологических показателей служит основой для создания компьютерной модели.

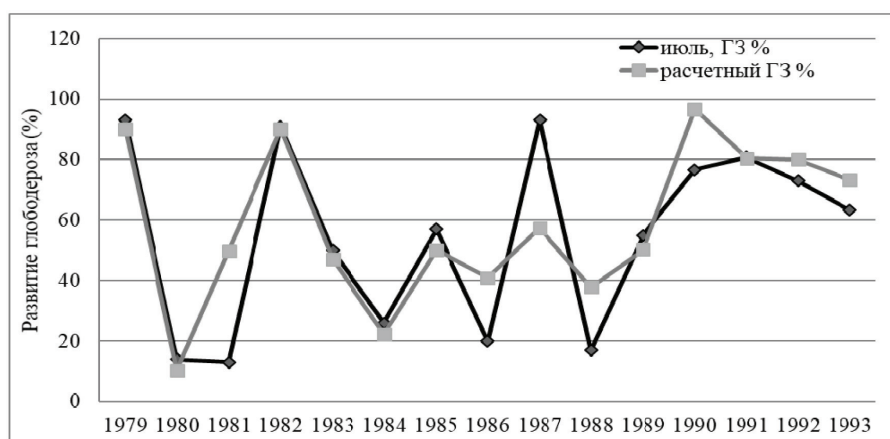


Рис. 2. Фактическое развитие глободероза картофеля со средним уровнем плодородия почвы и смоделированное с учетом предикторов – агрометеорологических показателей

Таблица 4

Оправдываемость прогноза развития глободероза картофеля в очаге ЗКН в зависимости от 8 агрометеорологических показателей

Год	ГЗ, %		Отличие экспериментальных и расчетных данных, %
	июль	расчетный	
1979	93	90,1	2,9
1980	14	10,3	3,7
1981	13	49,8	-36,8
1982	91	90,2	0,8
1983	50	47,1	2,9
1984	26	22,2	3,8
1985	57	50,1	6,9
1986	20	40,9	-20,9
1987	93	57,4	35,6
1988	17	37,8	-20,8
1989	55	50,3	4,7
1990	76,6	96,7	-20,1
1991	80,8	80,4	0,4

Окончание таблицы 4

Год	ГЗ, %		Отличие экспериментальных и расчетных данных, %
	июль	расчетный	
1992	73	80,0	-7,0
1993	63,3	73,3	-10
		$r = 0,83$	Ср. значение 3,59

Литература

1. Ван дер Планк Я. Е. Болезни растений (эпифитотии и борьба с ними). М.: Колос, 1966. 359 с.
2. Картофелеводство: результаты исследований, инновации, практический опыт. Рос. Акад. с.-х. наук, Всес. НИИ картоф. хоз-ва; под ред. Е. А. Симакова. 2008. Т. 1. 444 с. Т. 2. 330 с.
3. Полуэктов Р. А. Динамические модели агроэкосистемы. Л.: Гидро-метеоиздат, 1991. 310 с.
4. Руднев Г. В. Метеорология на службе урожая. Л.: Гидрометеоиздат, 1978. 159 с.
5. Сухарева Р. Д., Бабич А. Г., Бабич О. А. Глободероз картофеля. Киев: Колепринт, 2015. 526 с.
6. Поляков И. Я., Левитин М. М., Танский В. И. Фитосанитарная диагностика в интегрированной защите растений. М.: Колос, 1995. 208 с.
7. Таболин С. Б., Романенко Н. Д., Митюшев И. М. Агронематодология. М.: Изд-во РГАУ-МСХА, 2017. 200 с.
8. Шестеперов А. А., Савотников Ю. Ф. Карантинные фитогельминтозы. Кн. 1. М.: Колос, 1995. 463 с.
9. Шестеперов А. А., Колесова Е. А., Лукьянова Е. А. Математическое моделирование эпифитотического процесса при глободерозе картофеля: учебное пособие. LAP LAMBERT Academic Publishing, 2017. 246 с.
10. Шпаар Д. и др. Картофель. Мн. «Фауноформ», 1999. 272 с.
11. Юбилейный сборник трудов ВНИИФ. 50 лет на страже продовольственной безопасности страны. Б. Вяземы, 2008. 665 с.
12. Commers E. J., Mass P. T. Nematology from molecule to ecosystem. The Netherlands, 1992; 306 p.

References

1. Van der Plank Ya. E. Plant diseases (epiphytotics and their combating). Moscow: Kolos Publ. 1966: 359.
2. Potato farming: results of investigation, innovations, real-life experience. Russian Academy of Agricultural Sciences, All-Union SRI of potato commercial farm unit. Edited Simakov E. A. 2008; 1: 444, 2: 330 (In Russ.)
3. Poluektov R. A. Dynamic models of agricultural ecosystem. L. Hydro-meteoizdat Publ. 1991: 310.
4. Rudnev G. V. Meteorology in the service of output yield. L.: Hydrometeoizdat Publ., 1978: 159.
5. Sukhareva R. D., Babich A. G., Babich O. A. Potato globoderosis. Kiev: Kolenprint Publ., 2015: 526.
6. Polyakov I. A., Levitin M. M., Tanskiy V. I. Phytosanitary diagnostic in integrated pest suppression. Moscow: Kolos Publ., 1995: 208.
7. Tabolin S. B., Romanenko N. D. Mityushev I. M. Agronematology. Moscow: Russian State Agrarian University – Moscow Agricultural Academy Publ., 2017: 200.
8. Shesteperv A. A., Savotnikov Yu. F. Quarantine eelworm diseases. Book 1. Moscow: Kolos Publ., 1995: 463.
9. Shesteperv A. A., Kolesova E. A., Lukyanova E. A. Mathematical modeling of epiphytic process in the presence of potato globoderosis: teaching guide. LAP LAMBERT Academic Publishing, 2017: 246.
10. Shpaar D. et al. Potato. Mn. "Faunoform". 1999: 272. (In Russ.).
11. Festschrift of transactions of All-Russian Research Institute of Phytopathology. 50 years on the guard of country's food supply security. B. Vyazemy, 2008: 665. (In Russ.)
12. Commers E. J., Mass P. T. Nematology from molecule to ecosystem. The Netherlands, 1992; 306 p.