



Управление рисками в сельском хозяйстве Risk management in agriculture


DOI: 10.22363/2312-797X-2022-17-2-232-244

УДК 631.5:338.27:338.439.222

Научная статья / Research article

Методический подход к оценке рисков возможного недобора урожая при реализации агротехнологий

В.В. Якушев  , В.В. Воропаев , В.С. Ломакин 

Агрофизический научно-исследовательский институт,
г. Санкт-Петербург, Российская Федерация
 mail@agrophys.com

Аннотация. Исследованы методы оценки рисков в процессе принятия решений по управлению агротехнологиями с целью разработки методического подхода к оценке рисков возможного недобора урожая при отклонениях от проектных параметров в процессе реализации. В исследовании использованы методики анализа информации из предметной области управления рисками. Составлен реестр возможных отклонений проектных значений параметров процессов при реализации агротехнологий. Разработан новый подход к оценке рисков возможного недобора урожая в ходе реализации агротехнологии с отклонениями параметров процессов от проектных значений. Использование предлагаемого подхода обеспечит автоматизированное ранжирование вариантов принимаемых решений по степени риска возможного недобора урожая при отклонении от проектных значений параметров реализуемых технологических процессов, что будет способствовать переходу к интеллектуальному управлению растениеводством.

Ключевые слова: риск, недобор урожая, управление, ранжирование вариантов решений, автоматизация управления растениеводством

© Якушев В.В., Воропаев В.В., Ломакин В.С., 2022



This work is licensed under a Creative Commons Attribution 4.0
International License <https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/1>


Заявление о конфликте интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

История статьи: поступила в редакцию 21 апреля 2021 г., принята к публикации 22 марта 2022 г.

Для цитирования: Якушев В.В., Воронаев В.В., Ломакин В.С. Методический подход к оценке рисков возможного недобора урожая при реализации агротехнологий // Вестник Российского университета дружбы народов. Серия: Агронимия и животноводство. 2022. Т. 17. № 2. С. 232—244. doi: 10.22363/2312-797X-2022-17-2-232-244

Methodical approach to assessing risks of possible yield losses during implementation of agricultural technologies

Vyacheslav V. Yakushev  , Valeriy V. Voropayev , Vladimir S. Lomakin 

Agrophysical Research Institute, Saint Petersburg, Russian Federation
 mail@agrophys.com

Abstract: The methods of risk assessment and decision-making in the management of agrotechnology were studied in order to develop a methodical approach to assessing the risks of possible yield losses in case of deviations from the project parameters in the implementation of agrotechnology. The study uses methods of analyzing information from the subject area of risk management in the management of agricultural technology. A registry of possible deviations in the design values of process parameters in the implementation of agricultural technologies has been compiled. A new approach has been developed to assess the risks of possible yield losses in the implementation of agrotechnology with deviations in process parameters from project values. Using the proposed approach will provide an automated ranking of options for decisions on the degree of risk of possible crop failure in case of deviations from the designed values, which will facilitate the transition to intelligent management of crop production.

Keywords: risk, yield losses, management, ranking of options, automated crop management

Conflicts of interest. The authors declared no conflicts of interest.

Article history: Received: 21 April 2021. Accepted: 22 March 2022

For citation: Yakushev VV, Voropayev VV, Lomakin VS. Methodical approach to assessing risks of possible yield losses during implementation of agricultural technologies. *RUDN Journal of Agronomy and Animal Industries*. 2022;17(2):232—244. doi: 10.22363/2312-797X-2022-17-2-232-244

Введение

Лица, принимающие решения (далее ЛПР) при управлении агротехнологиями, несут личную ответственность за своевременный и безопасный выпуск заданного количества продукции растениеводства. Для них процесс управления производством продукции растениеводства (далее управление агротехнологиями) состоит из серии

многоходовых задач, в которых необходимо в режиме реального времени просчитать множество возможных вариантов решений по одним исходным данным и выбрать единственный вариант для реализации, соответствующий прогнозу развития условий производства при минимальном риске потерь урожая. Реализуя процесс управления агротехнологиями ЛПР делает два вида прогнозов для подконтрольной территории: прогноз развития природных условий, которые влияют на урожай независимо от его решений и действий; прогноз развития растений как управляемый производственный процесс, в котором ЛПР через свои решения формирует заданный урожай. Принимая управленческие решения, ЛПР учитывает вероятность риска недобора урожая как от погодных условий, так и от действий субъектов-исполнителей, по тем или иным причинам допускающим реализацию агротехнологии с отклонениями параметров процессов от проектных (заданных) значений [1]. Методы оценки вероятности риска недобора урожая из-за неблагоприятных природных условий разработаны, в т.ч. с учетом статистики метеонаблюдений по регионам. На этой основе рассчитывают страховые компенсирующие мероприятия по возмещению убытков от неблагоприятных природных явлений [2, 3].

Методические подходы к оценке вероятности рисков недобора урожая из-за ошибок в решениях ЛПР или действий исполнителей исследованы недостаточно и находятся в стадии изучения. На практике для снижения рисков потерь урожая принято в конце каждого производственного цикла анализировать результаты действий исполнителей с целью выявления субъективных ошибок и принятия мер для их исключения в последующих циклах [4, 5]. Таким образом ЛПР и субъекты-исполнители накапливают личный опыт управления агротехнологией в ручном режиме. Однако, машинные агротехнологии, постоянно совершенствуясь на основе научных достижений, достигли такой степени сложности и интенсивности, что у ЛПР и исполнителей решений возникает острая нехватка времени для обработки информации, ведущей к увеличению числа ошибок. Риск недобора урожая из-за событий-ошибок перерастает в проблему, требующую решения¹ [6–8]. Для снижения вероятности риска ошибок управления ученые рекомендуют передавать отдельные функции ЛПР роботам, что в итоге должно обеспечить постепенный переход к управлению агротехнологиями на основе принципов интеллектуального (точного) земледелия. Этот процесс идет через разработку и внедрение систем поддержки решений (далее СППР) на основе цифровых моделей агротехнологий [9] и автоматизированных рабочих мест (далее АРМ) для ЛПР² [5, 10].

Одной из задач таких СППР является автоматизированный расчет вариантов управленческих решений по одним исходным данным. При этом человек выполняет выбор пригодного для реализации варианта и его подготовку для ввода в систему управления робота. Кроме того, появляется возможность опережающей разработки компенсирующих мероприятий в соответствии с выявленными рисками

¹ Новиков В. Сто ошибок агронома // Сайт agrobok. Режим доступа: <https://agrobok.ru/blog/tags/sto-oshibok-agronoma> Дата обращения: 18.07.2019.

² Точное сельское хозяйство / Д. Шпаар, В.А. Захаренко, В.П. Якушев, Н.В. Арефьев, Х. Ауернхаммер, Р. Брунш, П. Вагнер, Г. Вартенберг, К.О. Венкель, А. Вернер, Д. Войтук, Р. Герхардс, К. Даммер, Б. Домен, С. Каленская, О. Кауфманн, А. Клочков, С. Кохан, П. Ляйтхольд, А. Лысов // под общей ред. Д. Шпаара, А.В. Захаренко, В.П. Якушева. Санкт-Петербург-Пушкин, 2009. 397 с.

потери урожая. Наша рабочая гипотеза заключается в том, что если разработать и применить в СППР методику автоматизированного ранжирования вариантов управленческих решений по степени риска возможного недобора урожая при их реализации, то уменьшится влияние человеческого фактора на процесс выбора и появится возможность опережающей разработки компенсирующих мероприятий в соответствии с выявленными рисками потерь.

Цель исследования — разработка методического подхода к автоматизированному ранжированию вариантов управленческих решений, рассчитываемых в СППР по одним исходным данным и предлагаемых ЛПР для выбора.

Реализацию цели мы рассматриваем как первый шаг к разработке новой методики оценки рисков недобора урожая из-за субъективных ошибок при управлении агротехнологиями.

Использование новой методики на этапе перехода от машинной технологии к «умному земледелию» будет способствовать формированию активной позиции ЛПР при оценке деятельности своей команды в составе сельскохозяйственного предприятия.

Материалы и методы исследования

Объектами исследований являются типы научно-обоснованных методов оценки рисков и процесс принятия решений ЛПР при управлении агротехнологиями.

Задачи исследований:

— проанализировать основные научно обоснованные методы оценки рисков и выбрать соответствующий задачам исследований;

— исследовать процесс принятия решений ЛПР по управлению агротехнологией, как источник риска, сформулировать темы типичных решений, установить возможные ошибки (рискованные ситуации), оценить их влияние на количественные показатели урожая;

— разработать описание методического подхода к оценке рисков недобора урожая из-за ошибочных решений и действий субъектов, участвующих в управлении агротехнологией;

— оценить возможность применения разработанного методического подхода в СППР для ЛПР и исполнителей, участвующих в управлении агротехнологией.

Применены методики сбора и анализа информации предметной области и синтеза научной продукции на основе материалов исследований.

Результаты исследования и обсуждение

Анализ основных типов методов оценки рисков. Оценка рисков — это определение индивидуальной значимости каждого установленного и исследуемого риска. Методы оценки рисков подразделяются на три группы^{3,4} [11—12].

³ Ротарь М. Десять золотых правил работы с рисками на проекте // Ganttpro. 07.08.2020. Режим доступа: <https://blog.ganttpro.com/ru/pravila-raboty-s-riskami-na-proekte/>

⁴ Картвешвили В.М., Свиридова О.А. Риск-менеджмент. Методы оценки риска. М.: ФГБОУ ВО «РЭУ им. Г.В. Плеханова», 2017. 120 с.

Количественные методы основаны на анализе и расчете вероятности неблагоприятного события, влекущего ущерб. Количественная мера риска определяется из закона распределения ущерба. Разнообразие мер риска порождает проблему выбора меры, адекватной целям и задачам управления в конкретных условиях. Наиболее часто используются такие меры риска как математическое ожидание, дисперсия, среднеквадратическое отклонение, VaR, полудисперсия. Этот список можно продолжить [13]. Количественные методы дают оценку риска в цифровой форме, что позволяет их эффективно применять при автоматизированном ранжировании в СППР. В данной работе ранжированию подвергаются управленческие решения. Однако, для реализации количественных методов оценки рисков недобора урожая необходимо иметь перечень и количественные характеристики потенциальных источников вреда. В рассматриваемом случае источником вреда являются субъективные ошибки, возможные при принятии управленческих решений. Систематизированный учет таких ошибок в растениеводстве пока не налажен, поэтому на данном этапе исследований пришлось отказаться от использования количественных методов оценки рисков.

Нормативные методы идентификации риска базируются на сопоставлении реальных значений факторов риска с принятыми для них нормативами. Нормативы могут быть рассчитаны на основе экспериментальных данных или установлены количественными методами. Мы не обнаружили нормативов оценки рисков, пригодных для применения в исследуемой области.

Экспертные методы основаны на анализе заключений, мнений и оценок рискованных ситуаций экспертами. Экспертные методы применяются для идентификации риска. К экспертным методам отнесены: метод Делфи, метод сценариев, метод мозгового штурма [14].

Метод Делфи заключается в анализе ответов экспертов на вопросы заранее составленной анкеты о степени риска возникновения того или иного события. Вопросы составляют так, чтобы они сводились к числовой форме ответов. Заполнение анкет производится в несколько туров. Перед каждым туром эксперты обсуждают результаты предыдущего тура и вносят в анкеты корректировки, способствующие объективности оценки рисков. На основании обработки анкет по установленной методике рассчитывают степень риска.

Метод сценариев используют для прогнозирования появления риска путем разработки вариантов (сценариев) развития событий. Общее число сценариев не должно противоречить здравому смыслу, но их список должен быть исчерпывающим. Прогнозирование развития событий производится в рамках каждого варианта (сценария) с целью получения ответов на интересующие исследователя вопросы.

Метод мозгового штурма используют в поисках новых идей для развития производства. Реализация метода заключается в организации собрания экспертов и постановке перед ними задачи по решению проблемы. При выступлениях в собрании эксперты должны придерживаться определенных правил. Например, нельзя критиковать предложения экспертов, но можно развивать чужие идеи и высказывать свои. Ведется аудиозапись дискуссии, которая обрабатывается экспертами

с выделением полезных идей. За 2 часа дискуссии обычно формируется до 100 идей, из которых выделяются 3—5 пригодных для извлечения полезного эффекта.

Для исследования процесса принятия решений по управлению агротехнологией как источника рисков мы применили экспертный метод Делфи. Была организована очно-заочная дискуссия специалистов с практическим опытом работы по управлению агротехнологиями. При исследовании специалисты идентифицировали и характеризовали влияние ошибок в управленческих решениях на недобор урожая и риск их возникновения. Как источник вреда здесь принимаем вредоносную ошибку, случайно появляющуюся в процессе выработки и принятия управленческих решений. Вероятность ее появления обуславливает возникновение риска недобора урожая.

Результаты исследования процесса принятия решений по управлению агротехнологией как источника риска. Для исследования принято следующее описание процесса управления. ЛПР управляет агротехнологией из 7 технологических процессов, составляющих производственный цикл длительностью календарный год. Процесс управления состоит из подготовки (расчета) управленческих решений и их выполнения в соответствии с временем года и фазами развития растений. Темы управленческих решений повторяются в каждом производственном цикле, т.е. ежегодно. Разрабатывая ежегодно проект агротехнологии, ЛПР полагает, что если решения, заложенные в проект, при реализации будут выполнены с разумной корректировкой в оптимальные агротехнические сроки с соблюдением показателей качества операций, то урожай будет близок к плановому, а риск недобора урожая исключается. Однако, если в решении ЛПР или при его выполнении случайно возникает ошибка, то неизбежно возникает риск недобора урожая. Попытки исправления ошибки возможны, они снижают степень риска, но не гарантируют его исключение. Влияние на урожай каждого события, в т.ч. и ошибки в управленческих решениях ЛПР или исполнителей оценивают при анализе деятельности отрасли растениеводства в конце производственного цикла.

Информация по оценке действий участников управления агротехнологией касается деятельности конкретных членов коллектива, поэтому исследование проведено на условиях анонимности экспертов. Для исследования процесса принятия решений как источника риска применен метод Делфи. Оценку источников риска эксперты выполнили с использованием матрицы рисков (табл. 1).

Таблица 1

Матрица рисков

| Вероятность | Описание вероятности | Масштаб последствий | | | | |
|-------------|------------------------|---------------------|-----------|---------|---------|----------------|
| | | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
| | | Незначительный | Небольшой | Средний | Высокий | Крайне высокий |
| 5 | Практически достоверно | В | В | В | К | К |
| 4 | Весьма вероятно | С | С | В | К | К |
| 3 | Возможно | М | С | С | В | В |
| 2 | Маловероятно | М | М | С | С | С |
| 1 | Крайне маловероятно | М | М | М | М | М |

Примечание. М – невысокий риск; С – средний риск; В – высокий риск; К – крайне высокий риск.

Table 1

Risk Matrix

| Probability | Probability description | Scale of effects | | | | |
|-------------|-------------------------|------------------|-----|--------|------|-----------|
| | | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
| | | Very low | Low | Medium | High | Very high |
| 5 | Certain | B | B | B | K | K |
| 4 | Almost certain | C | C | B | K | K |
| 3 | Probable | M | C | C | B | B |
| 2 | Probably not | M | M | C | C | C |
| 1 | Almost certainly not | M | M | M | M | M |

Note. M – low risk; C – medium risk; B – high risk; K – very high risk.

Перед экспертами поставлены задачи: сформулировать возможные ошибки как источники риска недобора урожая, оценить масштаб последствий ошибки, оценить вероятность появления ошибки в управленческих решениях, оценить уровень риска недобора урожая.

Результаты исследования отражены в табл. 2 и 3. В табл. 2 обобщены результаты дискуссии и анкетирования. В столбце 2 сформулированы участниками дискуссии 13 возможных ошибок в решениях по управлению агротехнологией. Из них 7 связаны с нарушением агротехнических сроков ведения работ и пять с нарушением технологических показателей, установленных регламентом реализации процесса. В столбце 3 сделано описание масштаба возможных последствий от допущенных субъективных ошибок в семи технологических процессах в составе агротехнологий. Возможный недобор урожая из-за субъективных ошибок при управлении разными технологическими процессами оценивается экспертами от 5 до 80 % от запрограммированной величины в зависимости от характера ошибки и процесса, в котором она совершена.

Таблица 2

Масштаб последствий субъективных ошибок при управлении технологическими процессами в составе агротехнологии

| Технологический процесс | Описание возможной ошибки | Возможный недобор урожая и другие последствия ошибки |
|------------------------------------|---------------------------------|--|
| 1 | 2 | 3 |
| Глубокая обработка почвы (вспашка) | Работа на пересушенной почве | Иссушение и переуплотнение почвы вызывает возрастание ее сопротивления плугу на 150 % (+11...16 л/га дополнительного дизтоплива). При иссушении почвы на глубину 30 см рассчитывать на высокий урожай нет смысла |
| | Работа на переувлажненной почве | Переувлажненная почва плохо поддается обработке. При обработке образуются огромные пласты, которые быстро пересыхают, что в конечном итоге приводит к увеличению площади поверхности испарения. Вероятность снижения урожая в 1,7–1,8 раза |

| Технологический процесс | Описание возможной ошибки | Возможный недобор урожая и другие последствия ошибки |
|------------------------------------|--|--|
| 1 | 2 | 3 |
| Глубокая обработка почвы (вспашка) | Нарушение агротехнических требований (сроков вспашки или предпосевной обработки) | Задержка с проведением предпосевной обработки почвы сдерживает сев. При нарушении оптимальных сроков сева, которые продолжают в течение 5–7 дней после наступления физической спелости почвы, недобор урожая зерна в расчете на один день опоздания с посевом составляет, например, в условиях Беларуси в среднем 0,8 ц/га |
| Предпосевная обработка почвы | Недостаточная выровненность поля | Снижение урожайности до 30 % из-за просевов и сбоев режимов работы посевных и посадочных машин |
| Основное внесение удобрений | Повышение дозы | Снижение урожайности зерновых из-за полегания до –43 %, на пропашных культур снижение урожайности из-за распространения болезней |
| | Занижение дозы | Недостаток азота – снижение урожайности зерновых до 60 %. Недостаток кальция останавливает вегетацию растений. Для пропашных при занижении дозы потери находятся в интервале 30...56 % |
| Посев (посадка) | Опережение оптимального срока | Потери могут быть до 5 % |
| | Пропуск оптимального срока | Ячмень: на 20 дней до –30 %; овес: на 20 дней до –20 %; яр. пшеница: на 10...12 дней: до –23...27 %. Потери пропашных могут достигать 1,5...2 % за каждый день пропуска |
| | Превышение нормы высева | Уменьшаются показатели всех элементов структуры урожая – продуктивная кустистость, количество зерен и масса зерна в колосе, масса 1000 зерен |
| Уход за посевами | Отклонение от опт. сроков мероприятий | Потери урожая оцениваются в 15...17 % |
| Уборка | Уборка незрелого урожая | Потери есть, но не оцениваются, качество урожая снижается значительно |
| | Уборка перезрелого урожая | Задержка уборки на 10...14 дней – потеря урожая до 60 %; Каждый день перестоя урожайность зерновых снижается на 1–2 %, а при неблагоприятных погодных условиях снижается в разы. |
| Подготовка урожая к хранению | Нарушение режимов сортировки, сушки, охлаждения. | Снижается качество готовой продукции |

Table 2

Scale of effects of subjective errors in the management of technological processes as part of agricultural technology

| Technological process | Description of possible error | Possible yield losses and other error effects |
|-----------------------|-------------------------------|--|
| 1 | 2 | 3 |
| Deep tillage | Dry soil | Drying and overcompaction of soil causes an increase in its resistance to plow by 150 % (+ 11...16 l/ha of additional diesel fuel). When the soil dries to a depth of 30 cm, it makes no sense to count on a high yield. |

Ending of table 2

| Technological process | Description of possible error | Possible yield losses and other error effects |
|-----------------------|--|--|
| 1 | 2 | 3 |
| Deep tillage | Waterlogged soil | Waterlogged soil is difficult to cultivate. During processing, huge layers are formed, which quickly dry out, it ultimately leads to an increase in evaporation surface area. Probability of yield reduction is by 1.7–1.8 times |
| | Violation of agrotechnical requirements (terms of plowing or pre-sowing treatment) | The delay in pre-sowing tillage hinders sowing. In case of violation of the optimal sowing time, which lasts for 5–7 days after the onset of physical ripeness of the soil, yield loss per one day of sowing delay averages 0.8 c/ha for Belarus |
| Pre-sowing tillage | Insufficient field alignment | Yield reduction up to 30 % due to sifting and failures in operation modes of sowing and planting machines |
| Basic fertilization | Overdosing | Decrease in grain yields due to lodging up to –43 %, in row crops – decrease in yield due to the spread of diseases |
| | Underdosing | Lack of nitrogen leads to a decrease in grain yields up to 60 %. The lack of calcium stops the vegetation of plants. For row crops, when the dose is underestimated, the losses are in the range of 30...56 % |
| Sowing (planting) | Ahead of the optimal period | Losses can be up to 5 % |
| | Missing the optimal time | Barley: 20 days up to –30 %; oats: for 20 days up to –20 %; spring wheat: for 10...12 days: up to –23...27 %. Losses of row crops can reach 1.5...2 % for each day of delay |
| | Overseeding | All indicators of crop structure are reduced – productive tillering, number of grains and mass of grains per ear, weight of 1000 grains |
| Crop tending | Deviation from optimal timing of events | Yield losses are estimated at 15...17 % |
| Harvesting | Harvesting unripe crops | There are losses, but they are not estimated, crop quality is significantly reduced |
| | Harvesting overripe crops | Harvesting delay by 10...14 days leads to yield loss up to 60 %; every day of overstay, grain yield decreases by 1–2 %, and under adverse weather conditions, it decreases significantly. |
| Preparing for storage | Violation of the modes of sorting, drying, cooling | Reduced quality of finished products |

Оценка ошибок управления по вероятности возникновения, масштабу последствий и уровню риска потерь урожая выполнено по пятибалльным шкалам матрицы рисков. Итоги исследования отражены в табл. 3. Следует отметить, что предлагаемый экспертный метод оценки рисков недобора урожая является приближительным. Более точен количественный метод. Для его реализации необходимо разработать и внедрить методику сбора исходных данных для расчета рисков недобора урожая в сельскохозяйственном предприятии.

Уровни рисков недобора урожая как следствие субъективных ошибок при управлении технологическими процессами в составе агротехнологии

| Технологический процесс | Описание возможной ошибки | Оценка масштаба уровня последствий | Оценка вероятности возникновения ошибки | Оценка уровня риска недобора урожая из-за ошибки управления |
|------------------------------------|---|------------------------------------|---|---|
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
| Глубокая обработка почвы (вспашка) | Работа на переувлажненной почве | Крайне высокий (5) | Практически достоверно (5) | Крайне высокий (В) |
| | Работа на пересушенной почве | Крайне высокий (5) | Практически достоверно (5) | Крайне высокий (В) |
| | Нарушение агротехнических требований (глубина вспашки) | Средний (3) | Весьма вероятно (4) | Средний(С) |
| Предпосевная обработка почвы | Недостаточная выровненность поля | Средний (3) | Возможно (3) | Средний(С) |
| Основное внесение удобрений | Повышение дозы | Средний (3) | Маловероятно (2) | Средний (С) |
| | Занижение дозы | Небольшой (2) | Весьма вероятно (4) | Невысокий риск (М) |
| Посев (посадка) | Опережение оптимального срока | Небольшой (2) | Маловероятно (2) | Невысокий риск (М) |
| | Пропуск оптимального срока | средний (3) | Весьма вероятно (4) | Средний (С) |
| | Превышение нормы высева | Незначительный (1) | Маловероятно (2) | Невысокий (М) |
| Уход за посевами | Отклонение от оптимальных сроков мероприятий по уходу за растениями | Средний (3) | Возможно (3) | Средний (С) |
| Уборка | Уборка незрелого урожая | Высокий (4) | Маловероятно (2) | Средний (С) |
| | Уборка перезрелого урожая | Высокий (4) | Возможно (3) | Высокий (В) |
| Подготовка урожая к хранению | Нарушение режимов сортировки, сушки, охлаждения | Средний (3) | Возможно (3) | Средний(С) |

Table 3

**Risk levels of yield losses as an effect of subjective errors
in the management of agricultural technological processes**

| Technological process | Description of possible error | Scale of effects | Probability of an error | Risk level of yield losses due to management error |
|-----------------------|--|------------------|-------------------------|--|
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
| Deep tillage | Dry soil | Very high (5) | Certain (5) | Very high (B) |
| | Waterlogged soil | Very high (5) | Certain (5) | Very high (B) |
| | Violation of agrotechnical requirements (terms of plowing or pre-sowing treatment) | Medium (3) | Almost certain (4) | Medium (C) |
| Pre-sowing tillage | Insufficient field alignment | Medium (3) | Probable (3) | Medium (C) |
| Basic fertilization | Overdosing | Medium (3) | Probably not (2) | Medium (C) |
| | Underdosing | Low (2) | Almost certain (4) | Low (M) |
| Sowing (planting) | Ahead of the optimal period | Low (2) | Probably not (2) | Low (M) |
| | Missing the optimal time | Medium (3) | Almost certain (4) | Medium (C) |
| | Overseeding | Very low (1) | Probably not (2) | Low (M) |
| Crop tending | Deviation from optimal timing of events | Medium (3) | Probable (3) | Medium (C) |
| Harvesting | Harvesting unripe crops | High (4) | Probably not (2) | Medium (C) |
| | Harvesting overripe crops | High (4) | Probable (3) | High (B) |
| Preparing for storage | Violation of the modes of sorting, drying, cooling. | Medium (3) | Probable (3) | Medium (C) |

Заклучение

Таким образом, исследованием установлено, что риск недобора урожая из-за ошибок при реализации решений по управлению агротехнологией объективно существует и является значительным. Вместе с тем процедура оценки риска недобора урожая при расчете и выборе варианта управленческого решения основана на личном опыте ЛПР без цифровой поддержки. Разработанный новый подход к оценке риска недобора урожая позволяет дополнить процедуру выбора цифровой формой ранжирования вариантов решений по степени риска возможного недобора урожая, что облегчает процедуру выбора, снижает влияние человеческого фактора на конечный результат, позволяет предусмотреть компенсирующие мероприятия. Предлагаемый подход к цифровой форме оценки рисков недобора урожая и веро-

ятности возникновения ошибки на основе матрицы рисков позволит разработать новую методику расчета для автоматизированного режима ранжирования вариантов в СППР.

Библиографический список

1. Кузьменко О.В. Риски в растениеводстве: классификация и способы управления // Вестник Башкирского государственного аграрного университета. 2011. № 4. С. 95—100.
2. Плющиков В.Г., Крайнев Н.С., Довлетярова Э.А., Ильясова Н.И. Методические подходы к оценке потерь (недобора) урожая сельскохозяйственных культур от стихийных бедствий и других неблагоприятных условий производства при страховании посевов // Вестник Российского университета дружбы народов. Серия: Агрономия и животноводство. 2006. № 1. С. 4—9.
3. Чекмарев П.А., Малько А.М., Говоров Д.А., Плющиков В.Г., Живых А.В., Осокин И.В., Татаркин А.В., Кротова С.Е., Сучков Е.В., Бут С.С., Введенский В.В. Методические рекомендации по определению прямых затрат на восстановление объектов сельского хозяйства пострадавших от чрезвычайных ситуаций природного характера в агропромышленном комплексе (включая ЛПХ). М.: Минсельхоз России, 2019. 109 с.
4. Якушев В.В., Ломакин В.С., Часовских С.В., Матвиенко Д.А. Совершенствование управления сельскохозяйственным предприятием с элементами точного земледелия // Агрофизика. 2020. № 4. С. 46—54. doi: 10.25695/AGRPH.2020.04.08
5. Якушев В.В. Точное земледелие — теория и практика: монография. СПб.: ФГБНУ АФИ, 2016. 364 с.
6. Поддубная Л.И. Риски производственной деятельности применительно к растениеводству // Вестник Курской государственной сельскохозяйственной академии. 2012. № 2. С. 22—23.
7. Ярая Т.Ю. Классификация сельскохозяйственных рисков и способы их снижения // SCI-ARTICLE. RU. 2014. № 5 (январь)
8. Кондранов П. Управление рисками сельскохозяйственного производства // Международный сельскохозяйственный журнал. 2009. № 4. С. 20—21.
9. Pylaniadis C., Osinga S., Athanasiadis I.N. Introducing digital twins to agriculture // *Computers and Electronics in Agriculture*. 2021. Vol. 184. P. 105942. doi: 10.1016/j.compag.2020.105942
10. Конев А.В., Ломакин В.С., Матвиенко Д.А., Якушев В.В. Структура представления производственных процессов в системе поддержки принятия агротехнологических решений // Агрофизика. 2018. № 1. С. 24—35. doi: 10.25695/AGRPH.2018.01.04
11. Кузьменко О.В. Управление производственными рисками в сельском хозяйстве // Международный научно-исследовательский журнал. 2014. С. 45—46.
12. Рева А.Ф., Рева В.С. Матричный диагностический анализ влияния факторов внешней среды на внутренние производственные процессы сельскохозяйственных предприятий // Вестник аграрной науки Дона. 2013. № 2 (12). С. 48—54.
13. Тихомиров Н.П., Тихомирова Т.М. Риск-анализ в экономике: монография. М.: Экономика, 2010. 317 с.
14. Трейман М.Г., Варыгина О.С. Методы оценки и управления рисками на ресурсосберегающем предприятии // Научный журнал НИУ ИТМО. Серия: Экономика и экономический менеджмент. 2017. № 4. С. 64—73. doi: 10.17586/2310-1172-2017-10-4-64-73

References

1. Kuzmenko OV. Plant growing risks: classification and methods of management. *Bulletin of the Bashkir State Agrarian University*. 2011;(4):95—100.
2. Plushchikov VG, Krainev NS, Dovletyarova EA, Ilyasova NI. Systematic approaches to the estimation of the losses (shortage) of the harvest of agricultural crops from the natural calamities and other unfavorable conditions of production with the insurance of sowings. *RUDN Journal of Agronomy and Animal Industries*. 2006;(1):4—9.
3. Chekmarev PA, Malko AM, Govorov DA, Plushchikov VG, Zhivykh AV, Osokin IV, et al. *Metodicheskie rekomendatsii po opredeleniyu pryamykh zatrat na vos-stanovlenie ob»ektov sel'skogo khozyaistva postradavshikh ot chrezvychainykh si-tuatsii prirodnogo kharaktera v agropromyshlennom komplekse (vklyuchaya LPKh)* [Guidelines for determining the direct costs of restoring agricultural facilities affected by natural emergencies in the agro-industrial complex (including household plots)]. Moscow; 2019.

4. Yakushev VV, Lomakin VS, Chasovskikh SV, Matveenko DA. Improvement of agricultural enterprise management with precision farming elements. *Agrophysica*. 2020;(4):46–54. doi: 10.25695/AGRPH.2020.04.08
5. Yakushev VV. *Tochnoe zemledelie — teoriya i praktika* [Precision agriculture — theory and practice]. Saint Petersburg: FGBNU AFI publ.; 2016.
6. Poddubnaya LI. Risks of production activities in relation to crop production. *Vestnik of Kursk state agricultural academy*. 2012;(2):22–23.
7. Yaraya TY. Classification of agricultural risks and ways to reduce them. *SCI-ARTICLE.RU*. 2014; (5):234
8. Kondranov P. Management of risks of agricultural production. *Mezhdunarodnyi sel'skokhozyaistvennyi zhurnal*. 2009; (4):20–21.
9. Pylianidis C, Osinga S, Athanasiadis IN. Introducing digital twins to agriculture. *Computers and Electronics in Agriculture*. 2021;184:105942. doi: 10.1016/j.compag.2020.105942
10. Konev AV, Lomakin VS, Matveenko DA, Yakushev VV. The structure of of production processes in the agrotechnical decision support system. *Agrophysica*. 2018;(1):24–35. doi: 10.25695/AGRPH.2018.01.04
11. Kuzmenko OV. Industrial risk management in agriculture. *International Research Journal*. 2014; (11–3):45–47.
12. Reva AF, Reva VS. Matrix and diagnostic analysis of the environmental factors influence at the internal production processes of agricultural enterprises. *Don Agrarian Science Bulletin*. 2013;2:48–54.
13. Tikhomirov NP, Tikhomirova TM. *Risk-analiz v ekonomike* [Risk analysis in economics]. Moscow: Ekonomika publ.; 2010.
14. Treiman MG, Varygina OS. Methods for assessing and managing risks on resource-supplying enterprise (for example, PJSC «TGC-1»). *Scientific Journal NRU ITMO. Series: Economics and Environmental Management*. 2017;(4): 64–73. doi: 10.17586/2310-1172-2017-10-4-64-73

Об авторах:

Якушев Вячеслав Викторович — доктор сельскохозяйственных наук, член-корреспондент РАН, заведующий лабораторией информационного обеспечения точного земледелия, ФГБНУ Агрофизический НИИ, Российская Федерация, г. Санкт-Петербург, Гражданский проспект, д. 14; e-mail: mail@agrophys.com
ORCID: 0000-0001-8434-5580

Воробаев Валерий Валерьевич — кандидат сельскохозяйственных наук, ведущий научный сотрудник лаборатории информационного обеспечения точного земледелия, ФГБНУ Агрофизический НИИ, Российская Федерация, г. Санкт-Петербург, Гражданский проспект, д. 14; e-mail: valeriy.vorobaev.70@mail.ru
ORCID: 0000-0002-7537-4862.

Ломакин Владимир Серафимович — кандидат технических наук, ведущий инженер лаборатории информационного обеспечения точного земледелия, ФГБНУ Агрофизический НИИ, Российская Федерация, г. Санкт-Петербург, Гражданский проспект, д. 14; e-mail: lomakin2014@yandex.ru
ORCID: 0000-0003-2051-3877

About Authors:

Yakushev Vyacheslav Viktorovich — Doctor of Agricultural Sciences, Corresponding Member of the Russian Academy of Sciences, Head of the Laboratory for Information Support of Precision Farming, Agrophysical Research Institute, 14 Grazhdansky av., St. Petersburg, Russian Federation; e-mail: mail@agrophys.com
ORCID: 0000-0001-8434-5580

Voropayev Valeriy Valerievich — Candidate of Agricultural Sciences, Leading Researcher, Laboratory for Information Support of Precision Farming, Agrophysical Research Institute, 14 Grazhdansky av., St. Petersburg, Russian Federation; e-mail: valeriy.vorobaev.70@mail.ru
ORCID: 0000-0002-7537-4862

Lomakin Vladimir Serafimovich — Candidate of Technical Sciences, Leading Engineer, Laboratory for Information Support of Precision Farming, Agrophysical Research Institute, 14 Grazhdansky av., St. Petersburg, Russian Federation; e-mail: lomakin2014@yandex.ru
ORCID: 0000-0003-2051-3877