

4.1.3. АГРОХИМИЯ, АГРОПОЧВОВЕДЕНИЕ, ЗАЩИТА И
КАРАНТИН РАСТЕНИЙ (СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫЕ НАУКИ)

Научная статья

УДК 632.914:632.92:632.4.01/.08:004.942

DOI: 10.53914/issn2071-2243_2026_1_43

EDN: TAWMRD

**Обоснование метода выбора стратегии
фунгицидной защиты картофеля от фитофтороза****Наталья Александровна Гасратова^{1✉}, Ольга Игоревна Якушева²**¹ Санкт-Петербургский государственный университет, Санкт-Петербург, Россия² Всероссийский научно-исследовательский институт фитопатологии,
Московская область, Большие Вяземы, Россия¹ n.gasratova@spbu.ru, gasratova_na@mail.ru✉

Аннотация. Наиболее вредоносными патогенами в сельском хозяйстве являются грибы и оомицеты, так как представляют постоянную угрозу глобальной продовольственной безопасности. Только род *Phytophthora* содержит более 200 видов, включая возбудителя фитофтороза картофеля *Phytophthora infestans* (Mont.) de Bary, который являясь грибоподобным микроорганизмом, вызывает фитофтороз – серьезное заболевание картофеля, негативно влияющее на урожайность культуры. Степень поражения ботвы картофеля тесно связана с урожайностью: при сильном ее поражении недобор урожая может достигать 70%. Для снижения риска возникновения заболевания агрономы прибегают к рутинной схеме обработок фунгицидами (каждые 7–10 дней), что приводит к увеличению материальных затрат и экологической нагрузки на окружающую среду. Отмечено, что систематическое применение химических препаратов вызывает у патогена развитие резистентности. Необходимо искать альтернативные способы решения проблемы, например применять методы математического моделирования процесса развития фитофтороза. В Европе после объединения в ассоциацию специалистов, занимающихся вопросами фитофтороза и альтернариоза, была создана платформа EuroBlight для выработки приемов борьбы с этими заболеваниями. Результаты исследований членов ассоциации по оценке поражения картофеля фитофторозом, а также по изучению эффективности систем применения фунгицидов для защиты урожая (Великобритания, 2013 г.) были взяты в представляемой работе как валидационные. Благоприятные дни для развития патогена рассчитаны по архивным метеорологическим данным, при этом подбор схем опрыскивания обычно производится в ходе натурного эксперимента. Предлагается метод имитационного моделирования воздействия препарата на развитие фитофтороза, который может помочь более эффективно планировать натурный эксперимент и выбирать рациональные схемы опрыскивания. Данный способ прогнозирования степени поражения ботвы при фунгицидных опрыскиваниях может применяться при проектировании схем химической защиты, а также при разработке алгоритмов оценки потерь урожая.

Ключевые слова: картофель, фитофтороз, фунгициды, схема защиты, имитационная модель, математическая модель, площадь под кривой развития болезни (ПКРБ)

Для цитирования: Гасратова Н.А., Якушева О.И. Обоснование метода выбора стратегии фунгицидной защиты картофеля от фитофтороза // Вестник Воронежского государственного аграрного университета. 2026. Т. 19, № 1(88). С. 43–50. https://doi.org/10.53914/issn2071-2243_2026_1_43-50.

4.1.3. AGROCHEMISTRY, AGRONOMIC SOIL SCIENCE, PLANT
PROTECTION AND QUARANTINE (AGRICULTURAL SCIENCES)

Original article

**Substantiation of the method of choosing a strategy
for fungicidal protection of potato against late blight****Natalya A. Gasratova^{1✉}, Olga I. Yakusheva²**¹ Saint Petersburg State University, St. Petersburg, Russia² All-Russian Research Institute of Phytopathology, Moscow Oblast, Bolshie Vyazemy, Russia¹ n.gasratova@spbu.ru, gasratova_na@mail.ru✉

Abstract. The most harmful pathogens in agriculture are fungi and oomycetes, as they pose a constant threat to global food security. The *Phytophthora* genus alone contains more than 200 species, including *Phytophthora infestans* (Mont.) de Bary, the potato blight pathogen, which is a fungal microorganism that causes late blight, a serious potato disease that negatively affects crop yields. The degree of damage to potato tops is closely related to yield: with severe damage to the tops, harvest deficiency can reach 70%. To reduce the risk of infection, agronomists consider a routine scheme of fungicide treatments (every 7-10 days), which leads to increased material costs and ecological burden on the environment. It is noted that the systematic use of chemicals causes resistance in the pathogen. It is necessary to look for alternative ways to solve the problem, for example, to apply

methods of mathematical modeling of the late blight development process. In Europe, after joining the association of specialists dealing with late blight and early blight, the EuroBlight platform was created to formulate disease-fighting techniques. The research results of the association's members on the assessment of late blight damage to potato, as well as on the effectiveness of fungicide application systems for crop protection (Great Britain, 2013) were taken as validation matrix in the presented work. Favorable days for the development of the pathogen are calculated based on archived meteorological data, while the selection of spraying schemes is usually carried out during field experiments. A method for simulating the effect of a drug on the development of late blight is proposed, which can help to plan field experiments more effectively and choose rational spraying schemes. The proposed method for predicting the degree of damage to tops during fungicidal spraying can be used in the design of chemical protection schemes, as well as in the development of algorithms for assessing crop losses.

Keywords: potato, late blight, fungicides, protection scheme, simulation model, mathematical model, area under disease progress curve (AUDPC)

For citation: Gasratova N.A., Yakusheva O.I. Substantiation of the method of choosing a strategy for fungicidal protection of potato against late blight. *Vestnik Voronezhskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta = Vestnik of Voronezh State Agrarian University*. 2026;19(1):43-50. (In Russ.). https://doi.org/10.53914/issn2071-2243_2026_1_43-50.

Введение

Как известно, защита растений от болезней и вредителей важна для повышения эффективности земледелия, так как несвоевременное выявление вредителей и болезней приводит к снижению урожайности (может достигать 30–50%), а в отдельных случаях – к полной гибели посевов. Значение защитных мер особенно возрастает в условиях концентрации и специализации сельскохозяйственного производства.

В течение многих десятилетий в мероприятиях по защите сельскохозяйственных растений от вредителей и болезней в качестве радикального и универсального средства преобладал химический метод. Однако массовое применение пестицидов показало не только их преимущества и перспективность, но и серьезные недостатки. По мере стремительной интенсификации сельскохозяйственного производства и расширения ассортимента применяемых химических средств защиты растений все чаще отмечается резистентность, т.е. устойчивость к ним вредных организмов.

В современных условиях производство сельскохозяйственной продукции сопряжено с применением таких химических средств защиты, как фунгициды, которые имеют не только разные категории токсичности, но и различную эффективность. Фунгициды – это группа пестицидов, которые способны полностью или частично подавлять развитие возбудителей болезней растений. Целесообразность применения фунгицидов несомненна: они повышают урожайность за счет снижения потерь от болезней, улучшают качество продукции (здоровые растения имеют лучший вкус и товарный вид), а также позволяют увеличить сроки хранения продукции за счет уменьшения ее порчи.

Сохранение баланса между производством безопасной, качественной продукции в достаточном объеме и применением препаратов химической защиты растений является актуальной задачей. Одним из наиболее вредоносных патогенов в сельском хозяйстве является фитофтороз – заболевание, продуцируемое оомицетом *Phytophthora infestans* и негативно влияющее на урожайность картофеля и томатов [16]. Вредоносность фитофтороза заключается в уменьшении ассимилирующей поверхности листьев, что отражается на процессе образования и накопления питательных веществ, особенно в период клубнеобразования. Степень поражения ботвы картофеля тесно связана с урожайностью. При сильном поражении ботвы недобор урожая может достигать 70%.

В производстве картофеля для получения высокого урожая необходимо применять эффективную систему защиты против различных заболеваний, в том числе против фитофтороза. Среди стратегий борьбы [4] следует отметить фунгицидные обработки. Опрыскивание растений картофеля пестицидами может быть как рутинным (регулярно через равные промежутки времени) [15], так и ситуативным (в зависимости от прогноза погоды) [14]. В обоих случаях можно использовать различные химические средства защиты растений, которые могут отличаться как по периоду действия [2], так и эффективностью [9, 19]. Кроме того, что обработки растений картофеля увеличивают общие

материальные расходы, повышается уровень резистентности патогена по отношению к препаратам, а также возрастает нагрузка на окружающую среду. С течением времени некоторые фунгициды выводятся из обращения, так как обнаруживается их токсическое влияние на человека [11]. В данной работе рассмотрены различные схемы фунгицидной обработки растений в период вегетации.

Одним из эффективных инструментов прогнозирования развития фитофтороза является математическое моделирование. Существуют разнотипные модели возникновения и прогрессирования рассматриваемого заболевания [20, 21], которые внедрены в различные системы поддержки принятия решений (СППР). Список таких систем опубликован на платформе EuroBlight [12]. В основном такие системы предсказывают возникновение фитофтороза и дают рекомендации по началу мероприятий по химической защите растений, при этом выбор фунгицида не вполне очевиден. Математические модели развития фитофтороза картофеля, внедренные в СППР, в которых учитывалась бы фунгицидная обработка, в открытых источниках не найдены.

Материалы и методы

Рассмотрены различные схемы опрыскивания растений в зависимости от эффективности подавления развития болезни фунгицидами с учетом модели «потребитель – ресурс» на линейном ареале [17] и данных научного общества EuroBlight [13]. Сравниваются стратегии обработок и алгоритм моделирования влияния фунгицидных обработок на степень поражения ботвы картофеля.

1. В модифицированной модели [17] все числовые параметры выбираются таким образом, чтобы степень развития фитофтороза без обработок совпадала с контрольными данными натурных наблюдений. Результаты моделирования сравнивались с данными за 2013 г., полученными в результате эксперимента в Великобритании (Auchincruive Estate, Аут) [13].

Степень развития фитофтороза описывается системой дифференциальных уравнений

$$\begin{cases} \frac{\partial u}{\partial t} = \beta u \left(F_{drug}(t) \frac{v}{v+a} - \frac{u}{s} \right) + R \frac{\partial^2 u}{\partial t^2}, \\ \frac{\partial v}{\partial t} = -cu \left(\frac{v}{v+a} \right) \end{cases},$$

где $u(t, x)$ – переменная, описывающая степень развития фитофтороза;

$v(t, x)$ – доля непораженной фитофторозом ботвы, соответственно

$P = 1 - v(t, x)$ – степень поражения ботвы фитофторозом (измеряется в долях);

R – коэффициент, характеризующий подвижность «потребителя» (скорость распространения по территории);

$F_{drug}(t) = \begin{cases} K & \text{при } t \in [t_1, t_2], \\ 1 & \text{при } t \notin [t_1, t_2] \end{cases}$ – функция подавления развития фитофтороза (опрыскивание фунгицидом);

t_1 – день начала действия фунгицида;

t_2 – предполагаемый день окончания действия фунгицида;

K – коэффициент эффективности препарата, который варьирует от 0 (полное подавление развития фитофтороза) до 1 (полное отсутствие подавления развития фитофтороза). Коэффициент эффективности препарата на основе действующего вещества манкоцеба (Dithane) определялся численно.

2. На базе архивных погодных данных определялись сроки внесения фунгицида:

а) рутинное опрыскивание (через равные промежутки времени, что соответствует натурному эксперименту);

б) ситуативное опрыскивание (которое требует знания основных погодных характеристик: минимальная и максимальная суточная температура и наличие осадков за сутки).

Расчет благоприятных дней для развития фитофтороза в период вегетации картофеля и даты проведения необходимых обработок произведен по алгоритму А.В. Филиппова [7]. Итоговый результат определения дат обработок представлен в таблице 1.

Таблица 1. Даты обработок по рутинной схеме в 2013 г. [12] и рассчитанные по алгоритму А.В. Филиппова за 2013 г.

Рутинные обработки EuroBlight		Расчеты обработок по алгоритму А.В. Филиппова			
		Срок защиты препарата 7 дней		Срок защиты препарата 10 дней	
Месяц	День	Месяц	День	Месяц	День
Июль	3	Июль	1	Июль	22
	10		22		31
	17		28		
	24				
	31				
Август	8	Август	3	Август	9
	16		9		18
	23		15		27
	30		21		
			27		
Сентябрь	6	Сентябрь	2	Сентябрь	5
	14		8		14
	21		14		23
	28		20		
			26		

В таблице 1 указаны даты рутинных обработок согласно отчету EuroBlight за 2013 г. [13] и даты избирательных обработок в связи с погодными условиями и заявленной длительностью действия препарата. Отметим, что при численном моделировании с 3 июля по 25 сентября дни пронумерованы от 0 до 53. Кроме того, рассчитаны сроки и количество обработок по алгоритму А.В. Филиппова при различной длительности действия препарата (7 и 10 дней).

Ввиду того, что в 2013 г. в Великобритании погодные условия сложились благоприятными для развития фитофтороза, количество обработок по алгоритму А.В. Филиппова сравним с количеством рутинных обработок.

Результаты и их обсуждение

На рисунке 1 представлен в графическом виде итог численного моделирования.

Лучшее приближение к натурному эксперименту при обработке препаратом Dithane достигается при длительности действия препарата 7 дней и коэффициенте эффективности 0,223. Полученный результат обусловлен тем, что интенсивность подавления развития фитофтороза препаратом может быть неравномерной в период применения [3].

Следует отметить, что действующим веществом в препарате Dithane является манкоцеб (Mancozeb), продукт распада которого этилентеиомочевина (ЭТУ) представляет серьезную токсикологическую проблему, на основании чего запрещен в странах Европы [1, 10, 19]. В настоящее время идет активный поиск иных препаратов или схем опрыскивания на основе менее токсичных фунгицидов.

Различные комбинации препаратов с различной эффективностью подавления фитофтороза в одной схеме химической защиты растений рассмотрены и проанализированы в работе М.Ш. Тагирова и З.З. Салиховой [5].

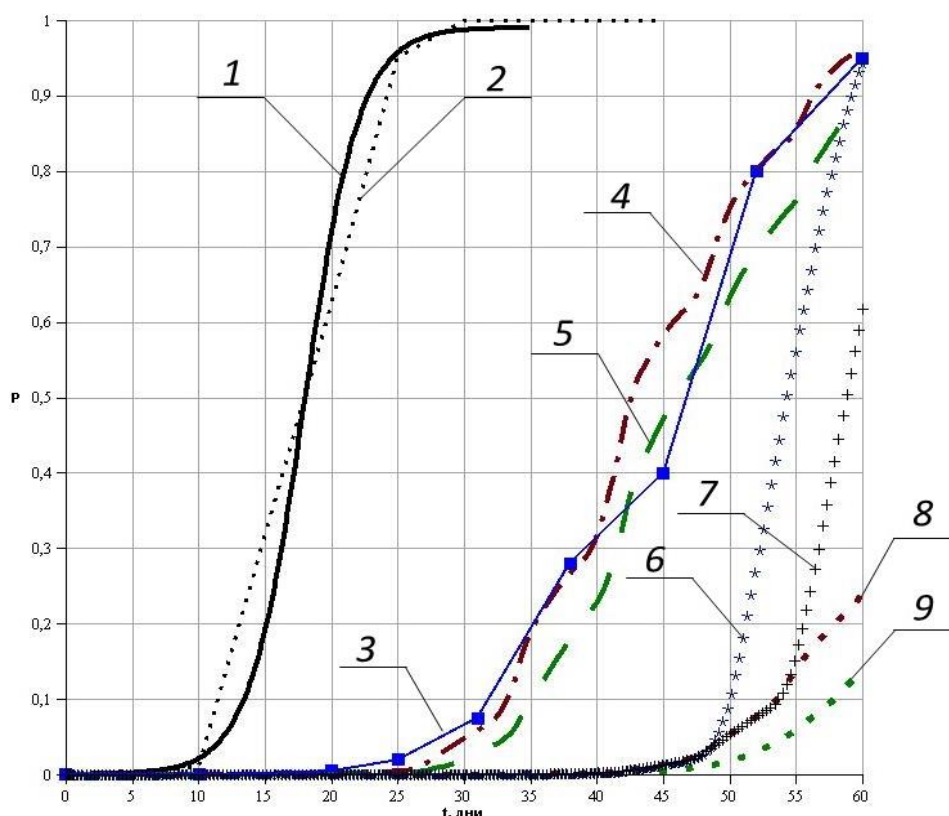


Рис. 1. Результаты имитационного моделирования степени поражения ботвы картофеля в сравнении с натурными данными (УК 2013 [13]). Числовые параметры модели $\beta = 1,4$; $\alpha = 0,05$; $R = 0,0001$; $c = 0,115$. 1 – результат моделирования без обработки; 2 – данные УК 2013; 3 – данные УК 2013, обработка Dithane; 4 – моделирование рутинной обработки при $D = 6$, $K = 0,1$; 5 – моделирование рутинной обработки при $D = 7$, $K = 0,223$; 6 – моделирование обработок по Филиппову при $D = 6$, $K = 0,1$ (исключены обработки 20, 26 сентября); 7 – моделирование обработок по Филиппову при $D = 6$, $K = 0,1$ (исключены обработки 20 сентября); 8 – моделирование обработок по Филиппову при $D = 6$, $K = 0,1$; 9 – моделирование обработок по Филиппову при $D = 7$, $K = 0,223$

При моделировании коэффициент эффективности действия препарата $D = (t_2 - t_1)$ рассматривался в пределах от 0 до 0,223. По результатам анализа данных отчета EuroBlight за 2013 г. [13] можно сделать вывод, что препарат Dithane не является самым эффективным (что также согласуется с результатами, приведенными В.И. Халаевой и И.Г. Волчкевич [8]), поэтому $K = 0,223$ будем считать предельным.

Рассмотрены несколько схем опрыскивания (табл. 2). Во всех случаях срок действия препарата составлял 7 дней при различных коэффициентах эффективности действия препаратов. Рассмотрены рутинные сроки внесения фунгицидов. Начальный срок опрыскивания – 31 июня (перед началом активного развития фитофтороза [6]).

Таблица 2. Схемы опрыскивания при различной эффективности препарата. Расчетный результат по степени поражения ботвы и площади под кривой развития заболевания (AUDPC)

Схемы моделей	Значения эффективности препарата (коэффициент K) по датам опрыскивания									Итоговое поражение ботвы, P , %	AUDPC
	31.06	8.07	16.07	23.07	30.07	06.09	14.09	21.09	28.09		
1	0,100	0,100	0,100	0,100	0,100	0,100	0,100	0,100	0,100	40	325
2	0,223	0,223	0,223	0,223	0,223	0,223	0,223	0,223	0,223	88	1350
3	0,156	0,156	0,156	0,156	0,156	0,156	0,156	0,156	0,156	64	825
4	0,223	0,070	0,070	0,070	0,070	0,070	0,070	0,223	0,223	58	550
5	0,070	0,070	0,070	0,070	0,070	0,156	0,156	0,156	0,156	51	500
6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3	10
7	0,070	0,070	0,070	0,070	0,070	0,070	0,070	0,070	0,070	25	200

AUDPC (Area Under the Disease Progress Curve) – это количественный показатель интенсивности заболевания растений с течением времени, который используется в патологии растений для оценки и сравнения тяжести заболеваний у разных сортов или генотипов, помогает разрабатывать эффективные практики управления заболеваниями для сортов с разными уровнями устойчивости.

Результаты моделирования предложенных схем опрыскивания в графическом виде представлены на рисунке 2.

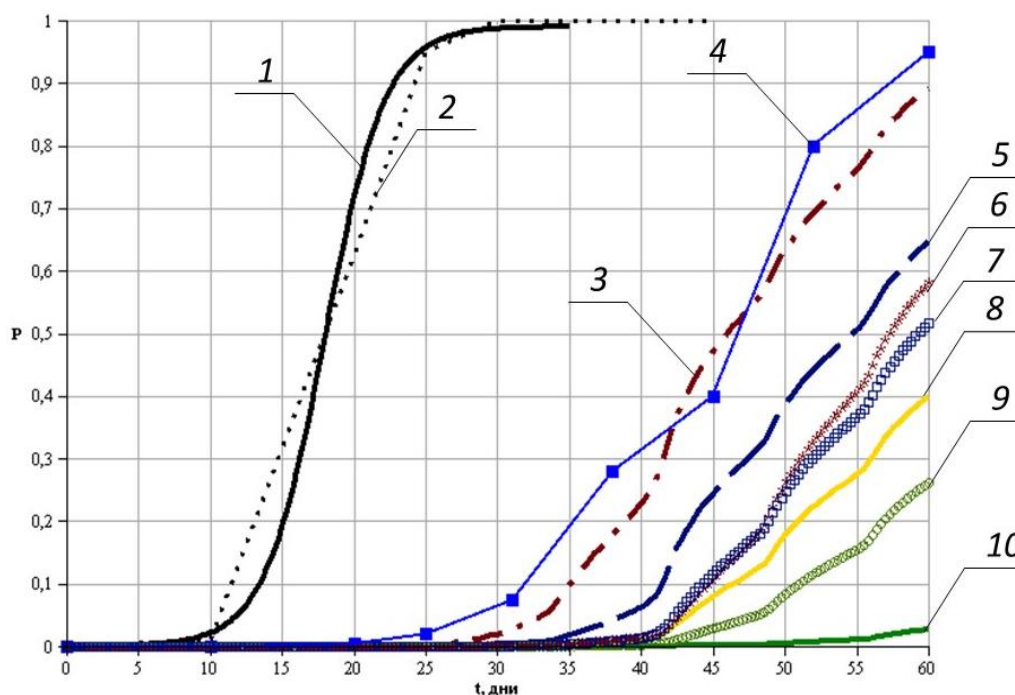


Рис. 2. Результаты имитационного моделирования степени поражения ботвы картофеля при различной эффективности фунгицида по схемам обработки: 1 – результат моделирования без обработки; 2 – данные UK 2013; 3 – моделирование рутинной обработки при $D = 7$, $K = 0,223$; 4 – данные UK 2013, обработка Dithane; 5 – моделирование рутинной обработки при $D = 7$, $K = 0,156$; 6 – моделирование рутинной обработки (схема 4); 7 – моделирование рутинной обработки (схема 5); 8 – моделирование рутинной обработки при $D = 7$, $K = 0,1$; 9 – моделирование рутинной обработки при $D = 7$, $K = 0,07$; 10 – моделирование рутинной обработки при $D = 7$, $K = 0$

Анализ данных моделирования химической защиты растений при рутинной обработке разными по интенсивности защиты препаратами, но одинаковыми по длительности действия (7 дней) показывает, что препаратами типа Dithane можно добиться следующих результатов:

- существенно снижать поражение ботвы в комбинации с другими препаратами;
- вести обработку фунгицидами с учетом погодных условий.

Зная время посадки, характеристики сорта и начало развития фитофтороза, можно прогнозировать потери урожая [18]. Наиболее простым является метод, предложенный А.В. Филипповым [7], основанный на известной гипотезе о прямой корреляции между площадью под кривой, описывающей динамику фитофтороза (AUDPC), и потерями урожая картофеля. Указанный показатель в наибольшей мере характеризует степень развития болезни в целом за сезон (особенно при сравнении различных схем защитных опрыскиваний картофеля или фитофтороустойчивости сортов).

Таким образом, предложенный способ прогнозирования степени поражения ботвы при фунгицидных опрыскиваниях может применяться при проектировании схем химической защиты с целью выбора оптимальных комбинаций препаратов, а также при разработке алгоритмов оценки потерь урожая.

Список источников

1. Ерохова М.Д., Кузнецова М.А. Аспекты интегрированной защиты картофеля от болезней в современных условиях устойчивой интенсификации сельского хозяйства Европы // Биосфера. 2022. Т. 14, № 3. С. 163–167. DOI: 10.24855/biosfera.v14i3.691.
2. Котиков М.В., Котикова Е.Е., Косенков А.С. Эффективность современной схемы защиты картофеля от фитофтороза на разных сортах // Защита и карантин растений. 2016. № 4. С. 27–28.
3. Кузнецова М.А., Рогожин А.Н., Демидова В.Н. и др. Эффективная защита картофеля от болезни различной этиологии в условиях Московской области // Аграрная наука. 2019. № 3. С. 49–53. DOI: 10.32634/0869-8155-2019-326-3-49-53.
4. Мельникова Е.С., Мелькумова Е.А. Основные вредоносные болезни картофеля в Центральном Черноземье и пути их ограничения // Вестник Воронежского государственного аграрного университета. 2024. Т. 17, № 1(80). С. 32–41. DOI: 10.53914/issn2071-2243_2024_1_32–41.
5. Тагиров М.Ш., Салихова З.З. Эффективность схем защиты картофеля от фитофтороза // Достижения науки и техники АПК. 2009. № 12. С. 20–22.
6. Филиппов А.В. Оптимизация выбора фунгицидов и сроков их применения для борьбы с фитофторозом картофеля // Защита и карантин растений. 2011. № 4. С. 56–57.
7. Филиппов А.В. Фитофтороз картофеля // Защита и карантин растений. 2012. № 5 (приложение). С. 61–88.
8. Филиппов А.В., Кузнецова М.А., Рогожин А.Н. и др. Ключевые биометеорологические факторы для оценки потерь урожая картофеля от фитофтороза // Достижения науки и техники АПК. 2018. № 3. С. 21–23.
9. Халаева В.И., Волчкевич И.Г. Изучение чувствительности оомицета *Phytophthora infestans* (Mont.) De Bary к действующим веществам фунгицидов // Защита растений. 2021. № 45. С. 168–175. DOI: 10.47612/0135-3705-2021-45-168-175.
10. Человечкова В.В., Комарова А.С. Деградация манкоцеба в ягодах и соке винограда // Плодородие. 2024. № 1. С. 63–65. DOI: 10.25680/S19948603.2024.136.16.
11. Ben Naim Y., Cohen Y. Replacing Mancozeb with Alternative Fungicides for the Control of Late Blight in Potato // Journal of Fungi. 2023. Vol. 9(11). Article No. 1046. DOI: 10.3390/jof9111046.
12. EuroBlight. A potato late blight network for Europe. URL: <https://agro.au.dk/forskning/internationale-plattform/euroblight/> (дата обращения: 11.09.2025).
13. Evenhuis A., Bain R., Hausladen H. et al. Fungicide evaluation to rate efficacy to control leaf late blight for the EuroBlight table // Wageningen Research. 2017. Report 3750328100.
14. Filippov A.V., Kuznetsova M.A., Rogozhin A.N. et al. Development and testing of a weather-based model to determine potential yield losses caused by potato late blight and optimize fungicide application // Frontiers of Agricultural Science and Engineering. 2018. Vol. 5(4). Pp. 462–468. DOI: 10.15302/J-FASE-2018239.
15. Filippov A.V., Kuznetsova M.A., Yakusheva O.I. et al. Minimization of Fungicidal Applications Against Potato Late Blight in the North Caucasian Region: Use of the “Agrodozor” System // International Scientific and Practical Conference “AgroSMART – Smart Solutions for Agriculture” (Tyumen, July 16–19, 2019). Tyumen: Knowledge E. Publishers, 2019. Pp. 884–892.
16. Fry W. *Phytophthora infestans*: the plant (and R gene) destroyer // Molecular Plant Pathology. 2008. Vol. 9(3). Pp. 385–402. DOI: 10.1111/j.1364-3703.2007.00465.x.
17. Gasratova N., Pashkova D. Application of a modified mathematical model “consumer – resource” to justify the periods of treatment of potato late blight with fungicides // IX International Conference on Advanced Agritechnologies, Environmental Engineering and Sustainable Development (AGRITECH-IX 2023) (Namangan, Uzbekistan, October 26 – November 03, 2023). E3S Web of Conferences. 2024. EDP Sciences - Web of Conferences Publishers, 2024. Vol. 486. Article No. 03012. DOI: 10.1051/e3sconf/202448603012.
18. González-Jiménez J., Andersson B., Wiik L. et al. Modelling potato yield losses caused by *Phytophthora infestans*: Aspects of disease growth rate, infection time and temperature under climate change // Field Crops Research. 2023. Vol. 299. Article No. 108977. DOI: 10.1016/j.fcr.2023.108977.
19. Kilonzi J.M., Nyongesa M.W., Amata R.L. et al. Combined effects of fungicides formulations and potato varieties on late blight management, yield and net farm income in Kenya // European Journal of Plant Pathology. 2024. Vol. 169(2). Pp. 625–642. DOI: 10.1007/s10658-024-02862-9.
20. Narouei-Khandan H.A., Shakya S.K., Garrett K.A. et al. BLIGHTSIM: A new potato late blight model simulating the response of *Phytophthora infestans* to diurnal temperature and humidity fluctuations in relation to climate change // Pathogens. 2020. Vol. 9(8). Article No. 659. DOI: 10.3390/pathogens9080659.
21. Van Oijen M. Selection and use of a mathematical model to evaluate components of resistance to *Phytophthora infestans* in potato // Netherlands Journal of Plant Pathology. 1992. Vol. 98. Pp. 192–202.

References

1. Erokhova M.D., Kuznetsova M.A. Aspects of integrated disease management for potato under current conditions of sustainable intensification of agriculture of Europe. *Biosfera*. 2022;14(3):163-167. DOI: 10.24855/biosfera.v14i3.691. (In Russ.).
2. Kotikov M.V., Kotikova E.E., Kosenkov A.S. Efficiency of the modern scheme of potato protection against the late blight on different varieties. *Plant Protection and Quarantine*. 2016;4:27-28. (In Russ.).
3. Kuznetsova M.A., Rogozhin A.N., Demidova V.N. et al. Efficient protection of potato from diseases of various etiology under conditions of the Moscow region. *Agrarian Science*. 2019;3:49-53. DOI: 10.32634/0869-8155-2019-326-3-49-53. (In Russ.).

4. Melnikova E.S., Melkumova E.A. Most common harmful potato diseases in the Central Chernozem Region and means for their limitation. *Vestnik of Voronezh State Agrarian University*. 2024;17(1):32-41. DOI: 10.53914/issn2071-2243_2024_1_32-41. (In Russ.).
5. Tagirov M.Sh., Salikhova Z.Z. Effectiveness of late blight protection schemes for potato. *Achievements of Science and Technology in Agro-Industrial Complex*. 2009;12:20-22. (In Russ.).
6. Filippov V.V. Optimization of the fungicides selection and time of their application to control late blight of potato. *Plant Protection and Quarantine*. 2011;4:56-57. (In Russ.).
7. Filippov A.V. Potato late blight. *Plant Protection and Quarantine*. 2012;5(Suppl.):61-88. (In Russ.).
8. Filippov A.V., Kuznetsova M.A., Rogozhin A.N. et al. Key biometeorological factors for estimating potato yield losses caused by late blight. *Achievements of Science and Technology in Agro-Industrial Complex*. 2018;32(3):21-23. DOI: 10.24411/0235-2451-2018-10304. (In Russ.).
9. Khalaeva V.I., Volchkevich I.G. Study of oomycete *Phytophthora infestans* (Mont.) De Bary sensitivity to fungicide active ingredients. *Plant Protection*. 2021;45:168-175. DOI: 10.47612/0135-3705-2021-45-168-175. (In Russ.).
10. Chelovechkova V.V., Komarova A.S. Degradation of mancozeb in grapes and grape juice. *Plodorodie*. 2024;1:63-65. DOI: 10.25680/S19948603.2024.136.16. (In Russ.).
11. Ben Naim Y., Cohen Y. Replacing Mancozeb with Alternative Fungicides for the Control of Late Blight in Potato. *Journal of Fungi*. 2023;9(11):1046. DOI: 10.3390/jof9111046.
12. EuroBlight. A potato late blight network for Europe. URL: <https://agro.au.dk/forskning/internationale-platforme/euroblight/>.
13. Evenhuis A., Bain R., Hausladen H. et al. Fungicide evaluation to rate efficacy to control leaf late blight for the EuroBlight table. *Wageningen Research*. 2017. Report 3750328100.
14. Filippov A.V., Kuznetsova M.A., Rogozhin A.N. et al. Development and testing of a weather-based model to determine potential yield losses caused by potato late blight and optimize fungicide application. *Frontiers of Agricultural Science and Engineering*. 2018;5(4):462-468. DOI: 10.15302/J-FASE-2018239.
15. Filippov A.V., Kuznetsova M.A., Yakusheva O.I. et al. Minimization of Fungicidal Applications Against Potato Late Blight in the North Caucasian Region: Use of the "Agrodozor" System. In: International Scientific and Practical Conference "AgroSMART – Smart Solutions for Agriculture" (Tyumen, July 16-19, 2019). Tyumen: Knowledge E. Publishers; 2019:884-892.
16. Fry W. *Phytophthora infestans*: the plant (and R gene) destroyer. *Molecular Plant Pathology*. 2008;9(3):385-402. DOI: 10.1111/j.1364-3703.2007.00465.x.
17. Gasratova N., Pashkova D. Application of a modified mathematical model "consumer – resource" to justify the periods of treatment of potato late blight with fungicides. In: IX International Conference on Advanced Agritechnologies, Environmental Engineering and Sustainable Development (AGRITECH-IX 2023) (Namangan, Uzbekistan, October 26 – November 03, 2023). E3S Web of Conferences. 2024. EDP Sciences - Web of Conferences Publishers. 2024;486:03012. DOI: 10.1051/e3sconf/202448603012.
18. González-Jiménez J., Andersson B., Wiik L. et al. Modelling potato yield losses caused by *Phytophthora infestans*: Aspects of disease growth rate, infection time and temperature under climate change. *Field Crops Research*. 2023;299:108977. DOI: 10.1016/j.fcr.2023.108977.
19. Kilonzi J.M., Nyongesa M.W., Amata R.L. et al. Combined effects of fungicides formulations and potato varieties on late blight management, yield and net farm income in Kenya. *European Journal of Plant Pathology*. 2024;169(2):625-642. DOI: 10.1007/s10658-024-02862-9.
20. Narouei-Khandan H.A., Shakya S.K., Garrett K.A. et al. BLIGHTSIM: A new potato late blight model simulating the response of *Phytophthora infestans* to diurnal temperature and humidity fluctuations in relation to climate change. *Pathogens*. 2020;9(8):659. DOI: 10.3390/pathogens9080659.
21. Van Oijen M. Selection and use of a mathematical model to evaluate components of resistance to *Phytophthora infestans* in potato. *Netherlands Journal of Plant Pathology*. 1992;98:192-202.

Информация об авторах

Н.А. Гасратова – кандидат физико-математических наук, доцент кафедры вычислительных методов механики деформированного тела ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский государственный университет», n.gasratova@spbu.ru, gasratova_na@mail.ru.

О.И. Якушева – кандидат сельскохозяйственных наук, научный сотрудник, ФГБНУ «Всероссийский научно-исследовательский институт фитопатологии», o.vladykina@inbox.ru, sodcover@gmail.com.

Information about the authors

N.A. Gasratova, Candidate of Physical and Mathematical Sciences, Docent, the Dept of Computational Methods in Continuum Mechanics, Saint Petersburg State University, n.gasratova@spbu.ru, gasratova_na@mail.ru.

O.I. Yakusheva, Candidate of Agricultural Sciences, Research Scientist, All-Russian Research Institute of Phytopathology, o.vladykina@inbox.ru, sodcover@gmail.com.

Статья поступила в редакцию 15.11.2025; одобрена после рецензирования 26.12.2025; принята к публикации 12.01.2026.

The article was submitted 15.11.2025; approved after reviewing 26.12.2025; accepted for publication 12.01.2026.

© Гасратова Н.А., Якушева О.И., 2026