



Поступила в редакцию: 26.02.2016
Принята в печать: 27.05.2016

УДК 632.581.2
DOI: 10.12737/20071

Для цитирования:

Шестеперов А.А., Лукьянова Е.А., Бондарев А.А. Роль внутривидовых и агрометеорологических факторов в динамике плотности популяции золотистой картофельной нематоды *Globodera rostochiensis* // Российский паразитологический журнал. — М., 2016. — Т. 36. — Вып. 2. — С. 253–264.

For citation:

Shesteperv A.A., Lukyanova E.A., Bondarev A.A. The role of intra-population and agro-meteorological factors in dynamics of population densities of potato cyst nematode *Globodera rostochiensis*. *Russian Journal of Parasitology*, 2016, V. 36, Iss. 2, pp. 253–264.

РОЛЬ ВНУТРИПОПУЛЯЦИОННЫХ И АГРОМЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИХ ФАКТОРОВ В ДИНАМИКЕ ПЛОТНОСТИ ПОПУЛЯЦИИ ЗОЛОТИСТОЙ КАРТОФЕЛЬНОЙ НЕМАТОДЫ *GLOBODERA ROSTOCHIENSIS*

Шестеперов А.А., Лукьянова Е.А., Бондарев А.А.

ФГБНУ ВНИИП им. К.И. Скрябина, 117218, Москва, ул. Б. Черемушкинская, д. 28,
e-mail: Shesteperv@vniigis.ru

Реферат

Цель исследований: установление роли внутривидовых и агрометеорологических факторов в динамике плотности популяции золотистой картофельной нематоды (ЗКН) в суглинистой почве при выращивании картофеля в монокультуре и разработка прогностических моделей.

Материалы и методы. Изучение динамики плотности популяции ЗКН в почве проводили в течение 15 лет (1979–1993 гг.) на трех участках картофеля восприимчивого сорта, на которых картофель выращивали в монокультуре. Отбор образцов, фитогельминтологический анализ почвенных проб проводили по стандартной методике. Корреляционный анализ агрометеорологических факторов и плотности популяций ЗКН (ПП ЗКН) был проведен методом анализа временных рядов и программы Eviews 7.0.

Результаты и обсуждение. Для монокультуры восприимчивого сорта картофеля был проведен корреляционный анализ агрометеорологических факторов (среднемесячная температура почвы на глубине 10 см, °С: март, апрель, май, июнь, июль, август, сентябрь, декабрь, январь, февраль; температура воздуха, °С: май, июнь, июль, август; максимальная глубина промерзания почвы, см; период промерзания, дней; высота снежного покрова, см; количество осадков, мм: среднегодовое, апрель, май, июнь, июль, август, сентябрь; количество осадков, мм: среднегодовое, апрель, май, июнь, июль, август, сентябрь; количество дней с осадками: май, июнь, июль, август, сентябрь) в зависимости от влияния на ПП ЗКН показал, что большинство метеорологических факторов не оказывают существенного воздействия ($r=0,01-0,6$). Слабое воздействие ($r=0,3-0,4$) на ПП ЗКН оказывает: температура воздуха, °С в августе; температура почвы на глубине 10 см, °С в сентябре; среднее воздействие ($r=0,5-0,6$) температура воздуха, °С в июне; температуры почвы на глубине 10 см, °С в марте и июне; осадки, мм: годовые, май, июнь, июль.

Разработаны математические модели прогноза ППЗКН в зависимости от агрометеорологических и внутривидовых факторов при выращивании картофеля в монокультуре для участков с низким, средним и высоким плодородием почвы.



Ключевые слова: золотистая картофельная нематода, *Globodera rostochiensis*, прогнозирование, экология.

Введение

Золотистая картофельная нематода — узкоспециализированный вид нематод, который паразитирует на корнях картофеля и томатов, поражает другие растения из семейства паслёновых, объект внешнего и внутреннего карантина [3, 14]. ЗКН наносит существенный вред урожайности картофеля и поэтому прогнозирование численности популяции этого паразита является актуальной задачей [4, 15, 17]. Разработка математических компьютерных моделей, подчиненных конкретным задачам, позволяет углубить понимание возникновения и течения эпифитотии глободероза, позволяет правильно оценивать складывающуюся фитогельминтологическую ситуацию, планировать противонематодные мероприятия, оптимизированные по экологическим и экономическим характеристикам, использовать модели для прогностических целей [1, 2].

В лабораторных условиях многократно изучалось влияние температуры почвы на развитие популяции паразитических нематод. Также доказано влияние температуры почвы на развитие нематод *Globodera rostochiensis* в условиях теплиц [10, 11, 15, 16]. В условиях все увеличивающейся климатической нестабильности особенно важно выявление четких формализованных связей между развитием популяции паразита картофеля и агроклиматическими условиями в открытом грунте [5].

Математический аппарат широко используется для прогнозирования возможной динамики плотности популяций паразитов с учетом погодных условий и других экологических факторов. Для учета этих факторов могут применяться как стандартный аппарат множественных линейных регрессий, так и более сложные методы [2, 8, 12].

Целью настоящей работы является установление роли внутривидовых и агрометеорологических факторов в динамике плотности популяции золотистой картофельной нематоды (ЗКН) в суглинистой почве для монокультуры картофеля на трех участках Калужской области, различающихся уровнем плодородия и разработка математических моделей прогноза плотности популяций ЗКН в зависимости от выявленных предикторов.

Материалы и методы

Отбор почвенных образцов был проведен в период с 1979 по 1993 год на приусадебных участках картофеля восприимчивого сорта с суглинистой почвой и различными уровнями агротехники и плодородия (низкое, среднее, высокое) в ЛПХ города Кондрово Калужской области. Почвенные пробы анализировали флотационно-вороночным методом [3]. Численность нематод рассчитана исходя из многократного подсчета цист, личинок и яиц в 100 кубических сантиметрах почвы. Для анализа временных рядов длина ряда достигает 30 наблюдений с учетом 2-х замеров в год по каждому участку.

Метеорологические данные были получены на метеостанции города Малоярославец Калужской области.

Для монокультуры восприимчивого сорта картофеля был проведен корреляционный анализ агрометеорологических факторов (среднемесячная температура почвы на глубине 10 см, °С: март, апрель, май, июнь, июль, август, сентябрь, декабрь, январь, февраль; температура воздуха, °С: май, июнь, июль, август; максимальная глубина промерзания почвы, см; период промерзания, дней; высота снежного покрова, см; количество осадков, мм: среднегодовое, апрель, май, июнь, июль, август, сентябрь; количество осадков, мм: среднегодовое, апрель, май, июнь, июль, август, сентябрь; количество дней с осадками: май, июнь, июль, август, сентябрь) и плотности популяций ЗКН.

Для анализа полученных данных был использован метод анализа временных рядов и программа Eviews 7.0. Методы временных рядов позволяют не только установить авторегрессионные зависимости, но и включать в анализ внешние по отношению к изучаемому явлению факторы. В случае данной работы такими факторами выступают климатические условия. Процедура оценивания выглядит следующим образом. Сначала выявляется максимальный порядок автокорреляции ряда, то есть на сколько лет



сохраняется влияние каждого наблюдения. Наличие автокорреляции, например, 3 порядка означает, что влияние наблюдения (точки в ряде данных) сохраняется на протяжении трех лет. На основании автокорреляционного анализа строится максимально полная модель, включающая все предыдущие наблюдения в качестве объясняющих переменных вплоть до максимального выявленного порядка автокорреляции. Вместе с этим в модель включаются предполагаемые значимые внешние факторы по аналогии с обычной множественной регрессией [3, 6, 13]. Таким образом, модель временных рядов является усложненной версией регрессионной модели, включая как текущие значения внешних факторов, так и прошлые значение самой объясняемой переменной и внешних факторов [6, 7]. После построения такой максимальной модели производится последовательный отбор значимых переменных на основании статистических показателей t-статистики Стьюдента.

Результаты исследований

В результате проведенных исследований на участках картофеля восприимчивого сорта установлено, что численность цист колебалась от 1 до 323з ППЗКН в почве изменялась от 0 до 30158 яиц и личинок в 100 куб. см почвы (табл. 1).

Проведенный корреляционный анализ динамики ППЗКН и агрометеорологических факторов показал, что большинство метеорологических факторов не оказывают существенного влияния ($r=0,01-0,6$). Слабое воздействие ($r=0,3-0,4$) на ППЗКН оказывает: температура воздуха, $^{\circ}\text{C}$ в августе; температура почвы на глубине 10 см, $^{\circ}\text{C}$ в сентябре; среднее воздействие ($r=0,5-0,6$) температура воздуха, $^{\circ}\text{C}$ в июне; температуры почвы на глубине 10 см, $^{\circ}\text{C}$ в марте и июне; осадки, мм: годовые, май, июнь, июль.

На рисунке 1 представлены предикторы среди агрометеорологических факторов, которые были использованы при разработке математических моделей прогноза плотности популяций ЗКН в почве в зависимости от агрометеорологических условий и внутривидовых факторов.

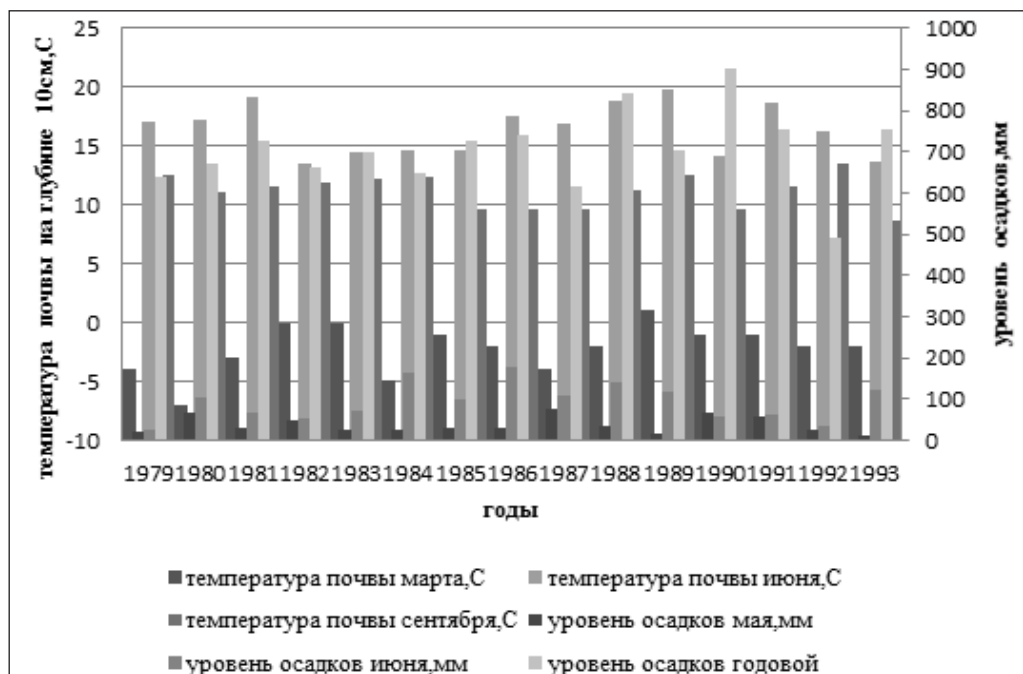


Рис. 1. Значимые агрометеорологические факторы в период с 1979 по 1993 годы

Приведенные ниже прогностические модели на основе регрессионных уравнений, характеризующих ППЗКН и численность цист в почве в зависимости от выделенных предикторов.



Таблица 1

Данные о популяции ЗКН в период с 1979 по 1993 годы

год	численность яиц и личинок, экз						численность цист, экз					
	низкое плодородие		среднее плодородие		высокое плодородие		низкое плодородие		среднее плодородие		высокое плодородие	
	весна	осень	весна	осень	весна	осень	весна	осень	весна	осень	весна	осень
1979	1287	4684	5772	15602	0	0	22	48	97	148	0	0
1980	2697	5233	8475	30848	0	434	33	65	124	257	0	2
1981	2056	3943	12000	22255	188	523	32	69	187	371	1	4
1982	1707	3820	7445	8873	247	1935	48	72	170	191	2	33
1983	2959	6576	7890	28394	2344	10388	45	166	230	338	32	104
1984	6990	6396	10055	10364	6708	6300	158	173	250	272	107	95
1985	6337	14418	8608	22264	5165	6492	160	144	192	282	110	138
1986	8105	13117	30158	23824	5852	10491	136	197	323	312	105	169
1987	11934	9637	26124	23651	10076	14269	180	163	289	293	160	150
1988	8228	15304	21949	26859	10059	21660	163	184	290	311	132	170
1989	3866	17280	19755	42470	11066	13918	151	165	285	340	115	136
1990	8689	9395	22062	24446	5380	12057	110	180	290	326	122	195
1991	16069	14022	15540	14590	8597	9400	148	205	260	302	115	116
1992	10387	17115	9025	16410	4193	4294	177	240	193	281	103	101
1993	9390	11642	11612	11565	7192	19054	157	231	225	230	114	207



кторов для трех типов участков оказались практически равнозначными с некоторым колебанием числа учитываемых факторов (от 3 до 6).

1. Модель, объясняющая динамику плотности популяции ЗКН в почве участка с высоким уровнем агротехники и плодородия на 59%:

$$y_t = 5448 + 40.3 \cdot (x_1 + x_2) + 1455.1 \cdot x_5 + e_{(t-2)}$$

Где,

y_t — общее число яиц и личинок в почве участка с высоким уровнем плодородия, экз.

x_1 — уровень осадков в мае, мм

x_2 — уровень осадков в июне, мм

x_5 — температура почвы на глубине 10 см в сентябре, С°

$e_{(t-2)}$ — погрешность оценки прошлого года

Согласно результатам моделирования влияние на долгосрочную динамику популяции могут оказывать температуры почвы сентября, а также уровень осадков мая и июня.

Аналогичная модель, разработанная для численности цист показывает более высокий коэффициент детерминации $R^2=0.76$ и имеет вид:

$$z_t = 81 + 0.54 \cdot x_4 - 0.7 \cdot z_{(t-3)}$$

Где,

z_t — общее число цист в почве участка со средним уровнем плодородия, экз.

x_4 — температура почвы на глубине 10 см в июне, С°

$z_{(t-3)}$ — общее число цист в почве участка три периода (весна-осень) назад, экз.

Для участка с высоким плодородием влияние агрометеорологических факторов ослаблено по сравнению с участками с более низким влиянием плодородия почвы. Так, на плотность популяции яиц и личинок влияет только сумма осадков июня и мая, но не температура в эти месяцы. На количество цист влияет только один метеорологический фактор: температура почвы в июне.



Рис. 2. Фактическая ПП ЗКН, плотность популяции, смоделированная с включением данных о температуре почвы сентября, уровня осадков мая и июня

2. Модель, объясняющая динамику плотности популяции ЗКН в почве участка со средним уровнем агротехники и плодородия на 67%:

$$y_t = -17165 + 99 \cdot (x_1 + x_2) + 2399.5 \cdot x_3 + 1543.3 \cdot x_4 - 0.74 \cdot y_{(t-3)} + 0.38 \cdot y_{(t-2)} + e_{(t-3)}$$

Где,

y_t — общее число яиц и личинок в почве участка со средним уровнем плодородия, экз.

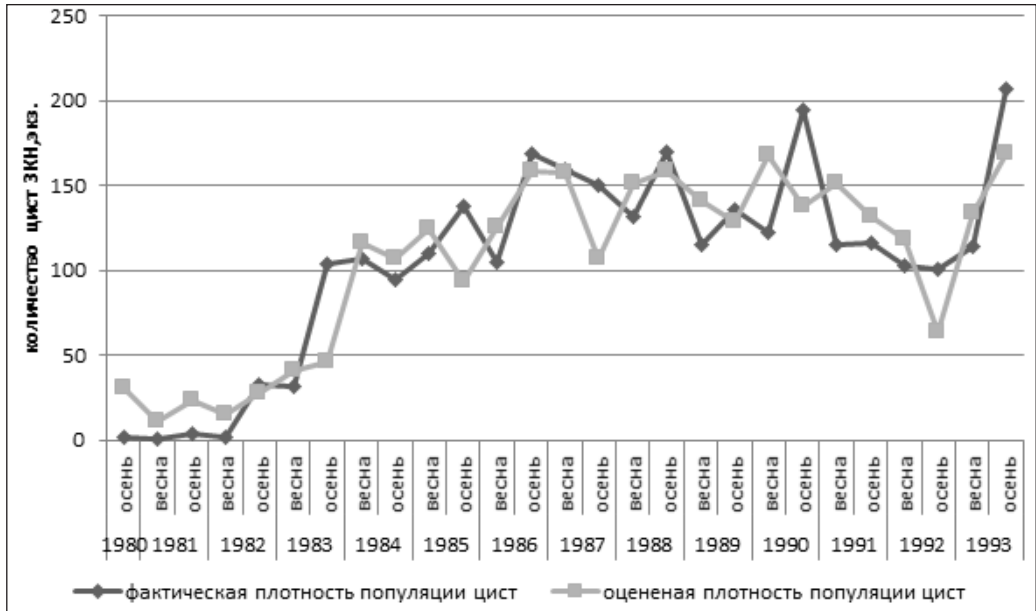


Рис. 3. Фактическая численность цист ЗКН, численность смоделированная с включением данных о динамике популяции и температуре почвы в сентябре

- x_1 — уровень осадков в мае, мм
- x_2 — уровень осадков в июне, мм
- x_3 — температура почвы на глубине 10 см в марте, $^{\circ}\text{C}$
- x_4 — температура почвы на глубине 10 см в июне, $^{\circ}\text{C}$
- $y_{(t-3)}$ — общее число яиц и личинок три периода назад (весна-осень), экз.
- $e_{(t-3)}$ — погрешность оценки три периода назад

Согласно результатам моделирования влияние на долгосрочную динамику популяции могут оказывать температуры почвы марта и июня, а также уровень осадков мая и июня. Но решающее значение имеет начальная плотность популяции и ее состояние в годы, предшествующие прогнозируемому.

Аналогичная модель, разработанная для численности цист показывает более высокий коэффициент детерминации $R^2=0.86$ и имеет вид.

$$z_t = 202.6 + 0.67 \cdot (x_1 + x_2) + 16.6 \cdot x_3 - 0.8z_{(t-3)} - 1.34e_{(t-3)} + 2.2e_{(t-1)}$$

Где,

- z_t — общее число цист в почве участка со средним уровнем плодородия, экз.
- x_1 — уровень осадков в мае, мм
- x_2 — уровень осадков в июне, мм
- x_3 — температура почвы на глубине 10 см в марте, $^{\circ}\text{C}$
- $z_{(t-3)}$ — общее число цист в почве участка 3 периода (весна-осень) назад, экз.
- $e_{(t-1)}$ — погрешность оценки три периода назад
- $e_{(t-3)}$ — погрешность оценки три периода назад

3. Модель, объясняющая динамику плотности популяции ЗКН в почве участка с низким уровнем плодородия на 72%:

$$y_t = 9425 + 27.3 \cdot x_2 + 582.8 \cdot x_3 + 287.6 \cdot x_4 - 10.6 \cdot x_6 - 0.74 \cdot y_{(t-1)} + e_{(t-1)} + e_{(t-2)}$$

Где,

- y_t — общее число яиц и личинок в почве участка с низким уровнем плодородия, экз.
- x_2 — уровень осадков в июне, мм
- x_3 — температура почвы на глубине 10 см в марте, $^{\circ}\text{C}$
- x_4 — температура почвы на глубине 10 см в июне, $^{\circ}\text{C}$
- x_6 — годовой уровень осадков, мм



Рис. 4. Фактическая ПП ЗН, плотность популяции смоделированная с включением данных о динамике популяции, температуры почвы марта и июня, уровня осадков мая и июня

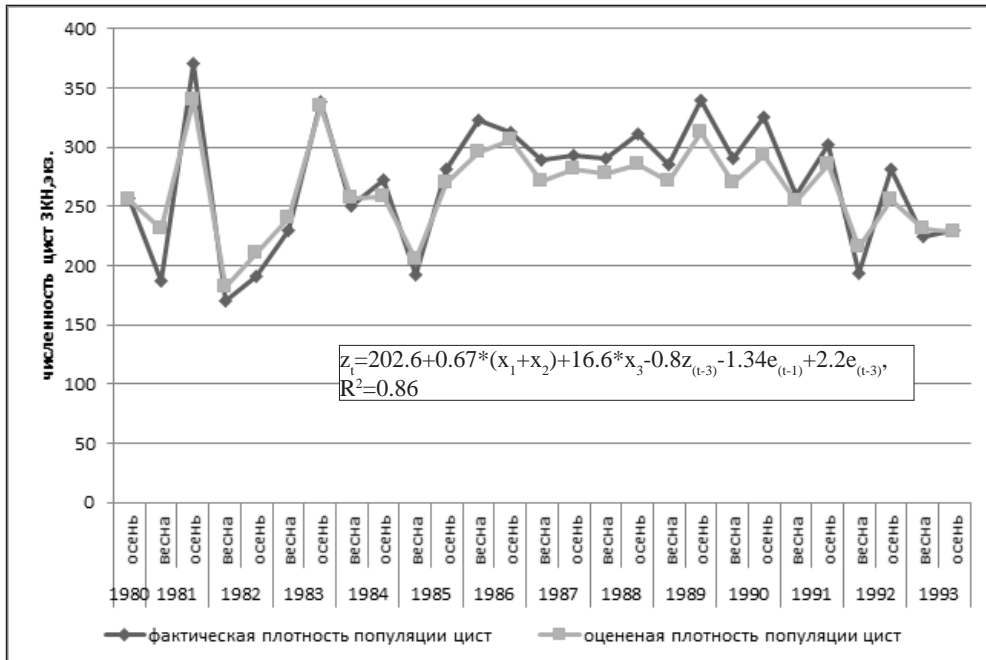


Рис. 5. Фактическая численность цист ЗН, численность смоделированная с включением данных о динамике популяции, температуры почвы марта, уровня осадков мая и июня

$y_{(t-1)}$ — общее число яиц и личинок предыдущего периода (весна-осень), экз.
 $e_{(t-1)}$ — погрешность оценки предыдущего периода
 $e_{(t-2)}$ — погрешность оценки прошлого года

Согласно результатам моделирования влияние на долгосрочную динамику популяции в почве участка с низким уровнем плодородия и агротехники могут оказывать температуры почвы марта и июня, а также годовой уровень осадков и осадки июня. Также значение имеет начальная плотность популяции в период предшествующий прогнозируемому.

Аналогичная модель, разработанная для плотности популяции цист показывает более высокий коэффициент детерминации $R^2=0.82$ и имеет вид:

$$z_t = 204.3 - 0.7 * x_1 - 10.3 * x_3 + 0.65z_{(t-3)} - 0.8e_{(t-3)}$$

Где,

z_t — общее количество цист в почве участка с низким уровнем плодородия, экз.

x_1 — уровень осадков в мае, мм

x_3 — температура почвы на глубине 10 см в марте, $^{\circ}\text{C}$

$z_{(t-3)}$ — общее количество цист в почве участка три периода (весна-осень) назад, экз.

$e_{(t-3)}$ — погрешность оценки три периода назад

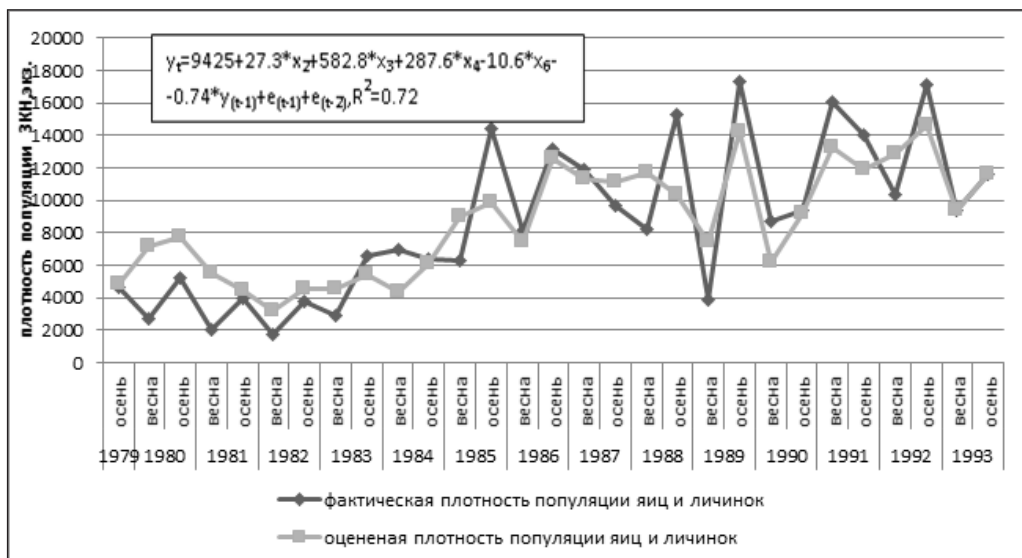


Рис. 6. Фактическая ПП ЗКН на участке с низким уровнем плодородия, ПП смоделированная с включением данных о динамике популяции, температуры почвы марта и июня, среднегодового уровня осадков и осадков июня

Заключение

Динамика численности яиц и личинок ЗКН в почве участка с низким плодородием на рис. 6. демонстрирует резкий рост плотности популяции в 1986 году, а динамика численности цист показывает такой же рост раньше, в 1983 году. Учитывая построенные регрессионные модели можно заключить, что anomalно сухой май в 1983 году вызвал увеличение числа сохранившихся к осени цист, которые позже вызвали рост плотности яиц и личинок в 1985 и 1986 гг. Эти годы, в свою очередь характеризуются высокими осадками и температурой июня — времени выхода паразита из цист. Таким образом, модель хорошо объясняет влияние метеоусловий на динамику популяции на участке с низким плодородием. Интересным является влияние температуры почвы марта как на динамику цист, так и личинок. При этом на численность личинок теплый март влияет положительно, а на численность цист — отрицательно.

Это указывает на то, что температура марта влияет не на саму популяцию нематод, а на эффективность паразитов и хищников [3]. При низких температурах марта получаем больше цист, но меньше личинок, что указывает на то, что меньшее количество личинок выходит из цист и сохраняются те цисты, которые содержат меньше личинок (крупные цисты гибнут первыми).

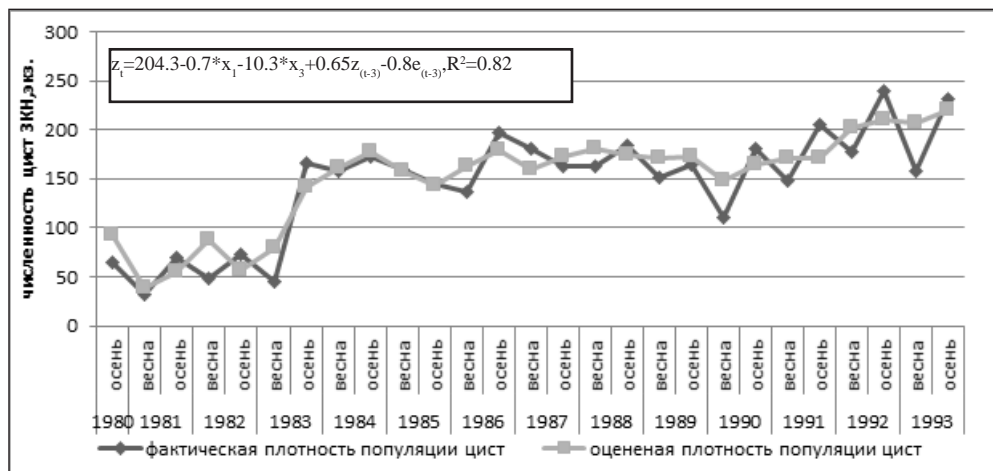


Рис.7. Фактическая численность цист ЗКН, численность смоделированная с включением данных о динамике популяции, температуры почвы марта, уровня осадков мая.

Динамика популяции в почве участка со средним уровнем плодородия показывает резкий рост числа яиц и личинок в 1986 году и всплеск плотности с последующим снижением в 1989 году (рис. 4). Количества цист при этом резко растут в 1983 году (а потом снижается) и начинает увеличиваться с 1985 года (рис. 5). За исключением всплеска 1989 года это повторяет особенности динамики для участка с низким влиянием плодородия. 1989 год характерен аномально сухим маем и теплым июнем. Для участка с низким плодородием это приводит к значительным колебаниям численности как цист, так и личинок и яиц. Однако для участка со средним плодородием эти колебания гораздо менее драматичны: наблюдается резкий скачок численности яиц и личинок, но не рост количества цист. В итоге плотность популяции снова стабилизируется на среднем уровне уже в следующий сезон.

Для участка с высоким плодородием влияние метеорологических факторов ослаблено по сравнению с участками с более низким влиянием плодородия почвы (рис. 2,3). Так, на плотность популяции яиц и личинок влияет только сумма осадков июня и мая, но не температура в эти месяцы. На количество цист вообще влияет только один метеорологический фактор: температура почвы в июне.

Отмеченные выше резкие изменения численности в 1983, 1985-1986 и 1989 гг. заметны и для этого участка. Плотность популяции яиц и личинок начинает расти с 1985 года и достигает пика к 1988, после чего падает. Количество же цист начинает расти с 1983 года, как и на других участках и достигает пика к 1990 году. Кроме осадков июля и мая, определяющих мобильность паразита, в данном случае на плотность популяции влияет также температура почвы сентября, что является неожиданным. В целом можно заключить, что для участка с высоким влиянием плодородия почвы влияние климата на динамику популяции ЗКН выражено гораздо менее явно, чем для других условий. Очевидно, высокая концентрация растения-хозяина в условиях высокого плодородия создает благоприятные факторы для развития популяции ЗКН независимо от колебаний температуры почв. Единственным ограничением является экологическая емкость среды, при превышении которой плотность популяции начинает падать, как видно из рисунков 2 и 3.

Все проведенные расчеты и анализ данных в программе Eviews позволяют сделать вывод о характере влияния агроклиматических факторов на динамику популяции. Графики, построенные в программе Excel, наглядно демонстрируют, что климатические переменные оказывают влияние на отклонения от долгосрочной динамики популяции. Отклонения метеорологических условий от типичных для региона может вызывать как резкий рост плотности популяции выше равновесного уровня, так и его сокращение. Следует отметить уменьшающую роль метеоусловий в динамике численности ЗКН при усилении влия-



ния плодородия почв. Наибольшее влияние климатические факторы имеют при низком плодородии почвы и наименьшее при высоком. Климатические факторы влияют как на непосредственно плотность популяции, так и на мобильность (выход из цист) и активность хищников. Однако долгосрочные тренд развития популяции зависит, скорее от емкости среды и истории развития самой популяции.

Довольно высокие коэффициенты детерминации (0,59-0,86) свидетельствуют о возможности использования регрессионных уравнений для прогноза динамики ПП ЗКН в почве в монокультуре картофеля в зависимости от агрометеорологических и внутривидовых факторов.

Можно сделать вывод, что линейные модели динамики численности популяции ЗКН при включении климатических данных следует использовать для разработки краткосрочных прогнозов численности популяции, однако необходим достаточно широкий массив данных о предыдущем состоянии популяции, причем достоверность прогноза прямо пропорциональна длине используемого временного ряда.

Литература

1. Шестеперов А.А. Методология компьютерного моделирования прогноза развития глободероза картофеля // Труды Всерос. ин-та гельминтологии. — М., 2003. — Т. 39. — С. 382-399.
2. Шестеперов А.А., Перевертин К.А., Выборнова Л.А. Математические модели прогноза глободероза в зависимости от плотности популяции ЗКН и агрохимических характеристик почвы // Труды ВИГИС — М., 1999. — Т.35. — С. 175-186.
3. Шестеперов А.А., Савотиков Ю.Ф. Карантинные фитогельминтозы / А.А. Шестеперов, Ю.Ф. Савотиков — М.: Колос, 1995. — 463 с.
4. Devrajan K., Seenivasan N., Solvaraj N., Rajendran G., Integrated approach for the management of potato cyst nematodes, *G. rostochiensis* and *G. pallida*, in India // *Nematol. Mediterr.* 2004. — 32, — № 1. — P. 67-70.
5. Ferris M. Effect of soil temperature on the life cycle of the golden nematode in host and nonhost species, *Phytopathology*, 1957. N. 46, pp 11-12
6. Greene W.H. *Econometric Analysis* / Pearson Education. 2003—1026 pp.
7. Hamilton J.D. *Time Series Analysis* // Princeton University Press, 1994-820 pp.
8. Kudla U., Qin L., Milac A., Kielak A., Maissen C., Overmars H., Popeijus H., Roze E., Petreacu A., Smant G. Origin, distribution and 3D-modeling of Gr-EXPBI, an expansin from the potato cyst nematode *Globoderarostochiensis* // — *FEBS Lett.* 2005. — 579, — № 11, — P. 2451-2457.
9. Mariska C.A. van Loenen, Yzanne Turbett, Chris E. Mullins, Nigel E.H. Feilden, Michael J. Wilson, Carlo Leifert and Wendy E. Seel, Low temperature—short duration steaming of soil kills soil-borne pathogens, nematode pests and weeds, *European Journal of Plant Pathology*, 2003. 109: 993–1002.
10. Robinson M.P., Atkinson H.J., Perry R.N. The influence of soil moisture and storage time on the motility, infectivity and lipid utilization of second stage juveniles of the potato cyst nematodes *Globoderarostochiensis* and *Globoderapallida* // *Rev. nematol.* 1987. — Vol. 10. — P. 343-348.
11. Robinson M.P., Atkinson H.J., Perry R.N. The influence of temperature on the hatching, activity and lipid utilization of second stage juveniles of the potato cyst nematodes *Globoderarostochiensis* and *Globoderapallida* // *Ibid* // 1987. — Vol. 10. — P. 349-354.
12. Seinhorst J.W. Dynamics of populations of plant parasitic nematodes. — In: *Ann. Rev. of Phytopathology*, 1970, — N 8, — P. 131-156.
13. Shumway R., Stoffer D. *Time Series Analysis and Its Applications: with R Examples*. Springer, 3rd Edition, 2011- 604 pp.
14. Subbotin S.A., Manuel Mundo-Ocampo, J.G. Baldwin *Systematics of cyst nematodes Volume 8 Part B (Nematology Monographs and Perspectives) / Koninklijke Brill NV, Leiden, 2010. — 512 pp.*
15. Trudgill, D.L., D.M. Parrott, K. Evans and F.V. Widdowson. Effects of potato cyst-*nematodes* on potato plants. IV Effects of fertilizers and *Heteroderarostochiensis* on the yield of two susceptible varieties. *Nematologica*, 1975. 21: 281-286
16. Van Der Wal A.F. and Vinke J.H. Soil temperature and moisture control in relation to screening *Solanum* spp. for resistance to the potato cyst nematode (*Globodera* spp.) in greenhouses *Potato Res.* 1982. 25: 23-29
17. Ward S.A., Rabbinge R. and Den Ouden H. Construction and preliminary evaluation of a simulation model of the population dynamics of the potato cyst nematode *Globoderapallida*, *Neth. J. P. Path.* 1985. 91: 27-44



References

1. Shesteporov A.A. Computer simulation methods in forecast of development of potato globoderosis. *Trudy Vseros. in-ta gel'mintologii* [Proc. of All Russ. Sci. Res. Inst. of Helminthol.]. M., 2003, vol. 39, pp. 382-399. (In Russian)
2. Shesteporov A.A. Mathematical models for forecasting potato globoderosis depending on the population density of potato cyst nematode (*Globodera* spp.) and agro-chemical characteristics of soil. *Trudy VIGIS* [Proc. of VIGIS]. M., 1999, vol. 35, pp. 175-186. (In Russian)
3. Shesteporov A.A., Savotikov Yu.F. Karantinnye fitogel'mintozy [Quarantine phytohelminthosis]. M., Kolos, 1995. 463 p. (In Russian)
4. Devrajan K., Seenivasan N., Solvaraj N., Rajendran G., Integrated approach for the management of potato cyst nematodes, *G. rostochiensis* and *G. pallida*, in India. *Nematol. Mediterr.*, 2004, vol. 32, no.1. pp. 67-70.
5. Ferris M. Effect of soil temperature on the life cycle of the golden nematode in host and nonhost species. *Phytopathology*, 1957, no. 46, pp. 11-12
6. Greene W.H. *Econometric Analysis*. Pearson Education, 2003. 1026 p.
7. Hamilton J.D. *Time Series Analysis*. Princeton University Press, 1994. 820 p.
8. Kudla U., Qin L., Milac A., Kielak A., Maissen C., Overmars H., Popeijus H., Roze E., Petreacu A., Smart G. Origin, distribution and 3D-modeling of Gr-EXPBI, an expansion from the potato cyst nematode *Globoderarostochiensis*. *FEBS Lett.*, 2005, vol. 579, no. 11, pp. 2451-2457.
9. Mariska C.A. van Loenen, Yzanne Turbett, Chris E. Mullins, Nigel E.H. Feilden, Michael J. Wilson, Carlo Leifert and Wendy E. Seel, Low temperature–short duration steaming of soil kills soil-borne pathogens, nematode pests and weeds. *European Journal of Plant Pathology*, 2003, no. 109, pp. 993–1002.
10. Robinson M.P., Atkinson H.J., Perry R.N. The influence of soil moisture and storage time on the motility, infectivity and lipid utilization of second stage juveniles of the potato cyst nematodes *Globoderarostochiensis* and *Globoderapallida*. *Rev. nematol.*, 1987, vol. 10, pp. 343-348.
11. Robinson M.P., Atkinson H.J., Perry R.N. The influence of temperature on the hatching, activity and lipid utilization of second stage juveniles of the potato cyst nematodes *Globodera rostochiensis* and *Globoderapallida* II *Ibid.*, 1987, vol. 10, pp. 349-354.
12. Seinhorst J.W. Dynamics of populations of plant parasitic nematodes. *Ann. Rev. of Phytopathology*, 1970, no. 8, pp. 131-156.
13. Shumway R., Stoffer D. *Time Series Analysis and Its Applications: with R Examples*. Springer, 2011, 604 p.
14. Subbotin S.A., Manuel Mundo-Ocampo, J.G. Baldwin *Systematics of cyst nematodes Volume 8 Part B (Nematology Monographs and Perspectives)*. Koninklijke Brill NV, Leiden, 2010. 512 p.
15. Trudgill, D.L., D.M. Parrott, K. Evans and F.V. Widdowson. Effects of potato cyst-nematodes on potato plants. IV Effects of fertilizers and *Heteroderarostochiensis* on the yield of two susceptible varieties. *Nematologica*, 1975, no. 21, pp. 281-286
16. Van Der Wal A. F. and Vinke J. H. Soil temperature and moisture control in relation to screening *Solanum* spp. for resistance to the potato cyst nematode (*Globodera* spp.) in greenhouses *Potato Res.*, 1982, no. 25, pp. 23-29
17. Ward S.A., Rabbinge R. and Den Ouden H. Construction and preliminary evaluation of a simulation model of the population dynamics of the potato cyst nematode *Globodera pallida*, *Neth. J. P1. Path.*, 1985, no. 91, pp. 27-44



Russian Journal of Parasitology, 2016, V. 36, Iss. 2

DOI: 10.12737/20071

Received: 26.02.2016

Accepted: 27.05.2016

THE ROLE OF INTRA- POPULATION AND AGRO-METEOROLOGICAL FACTORS
IN DYNAMICS OF POPULATION DENSITIES OF POTATO CYST NEMATODE
GLOBODERA ROSTOCHIENSIS

Shesteporov A.A., Luk'yanova E.A., Bondarev A.A.

All-Russian Scientific Research Institute of Fundamental and Applied Parasitology of Animals and Plants named after K.I. Skryabin, 117218 Russia, 28 B. Cheremushkinskaya St., e-mail: shesteporov@vniigis.ru

Abstract

Objective of research: to identify the role of intra-population and agro-meteorological factors in dynamics of populations of potato cyst-nematodes *Globodera rostochiensis* in potatoes grown as monoculture on loamy soil, and create the predictive mathematical models.

Materials and methods: Dynamics of population density of potato cyst-nematodes *Globodera rostochiensis* in soil were studied over 15 years (from 1979 to 1993) on three fields with highly susceptible potato cultivars grown as mono culture. Sampling, phytohelminthological analysis of soil samples were performed by standard methods. Correlation between the agro-meteorological factors and population density of potato cyst-nematodes *Globodera rostochiensis* was investigated by the time-series analysis and the program EvIEWS 7.0.

Results and discussion: The correlation analysis of agro-meteorological factors carried out for a monoculture of highly susceptible potato cultivar (average monthly soil temperature at the depth of 10cm, °C: March, June, July, August, September, December, January, February; air temperature, °C: May, June, July, August; maximum depth of soil freezing, cm; freezing period, days; depth of snow cover, cm; amount of precipitation, mm: annual average, April, May, June, July, August, September; amount of days with precipitation: May, June, July, August, September), based on the effect on the population density of potato cyst-nematodes *Globodera rostochiensis*, revealed that the most meteorological factors have no significant effects ($r=0,01-0,6$).

The following factors have a slight effect ($r=0,3-0,4$) on the population density of potato cyst-nematode *Globodera rostochiensis*: air temperature, °C in August; soil temperature at the depth of 10cm, °C in September; average effect ($r=0,5-0,6$), air temperature, °C in June; soil temperature at the depth of 10cm, in March and June; precipitations, mm: annual, May, June, July. Mathematical models for forecasting population densities of potato cyst-nematode *Globodera rostochiensis* based on agro-meteorological and intra-population factors in growing potatoes as monoculture on soils with low, medium and high level of fertility were developed.

Keywords: Golden potato cyst nematode, *Globodera rostochiensis*, forecasting, ecology.

© 2016 The Author(s). Published by All-Russian Scientific Research Institute of Fundamental and Applied Parasitology of Animals and Plants named after K.I. Skryabin. This is an open access article under the Agreement of 02.07.2014 (Russian Science Citation Index (RSCI) http://elibrary.ru/projects/citation/cit_index.asp) and the Agreement of 12.06.2014 (CA-BI.org/Human Sciences section: <http://www.cabi.org/Uploads/CABI/publishing/fulltext-products/cabi-fulltext-material-from-journals-by-subject-area.pdf>)