

**Б.А. Ашабоков, Л.М. Федченко, Г.В. Куповых, А.А. Ташилова,
М.Б. Ашабокова**

МЕТОД СНИЖЕНИЯ РИСКОВ В СЕЛЬСКОМ ХОЗЯЙСТВЕ ВСЛЕДСТВИЕ ГРАДОБИТИЙ

Ключевыми проблемами обеспечения условий развития общества в настоящее время становятся адаптация различных сфер деятельности к изменению климата и снижение рисков, связанных с опасными погодными явлениями. В статье обсуждаются возможные подходы к снижению рисков в сельском хозяйстве, связанных с градобитиями, затронуты особенности их информационного обеспечения. Предложены один метод решения данной задачи и модель для его реализации, разработанная в рамках теории принятия решений. Метод решения задачи отнесен нами к "пассивным" методам, которые не предполагают вмешательства в процессы формирования градовых осадков в облаках. В качестве механизма снижения рисков в предложенном методе используется тот факт, что уязвимость сельскохозяйственных культур градом различна для различных культур. Соответственно, управление рисками осуществляется путем подбора структуры производства сельскохозяйственных культур с учетом особенностей их уязвимости данным погодным явлением, а также условиями, наложенными на объемы производства сельскохозяйственной продукции. В статье обсуждаются основные задачи, возникающие на пути практического использования данного метода. Для анализа эффективности метода для производственно-экономических условий степной климатической зоны Кабардино-Балкарской республики проведены модельные расчеты. При этом для определения возможных состояний градовых процессов была использована частота выпадения града (число дней с градом на рассматриваемой территории за год). Пользуясь временным рядом данного показателя за период 1958-2018 гг., частота выпадения града в рассматриваемой климатической зоне была представлена в виде дискретной случайной величины с известным законом распределения. Это дало возможность рассмотреть задачу снижения потерь сельского хозяйства как задачу принятия решений в условиях риска. Результаты модельных расчетов показали высокую эффективность метода для снижения потерь сельского хозяйства от градобитий. Важным достоинством метода является то, что практическое его использование будет связано с незначительными затратами.

Климатические риски; градобития; сельское хозяйство; повреждаемость сельхозкультур; снижение рисков; теория принятия решения; целевая функция.

B.A. Ashabokov, L.M. Fedchenko, G.V. Kupovykh, A.A. Tashilova, M.B. Ashabokova

METHOD FOR REDUCING RISKS IN AGRICULTURE DUE TO HAILSTORMINGS

The key problems of ensuring the conditions for the development of society are now becoming the adaptation of various fields of activity to climate change and the reduction of risks associated with dangerous weather events. The article discusses possible approaches to reducing the risks in agriculture associated with hail damage, touches upon the features of their information support. One method for solving this problem and a model for its implementation, developed in the framework of decision theory, are proposed. The method for solving the problem is classified by us as "passive" methods, which do not imply interference in the processes of formation of hail precipitation in clouds. As a risk mitigation mechanism, the proposed method uses the fact that the vulnerability of crops to hail is different for different crops. Accordingly, risk management is carried out by selecting the structure of agricultural production, taking into account the peculiarities of their vulnerability to this weather event, as well as the conditions imposed on the volume of agricultural production. The article discusses the main tasks that arise in the way of the practical use of this method. To analyze the effectiveness of the method for the production and economic conditions of the steppe climatic zone of the Kabardino-Balkarian Republic, model calculations were carried out. At the same time, to determine the possible states of hail processes, the frequency of hail fall (the number of days with hail in the territory under consideration per year) was used. Using the time series of this indicator for the period 1958-2018, the frequency of hail in the considered climatic zone was presented as a discrete random variable with a known distribution law. This made it possible to consider the problem of reducing losses in agriculture as a problem of decision-

making under risk. The results of model calculations showed the high efficiency of the method for reducing the losses of agriculture from hail damage. An important advantage of the method is that its practical use will be associated with insignificant costs.

Climate risks; hailstorming; agriculture; crop damage; risk reduction; decision theory; objective function.

Введение. Из отраслей экономики сельское хозяйство является одной из самых чувствительных к изменению климата. Это обусловлено существенной зависимостью производства растениеводческой продукции от погодных условий [1–5]. Уже сейчас заметно влияние изменения климата на условия функционирования данной отрасли, на формирование урожаев сельскохозяйственных культур и, таким образом, на устойчивость производства, на спрос и предложение сельскохозяйственной продукции. Во многих работах, посвященных проблеме обеспечения условий устойчивого развития сельского хозяйства, отмечается, что актуальность решения данной проблемы в последние десятилетия заметно повысилась. Следует еще добавить, что проблема эта претерпела значительные изменения, обусловленные влиянием изменения климата на условия производства сельскохозяйственной продукции, она стала существенно сложнее [6–13]. Решение данной проблемы требует проведения исследований по различным направлениям, к которым относятся: проведение детального анализа и прогноза глобального и регионального изменения климата и возможных его последствий; исследование механизмов влияния изменения данного фактора на функционирование отрасли; формулировка задач адаптации сельского хозяйства к изменению климата и разработка методов их решения и т.д. Важнейшее место среди этих направлений исследований занимает разработка методов снижения рисков в сельском хозяйстве, связанных с экстремальными погодными явлениями, частота возникновения и мощность которых увеличиваются быстрыми темпами вследствие изменения климата, происходит расширение территорий, охваченных этими явлениями.

В настоящей работе изложен метод снижения рисков в сельском хозяйстве, связанных с градобитиями. Как известно, они наносят значительный ущерб народному хозяйству многих стран, в том числе и нашей страны. В качестве механизма снижения рисков в методе используется тот факт, что уязвимость сельскохозяйственных культур градом различна для различных культур. Соответственно, управление рисками осуществляется путем подбора структуры производства сельскохозяйственных культур с учетом особенностей их уязвимости данным погодным явлением, а также условиями, наложенными на объемы производства сельскохозяйственной продукции. Обсуждаются проблемы, возникающие на пути практической реализации метода.

1. Основные подходы к снижению рисков в сельском хозяйстве, связанных с градобитиями. Результатом отсутствия эффективных методов снижения рисков, связанных с экстремальными погодными явлениями, может быть нарушение устойчивости функционирования различных сфер деятельности. Градобития, например, могут повлиять на ценообразование на сельскохозяйственную продукцию, на функционирование продовольственных систем. Следует отметить, что под термином риск в настоящей работе имеются в виду ожидаемые потери сельского хозяйства конкретной территории за год от градобитий [14].

Как известно, возникновение рисков на заданной территории, связанных с тем или иным экстремальным погодным явлением, а также уровень этих рисков определяются: подверженностью территории данным погодным явлениям и уязвимостью объектов (реципиентов), расположенных на ней этим явлением [15].

Исходя из этого, в качестве механизмов снижения рисков, связанных с экстремальными погодными явлениями, можно использовать:

- ◆ снижение подверженности территории экстремальному погодному явлению, на которой располагаются реципиенты риска;
- ◆ снижение уязвимости реципиентов риска на этой территории данным погодным явлением.

Соответственно методы снижения рисков, связанных с экстремальными погодными явлениями, можно разделить на "активные" и "пассивные".

"Активными" назовем методы, предусматривающие вмешательство в те процессы, которые сопровождаются экстремальными погодными явлениями. Эти методы, можно сказать, направлены на снижение подверженности рассматриваемой территории экстремальным погодным явлениям. К ним можно отнести, например, методы снижения потерь сельского хозяйства от градобитий, основанные на активном воздействии на градовые облака (с целью предотвращения градобитий) [16]. Снижение подверженности сельского хозяйства градобитиям в данном случае осуществляется путем активного воздействия на градовые облака, в результате которого должно произойти переход их в не градовые. Эти методы в широких масштабах используются для защиты сельскохозяйственных культур от града.

Таким же образом "пассивными" будем называть методы, не предполагающие вмешательства в процессы формирования градовых осадков в облаках. Они направлены на снижение уязвимости сельскохозяйственного производства градом. К таким методам можно отнести, например, использование сеток для защиты садов от града.

Ниже излагается метод, который относится к "пассивным" и основан на использовании того факта, что повреждаемость градовыми частицами различна для различных сельскохозяйственных культур, то есть при одних и тех же условиях одни культуры сильнее повреждаются градом, а другие в меньшей степени. Отсюда снижение рисков или потерь сельского хозяйства от града осуществляется путем управления структурой производства сельскохозяйственных культур. "Пассивный" метод, который будет изложен ниже, основан на этом механизме.

Однако на пути разработки методов и моделей, необходимых для практической реализации метода, возникают серьезные трудности, которые связаны с отсутствием необходимой для этой цели информации. Прогнозировать, например, активность градовых процессов, а тем более характеристики градовых осадков в предстоящем году не представляется возможным. Имеющаяся для решения данной задачи информация в основном ограничивается многолетними данными о частоте и площади выпадения града на рассматриваемой территории, радиолокационными характеристиками градовых облаков, а в некоторых случаях характеристиками градин на земле. Кроме этого, можно сказать, что практически полностью отсутствует информация об уязвимости сельскохозяйственных культур градовыми частицами в зависимости от фазы их развития и от характеристик градовых осадков. Очевидно, что этой информации недостаточно для разработки методов снижения рисков в сельском хозяйстве, связанных с градобитиями.

Таким образом можно сказать, что трудности, возникающие на пути практической реализации "пассивных" методов в основном обусловлены отсутствием информации, необходимой для разработки соответствующих методов и моделей. Как было отмечено, это делает более перспективным рассмотрение данной проблемы в рамках теории принятия решений [17, 18]. Ниже приводится модель снижения связанных с градобитиями потерь сельского хозяйства в рамках данной теории.

С учетом особенностей влияния изменения климата на характеристики экстремальных погодных явлений (увеличение частоты и их разрушительной силы, расширение пространственного их распространения) нельзя не отметить важное требование, которому должны удовлетворять методы снижения связанных с ними рисков в различных сферах деятельности. Таким требованием является экономич-

ность практического их использования. Возможности использования даже высокоэффективных методов могут оказаться ограниченными в условиях изменения климата. Причина заключается в том, что противостояние последствиям данного глобального фактора может потребовать значительных затрат ресурсов, включая и финансовые. Это может привести к существенному снижению обеспеченности общества ресурсами всех видов и, как следствие, к снижению возможности практического использования тех или иных методов снижения рисков.

2. Постановка задачи снижения потерь сельского хозяйства, связанных с градобитиями. Постановка и решение задачи снижения рисков в отраслях экономики, связанных с экстремальными погодными явлениями, требуют формирования множества действий (или множества мероприятий) $A_1, A_2, A_3, \dots, A_M$, использование каждого из которых приводит к определенному снижению рисков от рассматриваемого погодного явления, а для выбора наиболее приемлемого из данного множества мероприятий существуют различные критерии. При этом необходимо рассматривать возможные состояния, в которых может находиться рассматриваемое погодное явление на данной территории и, если это возможно, вероятности его нахождения в различных состояниях [14]. Обозначим через $U_1, U_2, U_3, \dots, U_N$ множество этих состояний, а соответствующие им вероятности через $p_1, p_2, p_3, \dots, p_N$.

В случае градобитий, например, в качестве таких показателей, характеризующих состояние градовых процессов на данной территории, можно использовать частоту выпадения града, величину ущерба от града, площадь выпадения града и т.д. Можно также использовать комбинации различных показателей. Очевидно, что определение этих показателей возможно с погрешностями, часто значительными. Это относится и к другим отраслям экономики. Отмеченные показатели должны удовлетворять важному требованию, а именно, они должны позволять ставить в соответствие каждой паре (A_i, U_j) некоторую величину S_{ij} ($i=1,2,\dots,M; j=1,2,\dots,N$), которая называется исходом. Она равна величине риска, соответствующего действию A_i и состоянию экстремального погодного явления U_j .

В случае задачи снижения рисков в сельском хозяйстве, связанных с градобитиями, в качестве исхода может быть использован один из показателей: валовой объем производства продукции, величина потерь урожая от града, величина спасенного урожая и др.

Для выбора из $A_1, A_2, A_3, \dots, A_M$ наиболее приемлемого составляется табл. 1, которую можно считать моделью принятия решения по снижению потерь отрасли экономики от рассматриваемого погодного явления. В рассматриваемом случае, то есть когда известны $U_1, U_2, U_3, \dots, U_N$ и соответствующие им вероятности, получается задача принятия решений в условиях риска. Для выбора наиболее приемлемого действия в этом случае составляется таблица 1, которую можно считать моделью принятия решения по снижению потерь отрасли от рассматриваемого погодного явления, также существуют некоторые критерии, которые используются для этой цели [17, 18].

Таблица 1

Исход S_{ij} , соответствующий мероприятию A_i и состоянию U_j градовых процессов на рассматриваемой территории ($i=1, 2, \dots, M; j=1, 2, \dots, N$)

	U_1	U_2	U_3	---	U_N
A_1	S_{11}	S_{12}	S_{13}	---	S_{1N}
A_2	S_{21}	S_{22}	S_{23}	---	S_{2N}
A_3	S_{31}	S_{32}	S_{33}	---	S_{3N}
---	---	---	---	---	---
A_M	S_{M1}	S_{M2}	S_{M3}	---	S_{MN}

Ниже в качестве такого критерия используется ожидаемый объем производства продукции, соответствующий каждому элементу из множества действий $A_1, A_2, A_3, \dots, A_M$. При этом задачу предпочтительнее рассматривать как однокритериальную задачу принятия решений, что в существенной степени облегчает ее решение. При использовании двух и более критериев на пути решения задачи могут возникнуть серьезные трудности [17].

В случае рассматриваемой в работе задачи элементами множества $A_1, A_2, A_3, \dots, A_M$ являются допустимые структуры производства сельхозкультур. Они подбираются с учетом ограничений, наложенных на объемы производства культур и используемых для этой цели ограниченных ресурсов [19-21]. Важно еще отметить, что формирование данного множества может оказаться трудоемким, а полученное множество существенно ограниченным.

3. Результаты расчетов. С целью исследования эффективности изложенного метода снижения потерь сельского хозяйства от градобитий для природно-климатических и производственно-экономических условий степной климатической зоны Кабардино-Балкарской республики были проведены модельные расчеты. При этом для определения возможных состояний градовых процессов $U_1, U_2, U_3, \dots, U_N$, была использована частота выпадения града (число дней с градом на данной территории за год). Тогда, пользуясь данными об этом показателе за 60-летний период (1958-2018 гг.), частота выпадения града по годам в рассматриваемой климатической зоне региона была представлена в виде случайной величины. Расчетные данные представлены в табл. 2.

Таблица 2

Число дней с градом и соответствующие различным его значениям вероятности, полученные по данным за 1958-2018 гг.

n	0	1	2	3
p_i	0,59	0,31	0,08	0,02

В этой таблице n – частота выпадения града, p_i – соответствующая вероятность. Случаи выпадения града рассматривались как независимые события. Из таблицы видно, что максимальное количество градобитий в рассматриваемой климатической зоне не превышает 3-х за год, то есть множество состояний градовых процессов состоит из элементов: U_0 (град не выпадает в течение сезона), U_1 (град выпадает один раз), U_2 (град выпадет два раза), U_3 (град выпадет три раза). Соответствующие им вероятности, как можно заметить, получились равными: $p_0=0,59$; $p_1=0,31$; $p_2=0,08$; $p_3=0,02$.

Расчеты проводились для основных культур, производимых в данной климатической зоне: пшеница, кукуруза, овес, картофель. Для определения повреждаемости сельскохозяйственных культур градом были использованы результаты проведенных в Высокогорном геофизическом институте полевых и лабораторных исследований степени повреждения пшеницы и кукурузы градом в зависимости от фазы развития культур и характеристик выпавшего града [22, 23]. По результатам этих исследований повреждаемость сельскохозяйственных культур сложным образом зависит от фазы их развития и характеристик градовых осадков. В случае, когда кинетическая энергия градин равнялась 100 Дж/м^2 , например, коэффициенты повреждаемости кукурузы и пшеницы получились равными $k_1=0,37$ (или 37%) и $k_2=0,7$ (или 70%) соответственно. Для остальных культур из-за отсутствия результатов таких исследований значения этих коэффициентов были определены экспертным методом. Для коэффициентов повреждаемости овса и картофеля, было предположено, что $k_3=0,6$ (60%) и $k_4=0,4$ (40%) соответственно. Таким образом, для отмеченных культур использовались следующие коэффициенты повреждаемости: 1. пшеницы $k_1=0,7$,

2. кукурузы $k_2=0,37$, 3. овса $k_3=0,6$, 4. картофеля $k_4=0,4$. Расчеты проводились для случая, когда град выпадает три раза в течение года. При этом было предположено, что площадь выпадения града в первом случае равна $S_1=600$ га, во втором $S_2=1000$ га и в третьем $S_3=700$ га. Рассматриваемые в качестве действий структуры производства отмеченных сельхозкультур на этих участках приводятся в табл. 3.

Таблица 3

Структуры производства сельскохозяйственных культур ($n=1,2,3,4$) на участках (S_i), на которых наблюдалось выпадение града

n	Участок 1, $S_1= 600$ га				Участок 2, $S_2= 1000$ га				Участок 3, $S_3= 700$ га			
	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4
1	300	100	100	100	500	200	200	100	300	200	100	100
2	300	100	100	100	500	200	200	100	300	200	100	100
3	240	160	100	100	400	300	200	100	240	260	100	100
4	210	190	100	100	350	350	200	100	210	290	100	100
5	150	250	100	100	250	450	200	100	150	350	100	100
6	240	100	160	100	400	200	300	100	240	200	160	100
7	150	100	250	100	250	200	450	100	150	200	250	100
8	240	100	100	160	400	200	200	200	300	200	100	100
9	150	100	100	250	250	200	200	350	150	200	100	250
10	300	100	80	120	500	200	160	140	300	200	80	120

Использование нескольких участков позволяет исследовать различные варианты взаимодействия градовых осадков с сельскохозяйственными культурами, различные показатели производства сельскохозяйственных культур и т.д. Ожидаемый валовой объем производства сельскохозяйственных культур (млн. руб.) на i -ом участке определялся для каждого действия при отсутствии града (VO) и при его выпадении (VT) с помощью выражений:

$$VO_i = \sum_{j=1}^4 x_{ij} Y_{ij} (C_{ij} - s_j), (i=1) \quad (1)$$

$$VT_i = \sum_{j=1}^4 (1-k_{ij}) x_{ij} Y_{ij} (C_{ij} - s_j), (i=1, 2, 3), \quad (2)$$

где $x_{i1}, x_{i2}, x_{i3}, x_{i4}$ – площади, занимаемые культурами $j=1,2,3,4$ на i – ом участке, $Y_{i1}, Y_{i2}, Y_{i3}, Y_{i4}$ – урожайности, $C_{i1}, C_{i2}, C_{i3}, C_{i4}$ – цены реализации; s_j – себестоимость производства i -ой культуры и $k_{i1}, k_{i2}, k_{i3}, k_{i4}$ – повреждаемости градом этих же культур на i -ом участке ($i=1, 2, 3$). В табл. 4 приводятся исходные данные, использованные для проведения расчетов. Как видно из таблицы, сделано допущение, что производственно-экономические показатели и коэффициенты повреждаемости культур одинаковы на всех участках.

Таблица 4

Исходные данные для проведения расчетов

mn	С/х культура	Урожайность, Y_j , ц/га	Коэффициент повреждаемости k_j	Себестоимость*, s_j , руб/ц	Цена* реализации, C_{ij} , руб/ц
$j=1$	пшеница	40	0,7	700	1350
$j=2$	кукуруза	50	0,37	550	1100
$j=3$	овес	35	0,6	420	700
$j=4$	картофель	150	0,4	820	1000

*Данные сайта Госкомстата КБР [18]

Вычисленные для каждого участка значения прибыли $V0_i$, VT_1 , VT_2 и VT_3 , а также значения суммарной для всех участков прибыли V_{Bi} , соответствующие различным случаям выпадения града, приводятся в табл. 5.

Таблица 5

Значения прибыли, соответствующие различным случаям выпадения града, а также значения суммарной для всех участков прибыли V_B^*

	$V0_i$	VT_1	VT_2	VT_3	V_{Bi}
№	$p_0=0,59$	$p_{z1}=0,31$	$p_{z2}=0,08$	$p_{z3}=0,02$	
1	54, 370	46, 224	32, 833	23, 670	49, 507
2	54, 370	46, 224	32, 833	23, 670	49, 507
3	54, 700	47, 036	34, 447	25, 766	50, 125
4	54, 865	47, 441	35, 254	26, 813	50, 433
5	55, 195	48, 253	36, 868	28, 909	51, 051(max)
6	50, 806	43, 399	31, 240	22, 816	46, 385
7	45, 460	39, 162	28, 851	21, 536	41, 700 (min)
8	54, 530	46, 828	34, 177	25, 014	49, 924
9	54, 920	47, 884	36, 343	28, 290	50, 720
10	55, 746	47, 502	33, 914	24, 652	50, 821

*при отсутствии града ($V0_i$) и при его выпадении 1 раз (VT_1) на S_1 , 2 раза (VT_2) на S_2 и 3 раза (VT_3) на S_3 , ожидаемые значения суммарной прибыли (V_{Bi}), соответствующие различным действиям, (млн. руб.).

Можно заметить, что суммарные прибыли V_{Bi} существенно зависят от структуры производства сельскохозяйственных культур. В случае действий 5 и 7, например, разброс между значениями данного показателя составляет около 10 млн. руб. (табл. 4).

Для выбора более эффективной структуры производства сельскохозяйственных культур был использован критерий ожидаемого значения суммарной прибыли V_{Bi} [17]. Согласно данному критерию, наилучшей из структур считается та, которой соответствует максимум данного показателя. Из таблицы видно, что действием, приводящим к наилучшему исходу, является пятое ($V_{B5}= 51,05$ млн. руб. (max)), а наихудшим является седьмое действие $V_{B7}= 41,70$ млн. руб. (min). Разброс между этими значениями V_{Bi} , как видно из таблицы, составляет около 10 млн. руб.

Таким образом, для снижения потерь от града в предстоящем году следует использовать структуру, соответствующую мероприятию 5.

Модель позволяет исследовать влияние различных факторов на значения прибыли на различных участках и на суммарную прибыль V_B . В таблице 6 приведены результаты расчетов, когда урожайности культур увеличены на 10% по сравнению с предыдущим вариантом (табл. 5).

Таблица 6

Значения прибыли, соответствующие различным случаям выпадения града, при повышении урожайности на 10%

	$V0_i$	VT_1	VT_2	VT_3	V_{Bi}
№	$p_0=0,59$	$p_{z1}=0,31$	$p_{z2}=0,08$	$p_{z3}=0,02$	
1	59, 807	50, 846	36, 116	26, 037	54, 458
2	59, 807	50, 846	36, 116	26, 037	54, 458
3	60, 170	51, 739	37, 892	28, 342	55, 137
4	60, 351	52, 185	38, 779	29, 495	55, 477
5	60, 714	53, 078	40, 555	31, 800	56,156 (max)
6	55, 886	47, 739	34, 364	25, 098	51, 023

Окончание табл. 6

	$V0_i$	$VГ_1$	$VГ_2$	$VГ_3$	V_{Bi}
№	$p_0=0,59$	$p_{z1}=0,31$	$p_{z2}=0,08$	$p_{z3}=0,02$	
7	50,006	43,078	31,736	23,690	45,870 (min)
8	59,983	51,511	37,595	27,515	54,91
9	60,412	52,672	39,977	31,119	55,792
10	61,320	52,252	37,305	27,118	55,904

Можно заметить, что повышение урожайности культур привело к некоторому увеличению значений $V0_i$, $VГ_1$, $VГ_2$, $VГ_3$, оно привело к увеличению и максимального значения суммарной прибыли.

Результаты решения модельных задач показывают, что предложенный подход к снижению потерь сельского хозяйства, связанных с градобитиями, является эффективным и его можно использовать для решения практических задач. Следует еще отметить, что с точки зрения экономичности практического использования предложенный метод имеет значительное преимущество.

Заключение. Предложен метод снижения потерь сельского хозяйства от градобитий. В качестве механизма снижения потерь в подходе используется тот факт, что повреждаемость градом различна для различных сельскохозяйственных культур. В рамках теории принятия решений сформулирована модель снижения потерь сельского хозяйства с помощью данного метода. Соответственно, управление потерями сельского хозяйства от данного опасного погодного явления осуществляется путем подбора наиболее эффективной с точки зрения используемого критерия структуры производства сельскохозяйственных культур.

Для анализа эффективности метода для производственно-экономических условий степной климатической зоны КБР проведены модельные расчеты. При этом для определения возможных состояний градовых процессов была использована частота выпадения града (число дней с градом на рассматриваемой территории за год). Пользуясь временным рядом данного показателя за период 1958-2018 гг., частота выпадения града в рассматриваемой климатической зоне была представлена в виде дискретной случайной величины с известным законом распределения. Это дает возможность рассматривать задачу снижения потерь сельского хозяйства как задачу принятия решений в условиях риска. Результаты модельных расчетов показали высокую эффективность метода для снижения потерь сельского хозяйства от градобитий. Важным достоинством метода является то, что практическое его использование будет связано с незначительными затратами.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. IPCC, 2007: Climate Change 2007. The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, Solomon S., Qin D., Manning M., Chen Z., Marquis M., Averyt K.B., Tignor M. and Miller H.L. (eds.). – Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA. – 976 p.
2. Вильфанд Р.М., Страшная А.И. Климат, прогнозы погоды и агрометеорологическое обеспечение сельского хозяйства в условиях изменения климата. Адаптация сельского хозяйства России к меняющимся погодно-климатическим условиям // Сб. докладов международной научно-практической конференции 7–11 декабря 2010. – М.: РГАУ-МСХА им. К.А. Тимирязева. 2011. – С. 23-38.
3. Behnam Mirgol, Meisam Nazari. Possible Scenarios of Winter Wheat Yield Reduction of Dryland Qazvin Province, Iran, Based on Prediction of Temperature and Precipitation Till the End of the Century // Climate. – 2018. – 6, 78.
4. Lobell D.B., Asseng S. Comparing estimates of climate change impacts from process-based and statistical crop models // Environ. Res. Lett. – 2017. – 12. – 015001.

5. *Сиротенко О.Д., Павлова В.Н.* Влияние изменений климата на сельское хозяйство. Развитие сельскохозяйственной метеорологии в России. – 2-е изд. – Обнинск. 2009. – С. 168-190.
6. *Asseng S. et al.* Rising temperatures reduce global wheat production // *Nature Climate Change*. – 2015. – Vol. 5. – P. 143-147.
7. *Brown M.E., de Beurs K.M., Marshall M.* Global phenological response to climate change in crop areas using satellite remote sensing of vegetation, humidity and temperature over 26 years // *Remote Sensing of Environment*. – 2012. – Vol. 126. – P. 174-183.
8. *Израэль Ю.А., Сиротенко О.Д.* Моделирование влияния изменений климата на продуктивность сельского хозяйства России // *Метеорология и гидрология*. – 2003. – № 6. – С. 5-17.
9. *Золотокрылин А.Н., Черенокова Е.А., Титкова Т.Б., Михайлов А.Ю., Бардин М.Ю., Ширяева А.В., Виноградова В.В.* Изменения урожайности зерновых культур Европейской России, вызванные квазидвухлетней цикличностью атмосферных процессов // *Известия Российской академии наук*. – 2016. – С. 90-99.
10. *Переведенцев Ю.П., Шарипова Р.Б., Важнова Н.А.* Агроклиматические ресурсы Ульяновской области и их влияние на урожайность зерновых культур // *Вестник УдГУ. Сер. Биология. Науки о Земле*. – 2012. – № 2. – С. 120-126.
11. *Павлова В.Н., Долгий-Трач В.А., Караченкова А.А.* Региональные изменения климата: агроклиматические оценки для производства сельскохозяйственных культур и землепользования // *Метеоспектр*. – 2015. – № 4. – С. 121-128.
12. *Павлова В.Н., Карачёнова А.А.* Продуктивность зерновых культур на территории Европейской России при изменении климата за последние десятилетия // *Метеорология и гидрология*. – 2020. – № 1. – С. 78-94.
13. *Dronin N., Kirilenko A.* Climate change and food stress in Russia: what if the market transforms as it did during the past century? // *Climatic Change*. – 2008. – Vol. 86. – P. 123-150.
14. *Thywissen K.* Core terminology of disaster reduction. Measuring vulnerability to natural hazards: Towards disaster resilient societies. – Hong Kong: United Nations University Press. 2006. – 23 p.
15. *Катцов В.М.* Доклад о климатических рисках на территории Российской Федерации / ред. В.М. Катцов. – СПб.: Росгидромет. 2017. – 106 с.
16. *Ашабоков Б.А., Федченко Л.М., Шаповалов А.В., Шаповалов В.А.* Физика облаков и активных воздействий на них. – Нальчик: ООО «Печатный двор», 2017. – 240 с.
17. *Кини Р.Л., Райфа Х.* Принятие решений при многих критериях: предпочтения и замещения. – М.: Радио и связь. 1981. – 560 с.
18. *Taha X.* Введение в исследование операций. Т. 2. – М.: Мир, 1985. – 496 с.
19. *Балкизова А.Х., Ташилова А.А., Пишихачева И.Н.* Основные этапы и задачи проблемы адаптации аграрного сектора к изменениям климата // *Матер. Международного симпозиума «Устойчивое развитие: проблемы, концепции, модели»*. Т. 1. – Нальчик: КБНЦ РАН, 2013. – С. 106-109.
20. *Ashabokov B.A., Fedchenko L.M., Tashilova A.A., Shapovalov A.V., Khavtsukov A.Kh. and Balkarova S.B.* Modeling Risk Reduction in Agriculture Associated with Dangerous Agrometeorological Phenomena // *International scientific and practical conference “AgroSMART – Smart solutions for agriculture”*, *KnE Life Sciences*. 2019. – P. 223-231.
21. https://stavstat.gks.ru/ofstatistics_kbr (дата обращения: 06.02.2023).
22. *Глисов М.И., Таумурзаев А.Х., Федченко Л.М., Хучунаев Б.М.* Кинетические характеристики града и повреждаемость сельскохозяйственных культур // *Тр. Всесоюзного Семинара «Активные воздействия на градовые процессы и усовершенствование льдообразующих реагентов для практики активных воздействий»*. – Нальчик. 1991. – С. 75-77.
23. *Глисов М.И., Таумурзаев А.Х., Федченко Л.М., Хучунаев Б.М.* Физические характеристики града и повреждаемость сельскохозяйственных культур // *Тр. Высокотгорного геофизического института*. Вып. 74. – М.: Гидрометеиздат. 1987. – С. 37-144.

REFERENCES

1. IPCC, 2007: Climate Change 2007. The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, Solomon S., Qin D., Manning M., Chen Z., Marguis M., Averyt K. B., Tignor M. and Miller H. L. (eds.). – Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, 976 p.
2. *Vil'fand R.M., Strashnaya A.I.* Klimat, prognozy pogody i agrometeorologicheskoe obespechenie sel'skogo khozyaystva v usloviyakh izmeneniya klimata. Adaptatsiya sel'skogo khozyaystva Rossii k menyayushchimsya pogodno-klimaticheskim usloviyam [Climate,

- weather forecasts and agrometeorological support for agriculture in the face of climate change. Adaptation of Russian agriculture to changing weather and climate conditions], *Sb. докладov mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii 7–11 dekabrya 2010* [Collection of reports of the international scientific-practical conference December 7–11, 2010]. Moscow: RGAU-MSKHA im. K.A. Timiryazeva. 2011, pp. 23-38.
3. *Behnam Mirgol, Meisam Nazari*. Possible Scenarios of Winter Wheat Yield Reduction of Dryland Qazvin Province, Iran, Based on Prediction of Temperature and Precipitation Till the End of the Century, *Climate*, 2018, 6, 78.
 4. *Lobell D.B., Asseng S.* Comparing estimates of climate change impacts from process-based and statistical crop models, *Environ. Res. Lett.*, 2017, 12, 015001.
 5. *Sirotenko O.D., Pavlova V.N.* Vliyaniye izmeneniy klimata na sel'skoe khozyaystvo. Razvitiye sel'skokhozyaystvennoy meteorologii v Rossii [Impact of climate change on agriculture. Development of agricultural meteorology in Russia]. 2nd ed. Obninsk. 2009, pp. 168-190.
 6. *Asseng S. et al.* Rising temperatures reduce global wheat production, *Nature Climate Change*, 2015, Vol. 5, pp. 143-147.
 7. *Brown M.E., de Beurs K.M., Marshall M.* Global phenological response to climate change in crop areas using satellite remote sensing of vegetation, humidity and temperature over 26 years, *Remote Sensing of Environment*, 2012, Vol. 126, pp. 174-183.
 8. *Izrael' Yu.A., Sirotenko O.D.* Modelirovaniye vliyaniya izmeneniy klimata na produktivnost' sel'skogo khozyaystva Rossii [Modeling the impact of climate change on the productivity of Russian agriculture], *Meteorologiya i gidrologiya* [Meteorology and hydrology], 2003, No. 6, pp. 5-17.
 9. *Zolotokrylin A.N., Cherenokova E.A., Titkova T.B., Mikhaylov A.Yu., Bardin M.Yu., Shiryaeva A.V., Vinogradova V.V.* Izmeneniya urozhaynosti zemovykh kul'tur Evropeyskoy Rossii, vyzvannye kvazidvukhletney tsiklichnost'yu atmosferykh protsessov [Changes in the yield of grain crops in European Russia, caused by the quasi-biennial cyclicity of atmospheric processes], *Izvestiya Rossiyskoy akademii nauk* [News of the Russian Academy of Sciences], 2016, pp. 90-99.
 10. *Perevedentsev Yu.P., SHaripova R.B., Vazhnova N.A.* Agroklimaticheskie resursy Ulyanovskoy oblasti i ikh vliyaniye na urozhaynost' zemovykh kul'tur [Agro-climatic resources of the Ulyanovsk region and their impact on the yield of grain crops], *Vestnik UdGU. Ser. Biologiya. Nauki o Zemle* [Vestnik UdGU. Ser. Biology. Earth Sciences], 2012, No. 2, pp. 120-126.
 11. *Pavlova V.N., Dolgiy-Trach V.A., Karachenkova A.A.* Regional'nye izmeneniya klimata: agroklimaticheskie otsenki dlya proizvodstva sel'skokhozyaystvennykh kul'tur i zemlepol'zovaniya [Regional climate change: agro-climatic assessments for crop production and land use], *Meteospekt* [Meteospectr], 2015, No. 4, pp. 121-128.
 12. *Pavlova V.N., Karachenkova A.A.* Produktivnost' zemovykh kul'tur na territorii Evropeyskoy Rossii pri izmenenii klimata za poslednie desyatletiya [Productivity of grain crops on the territory of European Russia under climate change over the past decades], *Meteorologiya i gidrologiya* [Meteorology and hydrology], 2020, No. 1, pp. 78-94.
 13. *Dronin N., Kirilenko A.* Climate change and food stress in Russia: what if the market transforms as it did during the past century?, *Climatic Change*, 2008, Vol. 86, pp. 123-150.
 14. *Thywissen K.* Core terminology of disaster reduction. Measuring vulnerability to natural hazards: Towards disaster resilient societies []. Hong Kong: United Nations University Press. 2006, 23 p.
 15. *Kattsov V.M.* Doklad o klimaticheskikh riskakh na territorii Rossiyskoy Federatsii [Report on climate risks in the Russian Federation], ed. by V.M. Kattsov. St. Petersburg: Rosgidromet. 2017, 106 p.
 16. *Ashabokov B.A., Fedchenko L.M., SHapovalov A.V., Shapovalov V.A.* Fizika oblakov i aktivnykh vozdeystviy na nikh [Physics of clouds and active influences on them]. Nal'chik: OOO «Pechatnyy dvor», 2017, 240 p.
 17. *Kini R.L., Rayfa X.* Prinyatiye resheniy pri mnogikh kriteriyakh: predpochteniya i zameshcheniya [Decision making under multiple criteria: preferences and substitutions]. Moscow: Radio i svyaz'. 1981, 560 p.
 18. *Takha Kh.* Vvedeniye v issledovaniye operatsiy [Introduction to operations research]. Vol. 2. Moscow: Mir, 1985, 496 p.
 19. *Balkizova A.Kh., Tashilova A.A., Pshikhacheva I.N.* Osnovnye etapy i zadachi problemy adaptatsii agrarnogo sektora k izmeneniyam klimata [The main stages and tasks of the problem of adaptation of the agricultural sector to climate change], *Mater. Mezhdunarodnogo simpoziuma «Ustoychivoye razvitiye: problemy, kontseptsii, modeli»* [Proceedings of the International Symposium "Sustainable Development: Problems, Concepts, Models"]. Vol. 1. Nal'chik: KBNTS RAN, 2013, pp. 106-109.

20. *Ashabokov B.A., Fedchenko L.M., Tashilova A.A., Shapovalov A.V., Khavtsukov A.Kh. and Balkarova S.B. Modeling Risk Reduction in Agriculture Associated with Dangerous Agrometeorological Phenomena, International scientific and practical conference "AgroSMART – Smart solutions for agriculture", KnE Life Sciences. 2019, pp. 223-231.*
21. Available at: https://stavstat.gks.ru/ofstatistics_kbr (accessed: 06 February 2023).
22. *Tlisov M.I., Taumurzaev A.Kh., Fedchenko L.M., Khuchunaev B.M. Kineticheskie kharakteristiki grada i povrezhdaemost' sel'skokhozyaystvennykh kul'tur [Kinetic characteristics of hail and damage to agricultural crops], Tr. Vsesoyuznogo Seminara «Aktivnye vozdeystviya na gradovye protsessy i usovershenstvovanie l'doobrazuyushchikh reagentov dlya praktiki aktivnykh vozdeystviy» [Proceedings of the All-Union Seminar "Active impacts on hail processes and improvement of ice-forming reagents for the practice of active impacts"]. Nal'chik. 1991, pp. 75-77.*
23. *Tlisov M.I., Taumurzaev A.Kh., Fedchenko L.M., Khuchunaev B.M. Fizicheskie kharakteristiki grada i povrezhdaemost' sel'skokhozyaystvennykh kul'tur [Physical characteristics of hail and crop damage], Tr. Vysokogornogo geofizicheskogo institute [Proceedings of the High Mountain Geophysical Institute]. Issue 74. Moscow: Gidrometeoizdat. 1987, pp. 37-144.*

Статью рекомендовал к опубликованию д.т.н. Ю.А. Кравченко.

Ашабоков Борис Азреталиевич – Высокотгорный геофизический институт; e-mail: ashabokov.boris@mail.ru; г. Нальчик, Россия; тел.: 88662404841; д.ф.-м.н.; профессор; зав. отделом физики облаков; зав. отделом в «ИИПРУ КБНЦ РАН».

Федченко Людмила Михайловна – e-mail: fedchenkolm@mail.ru; тел.: .88662720780; д.г.н.; профессор; г.н.с.

Ташилова Алла Амарбиевна – e-mail: tashilovaa@mail.ru; д.ф.-м.н.; доцент; с.н.с.

Ашабокова Марина Борисовна – e-mail: ashabokova.marina@rambler.ru; м.н.с.

Куповых Геннадий Владимирович – Южный федеральный университет; e-mail: kupovykh@sfedu.ru; г. Таганрог, Россия; тел.: 89289543642; д.ф.-м.н.; профессор; зав. кафедрой высшей математики.

Ashabokov Boris Azretalievich – High Mountain Geophysical Institute; e-mail: ashabokov.boris@mail.ru; Nalchik, Russia; phone: 88662404841; dr. of phys. and math. sc.; professor; head of the department of cloud physics.

Fedchenko Ludmila Mikhailovna – e-mail: fedchenkolm@mail.ru; phone: +78662720780; dr. of eng. sc.; professor; chief researcher.

Tashilova Alla Amarbievna – e-mail: tashilovaa@mail.ru; phone: +79286924629; dr. of phys. and math. sc.; associate professor; senior researcher.

Ashabokova Marina Borisovna – e-mail: ashabokova.marina@rambler.ru; junior researcher.

Kupovykh Gennady Vladimirovich – Southern Federal University; e-mail: kupovykh@sfd.u.ru; Taganrog, Russia; phone: +79289543642; dr. of phys. and math. sc.; professor; head of the department of higher mathematics.