

## Вопросы оценки потенциального экономического значения карантинных видов насекомых и клещей при осуществлении анализа фитосанитарного риска

\* ГРЕБЕННИКОВ К.А.

ФГБУ «Всероссийский центр карантина растений» (ФГБУ «ВНИИКР»),  
р. п. Быково, г. о. Раменский, Московская обл.,  
Россия, 140150  
e-mail: kgrebennikov@gmail.com

### АННОТАЦИЯ

В статье приведен анализ существующих подходов к оценке потенциального экономического значения вредных организмов (насекомых и клещей) при проведении анализа фитосанитарного риска. Показана недостаточность существующей международной и отечественной методической основы для проведения такой оценки. Проведен анализ применимости и точности имеющихся методов оценки. Показана наибольшая практическая применимость метода составления частичной финансовой сметы (partial budgeting). На основе существующих методов и практик предложена усовершенствованная методика, которая учитывает эмпирические данные о вредоносности насекомых и клещей для сельскохозяйственных культур и вероятность акклиматизации (принимаемую как пригодность условий), определенную в соответствии с математической моделью потенциального ареала вида. Данный подход обоснован объективной корреляцией между вредоносностью и численностью вредителей, в свою очередь, обусловленной пригодностью условий среды. Предложен подход к качественной оценке потенциальных экономических потерь на основе соотношения расчетных показателей потенциального ущерба и валового внутреннего продукта в зоне анализа фитосанитарного риска. Изложенная методика позволяет значительно повысить достоверность и точность оценки потенциального экономического значения потенциально опасных видов насекомых и клещей при проведении анализа фитосанитарного риска, соответствует требованиям законодательства и методических документов в сфере карантина растений и математически эквивалентна методам оценки, применявшимся ранее в практике анализа фитосанитарного риска в Российской Федерации. Отмечены перспективы дальнейшего усовершенствования методов оценки негативного воздействия вредных организмов при проведении анализа фитосанитарного риска на основе более детализированных моделей

## Issues of assessing the potential economic significance of quarantine species of insects and mites in the process of pest risk analysis

\* KONSTANTIN A. GREBENNIKOV

Federal State Budgetary Institution "All-Russian Plant Quarantine Center" (FGBU "VNIIKR"), Bykovo, Urban district Ramensky, Moscow Oblast, Russia, 140150  
e-mail: kgrebennikov@gmail.com

### ABSTRACT

The article provides an analysis of existing approaches to assessing the potential economic significance of pests (insects and mites) when conducting pest risk analysis. The insufficiency of the existing international and Russian methodological framework for conducting such an assessment is shown. The applicability and accuracy of available assessment methods were analyzed. The greatest practical applicability of the method of drawing up partial budgeting is shown. Based on existing methods and practices, an improved methodology has been proposed that takes into account empirical data on the harmfulness of insects and mites to agricultural crops and the adaptation probability (taken as the suitability of conditions), determined in accordance with a mathematical model of the potential species distribution. This approach is justified by an objective correlation between harmfulness and the number of pests, in turn determined by the suitability of environmental conditions. An approach to the qualitative assessment of potential economic losses is proposed based on the correlation of calculated indicators of potential damage and gross domestic product in the pest risk analysis area. The presented methodology can significantly increase the reliability and accuracy of assessing the potential economic significance of potentially dangerous species of insects and mites when conducting pest risk analysis, meets the requirements of legislation and methodological documents in the field of plant quarantine and is mathematically equivalent to assessment methods previously used in the practice of pest risk analysis in the Russian Federation. Prospects for further improvement of methods for assessing the negative impact of pests when conducting pest risk analysis based on more detailed models

сельскохозяйственного производства и экономических взаимосвязей.

**Ключевые слова.** Карантин растений, анализ фитосанитарного риска, вредные организмы, насекомые и клещи, экономическое значение, прогнозирование.

## ВВЕДЕНИЕ

**В** соответствии с Международной конвенцией по карантину и защите растений (МККЗР) ее стороны обязуются использовать лишь те фитосанитарные меры, которые имеют достаточное техническое обоснование. В свою очередь, под таким обоснованием в тексте конвенции понимается анализ фитосанитарного риска (АФР) (или «другое сравнимое изучение и оценка имеющейся научной информации»). Таким образом, согласно международному законодательству АФР является первичным и наиболее важным документом в обеспечении фитосанитарной безопасности.

Структура АФР описана в Международном стандарте по фитосанитарным мерам (МСФМ № 2). Одной из двух ключевых ее частей является этап оценки рисков, на основе результатов которого принимается решение о необходимости применения фитосанитарных мер и об их характере. В частности, именно на этом этапе делается вывод о соответствии анализируемого организма основному критерию карантинного вредного организма в определении МККЗР: «вредный организм, *имеющий потенциальное экономическое значение* для зоны, подверженной опасности, в которой он пока отсутствует или присутствует, но ограниченно распространен и служит объектом официальной борьбы».

Вместе с тем методические основы этой части работ остаются недостаточно проработанными. Международный стандарт (МСФМ № 11) содержит лишь перечисление методов количественного анализа экономического воздействия (раздел 2.3.2.3 «Аналитические методы») с весьма кратким их описанием. Следующий раздел (2.3.2.4 «Не торговые и экологические последствия») предусматривает возможность приблизительной оценки «с помощью соответствующего нерыночного метода оценки» экосистемных и социальных последствий акклиматизации вредного организма. В заключение стандарт отмечает необходимость «по возможности» выразить экономические последствия в денежном выражении.

Опубликованная в 2018 г. Европейским союзом методика количественного анализа фитосанитарного риска (EFSA, 2018) описывает оценку потенциального экономического воздействия еще более приблизительно (раздел 3.3.3.4 Impact): «Модели воздействия обычно представляют собой простые зависимости «доза – эффект», в которых «дозой» является численность вредного организма,

of agricultural production and economic relationships are noted.

**Key words.** Plant quarantine, pest risk analysis, pests, insects, mites, economic significance, forecasting.

## INTRODUCTION

**A**ccording to the International Plant Protection Convention (IPPC), its parties undertake to use only those phytosanitary measures that have sufficient technical justification. In turn, such justification in the text of the convention is understood as pest risk analysis (PRA) (or “other comparable examination and assessment of available scientific information”). Thus, according to international law, the PRA is the primary and most important document in ensuring phytosanitary safety.

The PRA structure is described in the International Standard for Phytosanitary Measures (ISPM No. 2). One of its two key parts is the risk assessment stage, based on the results of which a decision is made on the need to apply phytosanitary measures and their specific character. In particular, it is at this stage that a conclusion is made about the compliance of the analyzed organism with the main criterion of a quarantine pest in the IPPC definition: “a pest of *potential economic importance* to the area endangered thereby and not yet present there, or present but not widely distributed and being officially controlled”.

However, the methodological foundations of this part of the work remain insufficiently developed. The international standard (ISPM No. 11) contains only a list of methods for quantitative analysis of economic impact (section 2.3.2.3 “Analytical techniques”) with a very brief description of them. The next section (2.3.2.4 “Non-commercial and environmental consequences”) provides for the possibility of approximating, “with an appropriate non-market valuation method”, the ecosystem and social impacts of pest establishment. The standard concludes by noting the need to express economic consequences in monetary terms “where possible”.

The Guidance on quantitative pest risk assessment published in 2018 by the European Union (EFSA, 2018) describes the assessment of potential economic consequences even more roughly (Section 3.3.3.4 Impact): “Models for impact are usually simple dose–effect relationships, in which the ‘dose’ is the abundance of the pest and the ‘effect’ is the plant response in terms of yield or quality”. Methods for constructing such models are not described in the manual.

а «эффектом» – реакция растений в виде урожайности или их качества». Способы построения таких моделей в руководстве не описаны.

Существующая в Российской Федерации официальная методика осуществления анализа фитосанитарного риска (приказ Минсельхоза России от 5 февраля 2018 г. № 46) не предусматривает какой-либо количественной оценки экономического значения вредного организма, ограничиваясь качественной оценкой воздействия по ряду параметров по шкале «небольшое, среднее, большое».

Таким образом, на сегодняшний день нет ни отечественных, ни международных стандартов или руководящих документов, содержащих техническое описание способов количественной оценки потенциального негативного экономического воздействия вредного организма в рамках АФР. Это представляет большую сложность для подготовки АФР как необходимого технического обоснования фитосанитарных мер.

### МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Работа основана на анализе имеющихся литературных источников и практики выполнения АФР во Всероссийском центре карантина растений. Апробация предложенных методов и приемов проведена в рамках продолжения начатых в 2022 г. (Гребенников, Кулакова, 2022) работ по оценке рисков для территории Российской Федерации, связанных с возможным проникновением и распространением многоядного вредителя – американского коричневого клопа *Euschistus servus* (Say, 1832) (Insecta: Heteroptera: Pentatomidae), широко распространенного в Северной Америке, с использованием ранее разработанной модели потенциального ареала вида. Для проведения необходимых расчетов применялись стандартные средства программного обеспечения Microsoft Excel.

### РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

В связи с тем, что характер воздействия вредных организмов на растения зависит как от биологических особенностей самих вредных организмов, так и от особенностей растений-хозяев и их культивирования, разработка универсального метода оценки потенциальной степени воздействия едва ли представляется возможной. Таким образом, приведенные ниже результаты и выводы относятся только к вредителям (насекомым и клещам) сельскохозяйственных культур и их продукции. Оценка потенциального экономического значения иных групп организмов (вредители леса, возбудители заболеваний растений и так далее) не входила в задачи исследования и может потребовать применения иных приемов и методов.

Основными задачами исследования были установление наиболее современных и перспективных практик оценки потенциального экономического значения вредителей сельскохозяйственных культур и их апробация на примере *E. servus*.

Краткий обзор возможных техник экономической оценки при проведении анализа фитосанитарного риска, перечень которых примерно соответствует аналитическим методам, перечисленным в МСФМ № 11, дан в статье Тарека Солимана с соавторами (Economic..., 2010). В работе

The official methodology for PRA existing in the Russian Federation (Order of the Ministry of Agriculture of Russia dated February 5, 2018 No. 46) does not provide for any quantitative assessment of the pest economic importance, limiting itself to the impact qualitative assessment by the parameters on the scale of “small, medium, large.”

Thus, to date, there are no Russian or international standards or guidance documents containing technical descriptions of techniques to quantify the potential negative economic impact of a pest within the PRA framework. This poses a great challenge to the PRA preparation as the necessary technical justification for phytosanitary measures.

### MATERIALS AND METHODS

The paper is based on the analysis of available literature sources and the PRA practice at FGBU “VNIKKR”. The testing of the proposed methods and techniques was carried out as part of the continuation of work launched in 2022 (Grebennikov, Kulakova, 2022) to assess risks for the territory of the Russian Federation associated with the possible introduction and spread of a polyphagous pest – brown stink bug *Euschistus servus* (Say, 1832) (Insecta: Heteroptera: Pentatomidae), widespread in North America, using a previously developed model of the potential species distribution. To carry out the necessary calculations, standard Microsoft Excel software was used.

### RESULTS AND DISCUSSION

Due to the fact that the pest impact on plants depends both on the pest biology and the host plants and their cultivation, developing a universal method for assessing the potential impact degree is hardly possible. Thus, the results and conclusions below apply only to insect and mite pests of agricultural crops and their products. Assessing the potential economic importance of other groups of organisms (forest pests, plant pathogens, etc.) was not among the objectives of the study and may require other techniques and methods.

The main objectives of the study were to establish the most modern and promising practices for assessing the potential economic importance of crop pests and their testing using the example of *E. servus*.

A brief overview of possible economic assessment techniques for conducting pest risk analysis, the list of which roughly corresponds to the analytical methods listed in ISPM No. 11, is given in the article by Tarek Soliman et al. (Economic..., 2010). Soliman's work compares their capabilities, as well as the data, methods and skills of the performers required to use them. In our opinion, the method of drawing up partial budgeting can be considered the minimum necessary and basic, since to use all other techniques, the performers should have economic training as a prerequisite. The essence of the method is to simply calculate the difference in profits and costs in the current situation

Солимана приведено сравнение их возможностей, а также требуемых для использования данных, методов и навыков исполнителей работ. На наш взгляд, минимально необходимым и основным может считаться метод составления частичной финансовой сметы (partial budgeting), поскольку для использования всех прочих техник необходимым условием является наличие у исполнителей экономической подготовки. Сущность метода состоит в простом подсчете разницы прибылей и затрат в текущей ситуации (до акклиматизации вредного организма) и в предполагаемой (после акклиматизации). Под прибылью в случае АФР подразумевается в первую очередь стоимость произведенной продукции повреждаемых растений, под затратами – расходы на мероприятия по защите растений от воздействия анализируемого организма. Этот метод не предусматривает подсчета косвенных экономических эффектов (изменений экономического равновесия) под влиянием прямого ущерба.

В практике карантина растений в Российской Федерации также принято использование метода финансовой сметы в описании А.С. Васютина и соавторов (2001) и К.А. Перевертина (2006). Сущность данной реализации метода состоит в расчете экономических потерь ( $R$ ) на основе нескольких показателей:  $C$  (цена единицы продукции),  $V$  (валовой сбор продукции),  $K$  (коэффициент потери урожая),  $S_1$  (площадь заражения),  $S$  (посевная площадь), где  $R$  соответствует стоимости урожая, потерянного в результате воздействия вредного организма.

Основным недостатком указанного метода является произвольный константный характер коэффициента потери урожая ( $K$ ) для всей площади заражения ( $S_1$ ), хотя численность и вредоносность вредных организмов очевидно являются динамическими показателями, зависящими как от способа и приемов возделывания культуры, так и от абиотических и биотических параметров среды.

Существуют современные математические методы моделирования потерь урожая путем формирования «профиля повреждений» (Aubertot, Robin, 2013; Injury..., 2013; Savary, Willocquet, 2014). Однако, в случае анализа фитосанитарного риска для более или менее обширной территории, при использовании данных методов имеются две существенные трудности.

1. «Профиль повреждений» строится в зависимости от условий сельскохозяйственного производства, включающих не только агротехнические (сроки и виды проведения работ, в том числе применение средств защиты растений), но и агроклиматические (ход температур, количество осадков и так далее) особенности, а также взаимодействие вредных организмов и их антагонистов в агроценозе (Modelling..., 2017; Savary, Willocquet, 2014). При значительном территориальном охвате такая задача может быть решена только классификацией территории и хозяйств по указанным выше особенностям и моделированием профиля независимо для каждого класса.

2. «Профиль вредителя» (способность вида причинить определенный ущерб в конкретных условиях) в таких моделях определяется эмпирическим путем – по статистическим данным о фактически наносимом им ущербе в сходных условиях

(before the adaptation) and in the expected one (after the adaptation). In the case of PRA, profit means primarily the cost of the produced products of damaged plants, and costs mean the costs of measures to protect plants from the effects of the analyzed organism. This method does not provide for the calculation of indirect economic effects (changes in economic equilibrium) under the influence of direct damage.

In the plant quarantine practice in the Russian Federation, it is also common to use the financial estimate method as described by A.S. Vasyutin et al. (2001) and K.A. Perevertin (2006). The essence of this method is to calculate economic losses ( $R$ ) based on several indicators:  $C$  (unit price),  $V$  (gross yield),  $K$  (harvest loss coefficient),  $S_1$  (infested area),  $S$  (sown area), where  $R$  corresponds to the value of the crop lost due to the pest.

The main disadvantage of this method is the arbitrary constant nature of the harvest loss coefficient ( $K$ ) for the entire infested area ( $S_1$ ), although the number and harmfulness of pests are obviously dynamic indicators, depending both on the method and techniques of crop cultivation, and on abiotic and biotic parameters of the environment.

There are modern mathematical techniques for modeling crop losses by forming a “damage profile” (Aubertot, Robin, 2013; Injury..., 2013; Savary, Willocquet, 2014). However, in case of PRA for a more or less extensive territory, there are two significant handicaps when using these methods.

1. The “damage profile” is made up depending on the conditions of agricultural production, including not only agrotechnical (timing and work types, including the use of plant protection products), but also agroclimatic (temperature variation, amount of precipitation, etc.) features, as well as interaction between pests and their antagonists in agroecosystem (Modelling..., 2017; Savary, Willocquet, 2014). With a significant territorial coverage, such a problem can only be solved by classifying the territory and farms according to the above features and modeling the profile independently for each class.

2. The “pest profile” (the ability of a species to cause certain damage in specific conditions) in such models is determined empirically – based on statistical data on the damage it actually causes under similar conditions (Aubertot, Robin, 2013; Savary, Willocquet, 2014). For widespread pest species, this value can vary widely. However, its extrapolation based on the principle of territories conditions similarity where the species is currently absent (in the PRA area) will be speculative and introduce additional error into the assessment.

For these reasons, the use of existing methods for modeling crop losses during PRA requires their significant adaptation. Such adaptation and its practical testing can make an important contribution to improving PRA techniques. However, due to the complexity and labor-intensive nature of this task, it can only be solved

(Aubertot, Robin, 2013; Savary, Willocquet, 2014). Для широко распространенных видов вредных организмов эта величина может колебаться в широких пределах. При этом ее экстраполяция по принципу сходства на условия территорий, где вид в настоящее время отсутствует (в зоне АФР), будет носить спекулятивный характер и вносить дополнительную погрешность в оценку.

В силу указанных причин применение существующих методов моделирования потерь урожая при проведении АФР требует их значительной адаптации. Такая адаптация и ее практическая апробация могут внести важный вклад в совершенствование методов анализа фитосанитарного риска. Однако, в связи со сложностью и трудоемкостью этой задачи, она может быть решена только в рамках отдельной комплексной научно-исследовательской работы.

С практической точки зрения в настоящее время единственным доступным и обоснованным методом построения модели потенциального негативного воздействия насекомых и клещей в зоне АФР является сочетание метода составления частичной финансовой сметы, зависимости «доза – эффект» и статистически достоверной вероятности акклиматизации вида в зоне АФР (с учетом доступности кормовых ресурсов). При этом метод формирования модели потенциального негативного воздействия строится с использованием фактических данных о вредоносности в зоне распространения вида.

Применимость зависимости «доза – эффект» обоснована практикой защиты растений. В монографии В.А. Захаренко и соавторов (1985) приведен обзор подходов к определению порога экономической вредоносности – «плотности популяции вредных организмов, которая вызывает потери урожая, равные в стоимостной оценке расходам на защитные мероприятия». Современные математические методы моделирования потерь урожая также рассматривают потери от вредителей (насекомых и клещей) как пропорциональные массе или численности популяции в пределах агроценоза (Modelling..., 2017). Таким образом, мы имеем основания исходить из истинности корреляции между численностью вредителя и наносимым им ущербом.

В свою очередь, потенциальная численность (плотность) популяции связана с пригодностью экологических условий – их соответствием требованиям вида (экологическому оптимуму). Безусловно, популяции живых организмов являются сложными открытыми системами, динамика которых определяется многими факторами и может быть достоверно описана лишь сложными математическими зависимостями (Ризниченко, Рубин, 1993). При этом точный прогноз всей системы факторов в новых для вида условиях едва ли практически возможен. Однако, равномерная численность и вредоносность вида в пределах всей зоны, подверженной опасности, представляются столь же маловероятными – по меньшей мере в условиях открытого грунта, городских либо естественных экосистем. В случае вредителей защищенного грунта, напротив, целесообразно предполагать равномерную способность вида наносить повреждения растениям и экономический ущерб.

within the framework of a separate comprehensive research work.

From a practical point of view, the only currently available and reasonable method for constructing a model of the potential negative impact of insects and mites in the PRA area is a combination of the method of drawing up partial budgeting, the dose-effect relationship and a statistically significant probability of the species adaptation in the PRA area (taking into account the availability feed resources). At the same time, the method for forming a model of potential negative impact is constructed using actual data on harmfulness in the area of the species distribution.

The applicability of the dose-effect relationship is justified by the plant protection practice. The monograph by V.A. Zakharenko et al. (1985) provides a review of approaches to determining the threshold of economic harmfulness – “the population density of pests that causes crop losses equal in value to the costs of protective measures.” Modern mathematical methods for modeling crop losses also consider losses from pests (insects and mites) as proportional to the mass or size of the population within the agrocenosis (Modelling..., 2017). Thus, we have reason to assume that there is a true correlation between the number of pests and the damage they cause.

In turn, the potential population abundance (density) is associated with the suitability of environmental conditions – their compliance with the species requirements (ecological optimum). Naturally, populations of living organisms are complex open systems, the dynamics of which are determined by many factors and can only be reliably described by complex mathematical dependencies (Riznichenko, Rubin, 1993). At the same time, an accurate forecast of the entire system of factors in conditions new to the species is hardly possible in practice. However, uniform abundance and harmfulness of the species throughout the entire endangered area seem equally unlikely, at least in open ground conditions, urban or natural ecosystems. In the case of protected soil pests, on the contrary, it is advisable to assume a uniform ability of the species to cause damage to plants and economic damage.

A numerical indicator of the living conditions suitability for a pest can be the probability of its adaptation, shown by a mathematical model of the potential habitat and corresponding to the suitability of environmental conditions (Lisovsky et al., 2020). Although the linear correlation between this indicator and the relative abundance of the species is a strong simplification of the model of the economic impact of the species, in conditions of significant uncertainty in the forecast of the population dynamics of the species in new territories, such a hypothesis can be considered acceptable. If there is reliable information about a different nature of this correlation in the species distribution area, it is possible to use the appropriate adjustment.

Численным показателем пригодности условий для обитания вредного организма может служить вероятность его акклиматизации, показанная математической моделью потенциального ареала и соответствующая пригодности условий среды (Лисовский и др., 2020). Хотя линейная корреляция между данным показателем и относительной численностью вида является сильным упрощением модели экономического воздействия вида, в условиях значительной неопределенности прогноза популяционной динамики вида на новых для него территориях такая гипотеза может считаться допустимой. В случае наличия достоверных сведений об ином характере этой корреляции в зоне распространения вида, возможно использовать соответствующую корректировку.

Коэффициент потери урожая в случае акклиматизации вида (в условиях его экологического оптимума), вероятно, в рамках АФР может быть установлен лишь экстраполяцией эмпирических данных о вредности в зоне распространения вида. Наибольшую сложность при такой экстраполяции представляют существенные отличия значений показателей вредности во времени и пространстве, что затрудняет выбор «типичного» значения в оптимальных для вида условиях при релевантной для зоны АФР агротехнике (включая методы и способы защиты растений) возделывания культуры. Очевидно, что использование в качестве пессимистического сценария для всей зоны АФР максимальных исторически известных потерь урожая было бы ошибочным. Оптимальным является применение достоверных статистических данных о современной вредности в регионе с наибольшей численностью вредителя. В этом случае возможно использовать значение коэффициента, равное доле фактических известных потерь. Однако, в большом числе случаев такие сведения отсутствуют. Данные обзора Oerke (2006) показывают, что в условиях современного сельского хозяйства среднемировые потери урожая основных культур от вредителей (насекомых и клещей) составляют около 10% (8–15%). Данные по регионам в той же работе показывают, что для территории Российской Федерации может быть применено это среднемировое значение. Впрочем, оно соответствует всему комплексу видов, повреждающих культуру. Поскольку, как было показано выше, вредность вида коррелирует с плотностью его популяции, можно ожидать, что доля потерь, которые способен вызвать анализируемый организм, будет коррелировать с его относительной численностью в комплексе вредителей, воздействующих на культуру. В случае если имеются данные соответствующих учетов в зоне распространения организма и есть основания полагать, что в зоне АФР вредитель будет входить в состав сходного многовидового комплекса, его участие в потерях урожая может быть приблизительно оценено на основе таких количественных учетов. При отсутствии или противоречивости данных в зоне распространения анализируемого вредного организма коэффициент потери урожая в случае акклиматизации вида (в условиях его экологического оптимума), по мнению автора, может быть весьма приблизительно

The yield loss rate in case of the species adaptation (under conditions of its ecological optimum) can probably be established within the PRA framework only by extrapolation of empirical data on harmfulness in the area of the species distribution. The greatest difficulty in such extrapolation is the significant differences in the values of harmfulness indicators in time and space, which makes it difficult to select a “typical” value under optimal conditions for the species with agricultural technology (including plant protection methods and practice) of crop cultivation relevant for the PRA area. Obviously, using the maximum historically known crop losses as a pessimistic scenario for the entire PRA area would be erroneous. It is optimal to use reliable statistical data on current harmfulness in the region with the largest pest population. In this case, it is possible to use a coefficient value equal to the share of actual known losses. However, in a large number of cases such information is not available. Data from a review by Oerke (2006) indicate that in modern agriculture, the global average for major crop yield losses due to pests (insects and mites) is about 10% (8–15%). Regional data in the same study show that this global average can be applied to the territory of the Russian Federation. However, it corresponds to the entire species complex damaging crop. As shown above, since the species harmfulness correlates with its population density, it can be expected that the losses proportion which can be produced by the analyzed organism will correlate with its relative abundance in the pest complex affecting the crop. If there is data from relevant surveys in the pest distribution area and there is reason to believe that in the PRA area the pest will be part of a similar multi-species complex, its participation in crop losses can be approximately assessed on the basis of such quantitative surveys. In the absence or inconsistency of data in the distribution area of the analyzed pest, the coefficient of yield loss in case of the species adaptation (in conditions of its ecological optimum), in the author's opinion, can be very approximately accepted (based on the world average value for multi-species complexes) as 5% (0.05) under a pessimistic scenario or 2% (0.02) under an optimistic one.

Considering the above, it is proposed to use a modified version of the method for drawing up partial budgeting based on a statistical model of the potential species distribution to build a model of the pest potential negative impact.

To apply this method, first of all, it is necessary to carry out zoning or regionalization of the PRA area according to the species adaptation probability. Zoning (allocation of territories with similar probability values) seems preferable. However, to apply this approach, reliable data on production in the context of individual areas of the territory (farms, etc.) is required. In practice, available reliable statistical data on crop yields are usually distributed across

принят (исходя из среднемирового значения для многовидовых комплексов) как 5% (0,05) при пессимистическом сценарии или 2% (0,02) при оптимистическом.

С учетом изложенного предлагается использовать для построения модели потенциального негативного воздействия вредного организма модифицированный вариант метода составления частичной финансовой сметы на основе статистической модели потенциального ареала вида.

Для применения этого метода необходимо прежде всего провести зонирование либо регионализацию зоны АФР по показателю вероятности акклиматизации вида. Зонирование (выделение территорий со сходным значением вероятности) представляется предпочтительным. Однако для применения такого подхода необходимы достоверные данные о производстве в разрезе отдельных участков территории (хозяйств и тому подобного). На практике же доступные достоверные статистические данные об урожае культур обычно распределены по административно-территориальным единицам зоны АФР (например, субъектам Российской Федерации и муниципальным районам). Поэтому более доступной является регионализация – определение среднего или медианного показателя вероятности акклиматизации для каждого из регионов.

Итоговый потенциальный ущерб при использовании такого метода может быть оценен как сумма экономического ущерба для каждого из выделенных регионов и каждой из повреждаемых культур в регионе. Общий порядок расчета соответствует последовательному выполнению выражений:

$$ПЭУрк = BC \times CT \times Куш \times Квер;$$

$$ПЭУр = \sum_{\text{культура } n} ПЭУрк; ПЭУ = \sum_{\text{регион } n} ПЭУр,$$

где ПЭУрк – показатель экономического ущерба для культуры в регионе;

BC – валовой сбор культуры в регионе;

CT – средняя стоимость единицы сбора культуры в зоне АФР;

Куш – коэффициент ущерба (доля, на которую урожай культуры может быть снижен анализируемым организмом в оптимальных для него условиях (от 0 до 1)) – может быть принят как 0,05 при пессимистическом сценарии или 0,02 при оптимистическом или скорректирован при наличии необходимых данных;

Квер – коэффициент вероятности повреждения (от 0 до 1) – может быть принят равным акклиматизации вида в регионе согласно статистической модели потенциального ареала или скорректирован, для вредителей защищенного грунта равен 1;

ПЭУр – показатель экономического ущерба для региона;

ПЭУ – показатель экономического ущерба для зоны АФР.

Описанный метод математически эквивалентен применявшемуся ранее в практике анализа фитосанитарного риска в Российской Федерации (Васютин и др., 2001; Перевертин, 2006)

administrative territorial units of the PRA area (for example, constituent entities of the Russian Federation and their municipal districts). Therefore, regionalization is more accessible – determining the average or median indicator of the adaptation probability for each region.

The final potential damage when using this method can be assessed as the amount of economic damage for each of the selected regions and each of the damaged crops in the region. The general calculation procedure corresponds to the sequential execution of expressions:

$$IEDCr = GC \times AC \times DC \times DPR;$$

$$IEDr = \sum_{\text{crop } 1}^{\text{crop } n} IEDCr; IED = \sum_{\text{region } 1}^{\text{region } n} IEDr,$$

where IEDCr – indicator of economic damage to crop in the region;

GC – gross crop yield in the region;

AC – average cost per unit of crop harvest in the PRA area;

DC – damage coefficient (the proportion by which the crop yield can be reduced by the analyzed organism in optimal conditions for it (from 0 to 1)) – can be taken as 0.05 in a pessimistic scenario or 0.02 in an optimistic one, or adjusted if the necessary data are available;

DPr – damage probability coefficient (from 0 to 1) – can be taken equal to the species adaptation in the region according to the statistical model of the potential species distribution or adjusted; for protected soil pests it is equal to 1;

IEDr – indicator of economic damage to the region;

IED – indicator of economic damage for the PRA area.

The described method is mathematically equivalent to that previously used in the PRA practice in the Russian Federation (Vasyutin et al., 2001; Perevertin, 2006) and complies with the recommendations of ISPM No. 11. At the same time, it can significantly improve the accuracy and statistical reliability of assessing the pest potential economic significance for the PRA area.

To assess the economic significance of potential damage that may occur in the analyzed PRA area, a universal method based on the share of damage in the gross domestic product can be proposed. In this case, a scale from 1 to 9 to answer the question in Appendix 3 to the PRA methodology approved by the Russian Ministry of Agriculture (“How large can be the losses from the direct impact of the analyzed pest on the crop and/or its quality in the PRA area?”), may correspond to gradation:

1 – less than  $10^{-10}$  GDP;

2 – no less than  $10^{-10}$ , but less than  $10^{-9}$  GDP;

3 – no less than  $10^{-9}$ , but less than  $10^{-8}$  GDP;

4 – no less than  $10^{-8}$ , but less than  $10^{-7}$  GDP;

и соответствует рекомендациям МСФМ № 11. В то же время он позволяет значительно повысить точность и статистическую достоверность оценки потенциального экономического значения вредного организма для зоны АФР.

Для оценки экономической значимости потенциального ущерба, который может быть получен в анализируемой зоне АФР, может быть предложен универсальный метод, основанный на доле ущерба от валового внутреннего продукта. В этом случае шкала от 1 до 9 для ответа на вопрос в Приложении 3 к методике осуществления АФР, утвержденной Минсельхозом России («Насколько велики могут быть потери от прямого воздействия анализируемого вредного организма на урожай и/или его качество в зоне АФР?»), может соответствовать градации:

- 1 – менее  $10^{-10}$  ВВП;
- 2 – не менее  $10^{-10}$ , но менее  $10^{-9}$  ВВП;
- 3 – не менее  $10^{-9}$ , но менее  $10^{-8}$  ВВП;
- 4 – не менее  $10^{-8}$ , но менее  $10^{-7}$  ВВП;
- 5 – не менее  $10^{-7}$ , но менее  $10^{-6}$  ВВП;
- 6 – не менее  $10^{-6}$ , но менее  $10^{-5}$  ВВП;
- 7 – не менее  $10^{-5}$ , но менее  $10^{-4}$  ВВП;
- 8 – не менее  $10^{-4}$ , но менее  $10^{-3}$  ВВП;
- 9 – более  $10^{-3}$  ВВП.

Для Российской Федерации, по данным на 2022 г. (Росстат, 2023), в денежном эквиваленте (рубли) это составит приблизительно:

- 1 – менее 10 тыс.;
- 2 – не менее 10 тыс., но менее 100 тыс.;
- 3 – не менее 100 тыс., но менее 1 млн;
- 4 – не менее 1 млн, но менее 10 млн;
- 5 – не менее 10 млн, но менее 100 млн;
- 6 – не менее 100 млн, но менее 1 млрд;
- 7 – не менее 1 млрд, но менее 10 млрд;
- 8 – не менее 10 млрд, но менее 100 млрд;
- 9 – более 100 млрд.

Данная шкала может быть модифицирована с соответствующим обоснованием, если экономический ущерб в зоне потенциальной вредоносности вида может вызвать дополнительные негативные эффекты (культивирование повреждаемых растений является одной из основных отраслей региональной экономики и тому подобное).

Объективная количественная оценка иных экономических последствий акклиматизации вредного организма (изменения прибыли производителей, потребительского спроса, рынков экспорта) представляется только методами моделирования частичного или общего экономического равновесия. В настоящее время соответствующие математические методы в анализе фитосанитарного риска в отечественной и мировой практике не применяются. В силу этого на практике представляется возможным рекомендовать проведение оценки иных экономических последствий лишь качественным методом на основе экспертного мнения, с сопоставлением с приведенной выше шкалой. Применение более точных методов возможно лишь после их разработки и апробации с участием исследователей-экономистов.

Потенциальный ущерб для окружающей среды и социальный ущерб, который может вызвать акклиматизация вредного организма, в настоящий момент также не могут быть объективно

- 5 – не менее  $10^{-7}$ , но менее  $10^{-6}$  GDP;
- 6 – не менее  $10^{-6}$ , но менее  $10^{-5}$  GDP;
- 7 – не менее  $10^{-5}$ , но менее  $10^{-4}$  GDP;
- 8 – не менее  $10^{-4}$ , но менее  $10^{-3}$  GDP;
- 9 – более  $10^{-3}$  GDP.

For the Russian Federation, according to data for 2022 (Rosstat, 2023), in monetary terms (rubles) this will be approximately:

- 1 – less than 10 thousand;
- 2 – no less than 10 thousand, but less than 100 thousand;
- 3 – no less than 100 thousand, but less than 1 million;
- 4 – no less than 1 million, but less than 10 million;
- 5 – no less than 10 million, but less than 100 million;
- 6 – no less than 100 million, but less than 1 billion;
- 7 – no less than 1 billion, but less than 10 billion;
- 8 – no less than 10 billion, but less than 100 billion;
- 9 – more than 100 billion.

This scale can be modified with appropriate justification if economic damage in the potential harmfulness area of the species can cause additional negative effects (cultivation of damaged plants is one of the main sectors of the regional economy, etc.).

An objective quantitative assessment of other economic consequences of the pest adaptation (changes in producers' profits, consumer demand, export markets) is represented only by methods of modeling partial or general economic equilibrium. Currently, the corresponding mathematical methods are not used in Russian and world PRA practice. Because of this, in practice it seems possible to recommend assessing other economic consequences only using a qualitative method based on expert opinion, with comparison with the above scale. The use of more accurate methods is possible only after they have been developed and tested with the participation of economic researchers.

The potential environmental and social damage that pest adaptation may cause cannot currently be objectively quantified using any generally accepted methodology and can only be assessed qualitatively based on expert opinion. In both cases, the degree of uncertainty in such an assessment remains very high.

The negative economic importance of the species, caused by the need to apply additional plant protection measures in case of adaptation, can be approximately established by comparing the complexes of pests in the species' distribution area and in the PRA area with the plant protection methods from pests used in them. If in the PRA area producers are already using methods that can reduce the abundance of the analyzed organism to an economically significant threshold, such an assessment should be considered inappropriate.

If, during the species adaptation, additional plant protection measures are required to effectively reduce

количественно измерены с помощью какой-либо общепринятой методики и могут быть оценены лишь качественно на основе экспертного мнения. В обоих случаях степень неопределенности такой оценки остается весьма высокой.

Негативное экономическое значение вида, вызванное необходимостью применения дополнительных мер защиты растений в случае акклиматизации, может быть примерно установлено путем сопоставления комплексов вредных организмов в зоне распространения вида и в зоне АФР с применяемыми в них методами защиты растений от вредителей. В случае если в зоне АФР производителями уже применяются методы, способные снизить численность анализируемого организма до экономически значимого порога, такую оценку следует считать нецелесообразной.

Если же при акклиматизации вида для эффективного снижения его численности потребуются дополнительные меры защиты растений, оценка необходимых затрат может быть проведена исходя из перечня методов и приемов, которые используются для снижения численности в зоне распространения анализируемого организма, но отсутствуют при производстве тех же культур в зоне АФР. В этом случае сумма дополнительных затрат может быть рассчитана как умножение денежной стоимости этих мероприятий на единицу площади, на которой будет необходимо провести дополнительные мероприятия по защите растений.

Оценка площади возможна на основе модели потенциального ареала вида. Согласно широко распространенному методу естественных интервалов (Jenks, 1967), зону высокой и средней вредности (в которых наиболее вероятно достижение порога экономической вредности) можно определить как часть потенциального ареала с соответствующим показателем вероятности акклиматизации – 0,2 (20%) и более. Площадь, занятая повреждаемой культурой в этой области (выделенная методом зонирования или регионализации, как было показано выше), составит площадь необходимых обработок.

Оценка стоимости работ на единицу площади представляется более сложной задачей. Очевидно, что она зависит от большого числа факторов (стоимость препаратов, способ обработки и так далее) и в точности может быть определена лишь эмпирически для условий однотипных хозяйств. При наличии таких сведений предпочтительно исходить из них. Однако весьма примерно стоимость работ можно оценить исходя из средних общих затрат на защиту растений. Данные В.А. Захаренко (2021) показывают, что эти затраты для основных сельхозкультур в Российской Федерации в 2016–2018 гг. составили сопоставимые значения в диапазоне ориентировочно от 2 до 3 тыс. рублей на гектар. Основываясь на этом, минимальную стоимость единичной дополнительной обработки можно консервативно оценить как 1/10 от этой суммы, с учетом инфляции на момент оценки. Показатели, публикуемые Росстатом, к 2023 г. позволяют оценить эту сумму как приблизительно 300–400 рублей на гектар. Умножение такой суммы, затраченной на единичную дополнительную

its number, an assessment of the necessary costs can be carried out based on the list of methods and techniques that are used to reduce the number in the distribution area of the analyzed organism, but are not available in the production of the same crops in the PRA area. In this case, the amount of additional costs can be calculated as multiplying the monetary cost of these measures per area unit on which additional plant protection measures will be necessary.

Area assessment is possible based on a model of the potential species distribution. According to the widely used natural interval method (Jenks, 1967), an area of high and moderate harmfulness (where the threshold of economic harmfulness is most likely to be reached) can be defined as a part of the potential species distribution with a corresponding adaptation probability of 0.2 (20%) or more. The area occupied by the damaged crop in this area (allocated by zoning or regionalization method, as shown above) will be the area of required treatments.

Estimating the cost of work per unit area seems to be a more difficult task. Obviously, it depends on a large number of factors (cost of drugs, processing method, etc.) and can only be accurately determined empirically for the conditions of similar farms. If such information is available, it is preferable to proceed from it. However, the cost of work can be estimated very roughly based on the average total costs of plant protection. Data from V.A. Zakharenko (2021) show that these costs for major crops in the Russian Federation in 2016–2018 amounted to comparable values in the range of approximately 2 to 3 thousand rubles per hectare. Based on this, the minimum cost per unit additional treatment can be conservatively estimated as 1/10 of this amount, taking into account inflation at the time of assessment. Indicators published by Rosstat by 2023 allow to estimate this amount as approximately 300–400 rubles per hectare. Multiplying the amount spent on a single additional treatment, the number of expected additional treatments and the area of potential harmfulness of the species allows to arrive at a rough estimate of the negative economic significance of the species caused by the need to apply additional plant protection measures in the event of the pest adaptation. The resulting number can be used to estimate the magnitude of the potential increase in production costs (including control costs) associated with the pest of interest in the PRA area, on a scale of 1 to 9 similar to the one above.

The total potential economic risk of a pest for the PRA area can be qualitatively assessed on a scale:

potential economic losses in quantitative terms amount to a total of less than  $10^{-7}$  GDP (10 million rubles for the Russian Federation in 2022 indicators), the likelihood of significant qualitative changes in economic equilibrium, ecosystem or social consequences of adaptation (according to expert assessment) is low – low economic risk;

обработку, количества предполагаемых дополнительных обработок и площади потенциальной вредоносности вида позволяет прийти к грубой оценке негативного экономического значения вида, вызванного необходимостью применения дополнительных мер защиты растений в случае акклиматизации вредного организма. Полученное число может быть использовано для оценки величины потенциального увеличения издержек производства (включая расходы на борьбу), связанных с анализируемым вредным организмом в зоне АФР, по шкале от 1 до 9, аналогичной приведенной выше.

Суммарно потенциальный экономический риск вредного организма для зоны АФР может быть качественно оценен по шкале:

потенциальные экономические потери в количественном выражении составляют суммарно менее  $10^{-7}$  ВВП (10 млн рублей для Российской Федерации в показателях 2022 г.), вероятность существенных качественных изменений экономического равновесия, экосистемных или социальных последствий акклиматизации (по экспертной оценке) низкая – низкий экономический риск;

потенциальные экономические потери в количественном выражении составляют суммарно не менее  $10^{-7}$  ВВП (10 млн рублей для Российской Федерации в показателях 2022 г.), но менее  $10^{-5}$  (1 млрд рублей для Российской Федерации в показателях 2022 г.), или (при более низких количественных показателях) вероятность существенных качественных изменений экономического равновесия, экосистемных или социальных последствий акклиматизации (по экспертной оценке) высокая – средний экономический риск;

потенциальные экономические потери в количественном выражении составляют суммарно более  $10^{-5}$  ВВП (1 млрд рублей для Российской Федерации в показателях 2022 г.), или (при более низких количественных показателях) вероятность существенных качественных изменений экономического равновесия, экосистемных или социальных последствий акклиматизации (по экспертной оценке) высокая – высокий экономический риск.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Показанные выше методы оценки позволяют значительно повысить достоверность и точность оценки потенциального экономического значения карантинных видов насекомых и клещей при осуществлении АФР. В то же время они соответствуют требованиям законодательства и методических документов в сфере карантина растений. При этом они математически эквивалентны применявшимся ранее в практике анализа фитосанитарного риска в Российской Федерации (Васютин и др., 2001; Перевертин, 2006), что обеспечивает преемственность и сопоставимость результатов. Однако, количественная оценка потенциального негативного воздействия многих видов вредных организмов, как и его макроэкономических последствий, остается затрудненной из-за отсутствия соответствующей научно-методической базы. Решение этих задач является перспективным направлением развития анализа фитосанитарного риска.

potential economic losses in quantitative terms amount to a total of at least  $10^{-7}$  GDP (10 million rubles for the Russian Federation in 2022 terms), but less than  $10^{-5}$  (1 billion rubles for the Russian Federation in 2022 indicators), or (if lower quantitative indicators) the probability of significant qualitative changes in the economic equilibrium, ecosystem or social consequences of adaptation (according to expert assessment) is high – medium economic risk;

potential economic losses in quantitative terms amount to a total of more than  $10^{-5}$  GDP (1 billion rubles for the Russian Federation in 2022 indicators), or (with lower quantitative indicators) the likelihood of significant qualitative changes in the economic equilibrium, ecosystem or social consequences of adaptation (according to expert assessment) high – high economic risk.

## CONCLUSION

The assessment methods shown above can significantly improve the reliability and accuracy of assessing the potential economic importance of quarantine species of insects and mites when implementing PRA. At the same time, they comply with the requirements of legislation and methodological documents in the field of plant quarantine. Moreover, they are mathematically equivalent to those previously used in the PRA practice in the Russian Federation (Vasyutin et al., 2001; Perevertin, 2006), which ensures continuity and comparability of results. However, quantitative assessment of the potential negative impact of many pest species, as well as its macroeconomic consequences, remains difficult due to the lack of an appropriate scientific and methodological base. Solving these problems is a promising direction for the PRA development.

**Acknowledgments.** The author is sincerely grateful to I.O. Kamayev (Bykovo, FGBU “VNIKR”) for valuable advice and productive discussion of the presented results. The work was carried out within the framework of the state assignment for the implementation of public works (USISU NIOKTR No. 122041300171-6).

## REFERENCES

1. Vasyutin A.S., Smetnik A.I. et al. Plant protection in the Russian Federation [Karantin rasteniy v Rossiyskoy Federatsii]. M.: Kolos, 2001, 375 p. (In Russ.)
2. Grebennikov K.A., Kulakova Yu.Yu. 2022. Development of methods for mathematical modeling of the probability of introduction, spread and negative impact of quarantine species of insects for the purpose of scientific and methodological support for performing pest risk analysis for the territory of the Russian Federation (interim report) (manuscript) [Razrabotka metodov matematicheskogo modelirovaniya veroyatnosti proniknoveniya, rasprostraneniya i negativnogo

**Благодарность.** Автор искренне признателен И.О. Камаеву (р. п. Быково, ФГБУ «ВНИИКР») за ценные советы и продуктивное обсуждение изложенных результатов. Работа выполнена в рамках государственного задания на выполнение государственных работ (№ ЕГИСУ НИОКТР 122041300171-6).

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Васютин А.С., Сметник А.И. и др. Карантин растений в Российской Федерации. М.: Колос, 2001, 375 с.

2. Гребенников К.А., Кулакова Ю.Ю. 2022. Разработка методов математического моделирования вероятности проникновения, распространения и негативного воздействия карантинных видов насекомых в целях научно-методического обеспечения выполнения анализа фитосанитарного риска для территории Российской Федерации (промежуточный отчет) (рукопись). Инв. № 16-2022 ПО ВНИИКР. Быково, ФГБУ «ВНИИКР». № ЕГИСУ НИОКТР 122041300171-6. 139 с.

3. Захаренко В.А., Ченкин А.Ф., Черкасов В.А. Справочник по защите растений / Под ред. Ю.Н. Фадеева. М.: Агропромиздат, 1985, 414 с.

4. Захаренко В.А. Современное состояние и перспективы экономики применения пестицидов в агроэкосистемах России // *Агрохимия*. 2021. № 5. С. 68–83. URL: <https://doi.org/10.31857/S0002188121050148>.

5. Лисовский А.А., Дудов С.В., Оболенская Е.В. Преимущества и ограничения методов экологического моделирования ареалов. 1. Общие подходы // *Журнал общей биологии*. 2020. Т. 81, № 2. С. 123–134.

6. Международный стандарт по фитосанитарным мерам МСФМ № 2 «Структура анализа фитосанитарного риска». 2019, 20 с.

7. Международный стандарт по фитосанитарным мерам МСФМ № 11 «Анализ фитосанитарного риска для карантинных вредных организмов». 2019, 45 с.

8. Перевертин К.А. Прогнозирование потерь урожая от вредных организмов с помощью моделей «критической точки» // *Прикладная фитонематология*. М.: Наука, 2006. С. 85–97.

9. Приказ Министерства сельского хозяйства Российской Федерации от 5 февраля 2018 г. № 46 «Об утверждении Методики осуществления анализа фитосанитарного риска».

10. Ризниченко Г.Ю., Рубин А.Б. Математические модели биологических продукционных процессов. М.: МГУ, 1993, 300 с. ISBN 5-211-01755-2.

11. Aubertot J.N., Robin M.H. Injury Profile SIMulator, a qualitative aggregative modelling framework to predict crop injury profile as a function of cropping practices, and the abiotic and biotic environment. I. Conceptual bases. // *PLoS ONE*. 2013. Vol. 8, No. 9. P. 1–12. URL: <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0073202>.

12. Economic impact assessment in pest risk analysis / Soliman T., Mourits M.C.M., Oude Lansink A.G.J.M., van der Werf W. // *Crop Protection*. 2010. Vol. 29, Issue 6. P. 517–524. URL: <https://doi.org/10.1016/j.cropro.2009.12.014>.

13. EFSA. Guidance on quantitative pest risk assessment // *EFSA journal*. 2018. Vol. 16, Issue 8. P. 1–86. URL: <https://doi.org/10.2903/j.efsa.2018.5350>.

vozdeystviya karantinnykh vidov nasekomykh v tseli lyakh nauchno-metodicheskogo obespecheniya vypolneniya analiza fitosanitarnogo riska dlya territorii Rossiyskoy Federatsii]. Inv. No. 16-2022 BY VNIKR. Bykovo, FGBU «VNIKR». No. EGISU NIOKTR 122041300171-6. 139 p. (In Russ.)

3. Zakharenko V.A., Chenkin A.F., Cherkasov V.A. Handbook of plant protection [Spravochnik po zashchite rasteniy] / Ed. Yu.N. Fadeeva. M.: Agropromizdat, 1985, 414 p. (In Russ.)

4. Zakharenko V.A. Current state and prospects of the economy of the use of pesticides in agroecosystems of Russia [Sovremennoye sostoyaniye i perspektivy ekonomiki primeneniya pestitsidov v agroekosistemakh Rossii] // *Agrochemistry*. 2021; 5: 68–83. URL: <https://doi.org/10.31857/S0002188121050148>. (In Russ.)

5. Lisovsky A.A., Dudov S.V., Obolenskaya E.V. Advantages and limitations of application of the species distribution modeling methods. 1. A general approach [Preimushchestva i ogranicheniya metodov ekologicheskogo modelirovaniya arealov. 1. Obshchiye podkhody] // *Journal of General Biology*. 2020; 81; 2: 123–134. (In Russ.)

6. International Standard for Phytosanitary Measures ISPM № 2 “Framework for pest risk analysis”. 2019, 20 p.

7. International Standard for Phytosanitary Measures ISPM № 11 “Pest risk analysis for quarantine pests”. 2019, 45 p.

8. Perevertin K.A. Forecasting crop losses from pests using “critical point” models [Prognozirovaniye poter' urozhaya ot vrednykh organizmov s pomoshch'yu modeley «kriticheskoy tochkii»] // *Applied Phytoneumatology*. M.: Nauka, 2006; 85–97. (In Russ.)

9. Order of the Ministry of Agriculture of the Russian Federation dated February 5, 2018 No. 46 “On approval of the Methodology for performing pest risk analysis”.

10. Riznichenko G.Yu., Rubin A.B. Mathematical models of biological production processes [Matematicheskiye modeli biologicheskikh produktzionnykh protsessov]. M.: MSU, 1993, 300 p. ISBN 5-211-01755-2. (In Russ.)

11. Aubertot J.N., Robin M.H. Injury Profile SIMulator, a qualitative aggregative modelling framework to predict crop injury profile as a function of cropping practices, and the abiotic and biotic environment. I. Conceptual bases. // *PLoS ONE*. 2013. Vol. 8, No. 9. P. 1–12. URL: <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0073202>.

12. Economic impact assessment in pest risk analysis / Soliman T., Mourits M.C.M., Oude Lansink A.G.J.M., van der Werf W. // *Crop Protection*. 2010. Vol. 29, Issue 6. P. 517–524. URL: <https://doi.org/10.1016/j.cropro.2009.12.014>.

13. EFSA. Guidance on quantitative pest risk assessment // *EFSA journal*. 2018. Vol. 16, Issue 8. P. 1–86. URL: <https://doi.org/10.2903/j.efsa.2018.5350>.

14. Injury Profile SIMulator, a Qualitative Aggregative Modelling Framework to Predict Injury Profile as a Function of Cropping Practices, and Abiotic and Biotic Environment. II. Proof of Concept: Design of IPSIM-Wheat-Eyespot / Robin M.H., Colbach N., Lucas P., Montfort F., Cholez C., Debaeke P., Aubertot J.N. // PLoS ONE. 2013. Vol. 8, No. 10. P. 1–13. URL: <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0075829>.

15. Jenks G.F. The Data Model Concept in Statistical Mapping // International Yearbook of Cartography. 1967. Vol. 7. P. 186–190.

16. Modelling the impacts of pests and diseases on agricultural systems / Donatelli M., Magarey R.D., Bregaglio S., Willcoquet L., Whish J.P.M., Savary S. // Agricultural Systems. 2017. Issue 155. P. 213–224. URL: <https://doi.org/10.1016/j.agsy.2017.01.019>.

17. Oerke E.-C. Crop losses to pests // The Journal of Agricultural Science. 2006. Vol. 144, Issue 1. P. 31–43. URL: <https://doi.org/10.1017/S0021859605005708>.

18. Росстат (Федеральная служба государственной статистики) [Электронный ресурс]. URL: <https://rosstat.gov.ru> (дата обращения: 15.08.2023).

19. Savary S., Willcoquet L., 2014. Simulation Modeling in Botanical Epidemiology and Crop Loss Analysis. The Plant Health Instructor [Электронный ресурс]. URL: <https://www.apsnet.org/edcenter/disimpactmngmnt/topc/BotanicalEpidemiology/Pages/default.aspx> (дата обращения: 15.08.2023). URL: <https://doi.org/10.1094/PHI-A-2014-0314-01>.

#### ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРЕ

**Гребенников Константин Алексеевич**, ведущий научный сотрудник лаборатории экологии и генетики насекомых и клещей ФГБУ «ВНИИКР», р. п. Быково, г. о. Раменский, Московская обл., Россия; *e-mail: kgrebennikov@gmail.com*.

14. Injury Profile SIMulator, a Qualitative Aggregative Modelling Framework to Predict Injury Profile as a Function of Cropping Practices, and Abiotic and Biotic Environment. II. Proof of Concept: Design of IPSIM-Wheat-Eyespot / Robin M.H., Colbach N., Lucas P., Montfort F., Cholez C., Debaeke P., Aubertot J.N. // PLoS ONE. 2013. Vol. 8, No. 10. P. 1–13. URL: <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0075829>.

15. Jenks G.F. The Data Model Concept in Statistical Mapping // International Yearbook of Cartography. 1967. Vol. 7. P. 186–190.

16. Modelling the impacts of pests and diseases on agricultural systems / Donatelli M., Magarey R.D., Bregaglio S., Willcoquet L., Whish J.P.M., Savary S. // Agricultural Systems. 2017. Issue 155. P. 213–224. URL: <https://doi.org/10.1016/j.agsy.2017.01.019>.

17. Oerke E.-C. Crop losses to pests // The Journal of Agricultural Science. 2006. Vol. 144, Issue 1. P. 31–43. URL: <https://doi.org/10.1017/S0021859605005708>.

18. Rosstat (Federal State Statistics Service) [Electronic resource]. URL: <https://rosstat.gov.ru> (last accessed: 15.08.2023).

19. Savary S., Willcoquet L., 2014. Simulation Modeling in Botanical Epidemiology and Crop Loss Analysis. The Plant Health Instructor [Electronic resource]. URL: <https://www.apsnet.org/edcenter/disimpactmngmnt/topc/BotanicalEpidemiology/Pages/default.aspx> (last accessed: 15.08.2023). URL: <https://doi.org/10.1094/PHI-A-2014-0314-01>.

#### INFORMATION ABOUT THE AUTHOR

**Konstantin Grebennikov**, Leading Researcher, Insects and Mites Ecology and Genetics Laboratory, FGBU “VNIKCR”, Bykovo, Urban district Ramensky, Moscow Oblast, Russia; *e-mail: kgrebennikov@gmail.com*.