

1. **ЕСТЕСТВЕННЫЕ НАУКИ**
1.6.18. **Науки об атмосфере и климате**
(физико-математические науки)

Научная статья

УДК 551.509

<https://doi.org/10.37493/2308-4758.2024.3.5>

ЗАДАЧА ОПТИМИЗАЦИИ СТРУКТУРЫ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОГО ПРОИЗВОДСТВА С УЧЕТОМ ПРОГНОЗА ГРАДОБИТИЙ

Лежинка Танашевна Созаева^{1*},
Артур Хасанбиевич Кагермазов²

- ^{1,2} Высокогорный геофизический институт (2, пр. Ленина, Нальчик, 360030, Российская Федерация)

¹ lj_k_62@rambler.ru; <https://orcid.org/0000-0002-9840-3566>

² ka5408@mail.ru; <https://orcid.org/0000-0002-8126-6008>

* Автор, ответственный за переписку

Аннотация.

Опасные явления погоды наносят огромный ущерб всему народному хозяйству. Градобития, ливни, заморозки, засухи, песчаные и пыльные бури губительны для сельского хозяйства. В связи с чем в настоящее время одной из проблем производства сельхозкультур является снижение рисков, связанных с опасными погодными явлениями. Объектом данного исследования является оптимизация структуры сельскохозяйственного производства с учетом градобитий. Для снижения рисков от градобитий принято использовать активные методы, связанные с воздействием на градовые процессы с целью его подавления, и пассивные – установление различных противорадовых сеток. В данной работе в рамках применения методов математического моделирования предлагается метод теории принятия решения – оптимизации структуры выращиваемых сельхозкультур с учетом особенностей их чувствительности к повреждениям от града. Кроме того, вносится коррекция на эффективность мероприятий по снижению рисков от градобитий. Мероприятия могут быть разработаны руководителем, если предприятие обеспечено прогнозом града. Задача оптимизации решается с учетом скорректированного коэффициента повреждаемости сельхозкультур, введенного в соответствии с прогнозом града с заблаговременностью до трех суток. Для решения задачи проводятся численные эксперименты с

привлечением надстройки «Поиск решения» для Excel. В ходе работы обнаружено, что предлагаемый подход, требующий формирования плана мероприятий с учетом прогноза града, имеет высокую эффективность для снижения рисков от градобитий, и регулирования величины прибыли от производства сельхозкультур. По результатам исследований сделан вывод о том, что обеспечение хозяйства прогнозом града с заблаговременностью до трех суток позволит снизить риски от градобитий.

Ключевые слова: прогноз града, снижение рисков от градобитий, целевая функция, теория принятия решения, коэффициент повреждаемости

Для цитирования: Созаева Л. Т., Кагермазов А. Х. Задача оптимизации структуры сельскохозяйственного производства с учетом прогноза градобитий // Наука. Инновации. Технологии. 2024. № 3. С. 95–110. <https://doi.org/10.37493/2308-4758.2024.3.5>

Конфликт интересов: авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Статья поступила в редакцию 22.07.2024;
одобрена после рецензирования 02.09.2024;
принята к публикации 09.09.2024.

1.6.18.

Atmospheric and Climate Sciences (Physical and Mathematical Sciences)

Research article

Optimizing the structure of agricultural production with account of hail forecasts

**Lezhinka T. Sozaeva^{1*},
Artur Kh. Kagermazov²**

^{1,2} High-Mountain Geophysical Institute (2, Lenin Ave., Nalchik, 360001, Russian Federation)

¹ lj_k_62@rambler.ru; <https://orcid.org/0000-0002-9840-3566>

² ka5408@mail.ru; <https://orcid.org/0000-0002-8126-6008>

* Corresponding author

Abstract. Hazardous weather phenomena cause enormous damage to the entire national economy. Hail storms, heavy rains, frosts, droughts, sand and dust storms are detrimental to agriculture. In this regard, currently one of the crop production problems is to reduce the risks associated with dangerous weather phenomena. The object of this study is the optimization of the structure of agricultural production with account of hail storms. To decrease hail storms damage, it is customary to use active methods related to the impact on hail processes in order to suppress them, and passive methods, namely the establishment of various anti-hail nets. The study proposes a method of decision-taking theory as a part of mathematical modeling methods: optimization of the structure of cultivated crops taking into consideration the peculiarities of their sensitivity to hail damage. In addition, adjustments are being made to the effectiveness of measures to decrease hail storms damage. Measures can be developed by the director if the company is provided with a hail forecast. The optimization problem is solved with the reference to the adjusted damageability coefficient introduced in accordance with the hail-warning forecast up to three days. To solve the problem, numerical experiments are carried out using the «Solution Search» add-in for Excel. In the course of the work, it was found that the proposed approach, which requires the formation of an action plan taking into account the hail forecast, is highly effective in decreasing hail storms damage and regulating the amount of profit from crop production. According to the results of the research, it was concluded that providing the industry with a hail-warning forecast up to three days will reduce the risks from hail storms.

Keywords: hail forecast, decreasing hailstorms-damage, objective function, decision-taking theory, coefficients damageability

For citation: Sozaeva LT, Kagermazov AKh. Optimizing the structure of agricultural production with account of hail forecasts. Science. Innovations. Technologies. 2024;(3):95-110. (In Russ.). <https://doi.org/10.37493/2308-4758.2024.3.5>

Conflict of interest: the authors declare no conflicts of interests.

The article was submitted 22.07.2024;
approved after reviewing 02.09.2024;
accepted for publication 09.09.2024.

Введение

Опасные явления погоды ежегодно наносят серьезные повреждения посевам и насаждениям, иногда полностью уничтожая их. Для снижения потерь в сельском хозяйстве, связанных с опасными погодными явлениями, необходимо уметь их предсказывать и адаптировать производство сельхозкультур к возможным последствиям от неблагоприятных условий погоды.

Для территории Северного Кавказа серьезную опасность представляют градобития, наносящие значительный ущерб сельскому хозяйству.

При этом снижения рисков от градобитий можно добиться различными способами. Первый – это предотвращение выпадения града в результате его подавления различными методами активных воздействий. Или применением пассивных методов, в том числе противогородовых сеток для защиты фруктовых деревьев, виноградников и овощей. Второй подход основан на применении методов математического моделирования.

В рамках второго подхода находят применение задачи оптимизации с формированием целевой функции, в которую вводятся известные из практики коэффициенты повреждаемости сельхозкультур [1-4]. Целью данной работы является решение задачи оптимизации структуры сельского хозяйства на основе коэффициента повреждаемости, скорректированного с учетом заблаговременности прогноза града.

Для достижения поставленной цели предлагается:

- построить целевую функцию задачи оптимизации структуры сельхозкультур с учетом скорректированного коэффициента повреждаемости;
- получить решение задачи для различных сроков заблаговременности прогноза града.

Для решения задачи оптимизации привлекается симплекс-метод, реализованный в надстройке «Поиск решения» в Microsoft Excel.

Материалы и методы исследований

В общем виде математическая постановка задачи оптимизации сводится к определению максимального (минимального) значения целевой функции F [5]:

$$F = \sum_{i=1}^n c_i x_i \rightarrow \max (\min), \quad (1)$$

при ограничениях:

$$\sum_{i=1}^n a_{ij} x_i = b_j \quad (j = 1, \dots, k),$$
$$\sum_{i=1}^n a_{ij} x_i \leq b_j \quad (j = k + 1, \dots, m), \quad (2)$$

$$b_j \geq 0 \quad (i = 1, \dots, n),$$

a_{ij}, b_j, c_i – заданные постоянные величины и $k \leq m$.

Совокупность чисел $X = (x_1, x_2, \dots, x_n)$, удовлетворяющих ограничениям задачи, называется допустимым решением. Решение, при котором целевая функция задачи принимает максимальное (минимальное) значение, называется оптимальным.

Если целевая функция (1) и система ограничений (2) линейные, то мы имеем дело с задачей линейного программирования, универсальным методом решения которой является симплекс-метод.

В случае производства сельскохозяйственной продукции задача оптимизации (определения структуры сельского хозяйства) основывается на данных об урожайности выращиваемых культур, объемах и затратах различных ресурсов.

Особенности информационного обеспечения данной задачи определяются необходимостью наличия информации о значениях коэффициентов повреждаемости различных культур и качественной прогностической информации о градобитии для организации технологических мер для уменьшения ущерба.

Известно, что на урожайность сельскохозяйственных культур негативное влияние оказывают градобития, которые составляют 40% от метеорологически обусловленных стихийных бедствий.

Так, на территории, находящейся в зоне ответственности Северо-Кавказской военизированной службы, наблюдается в среднем 32 дня с градом при максимальном значении 47 дней (2015 г.) за сезон, а Краснодарской службы – 36 дней с градом при максимальном значении равном 51 дню (2012 г.) за сезон [6, 7]. Причем вероятность выпадения града на конкретной территории высока. Например, на территории Прохладненского района КБР на временном интервале 1958–2008 гг. в течение сезона противоградовых работ она равна 0,6 [8].

Одной из задач, решаемых в рамках комплексного градового эксперимента на научно-исследовательском полигоне Высокогорного геофизического института, являлась оценка повреждаемости различных культур. Во время выпадения града собирались пробы градин (градовые подушки), рассчитывались спектральные и энергетические характеристики для восстановления их микрофизических характеристик. Одновременно определялась степень повреждения сельхозкультур [1, 2].

Исследования показали, что степень повреждения сельхозкультур зависит от размера, массы, концентрации града, а также от кинетической энергии и потока кинетической энергии града. Коэффициент корреляции оказался наибольшим между повреждаемостью и кинетической энергией града [2]. Повреждаемость пшеницы от градобития оказалась равной 0,5, а кукурузы – 0,35 для случаев кинетической энергии града, равной 100 Дж/м².

Зарубежными исследователями была получена повреждаемость винограда при такой же кинетической энергии, равная 0,45 [3]. Для овса и картофеля по результатам опроса специалистов приняты коэффициенты 0,6 и 0,4, соответственно [4].

Известно, что заблаговременный прогноз града позволяет уменьшить риски от градобитий. В авторских работах для прогнозирования града предлагается методика, согласно которой в качестве исходной информации используется выходная продукция глобальной модели атмосферы GFS NCEP с заблаговременностью до 3 суток [9–12]. Созданный по этой методике программный продукт для прогноза параметров атмосферы и града прошел успешную апробацию [13].

Наличие прогностической информации позволяет разработать план мероприятий по сохранению урожая от повреждений в период градобития. Обычно он разрабатывается руководителем сельхозпредприятия в соответствии с технологическим регламентом производства сельхозкультур.

В зависимости от заблаговременности прогноза града предприятие может функционировать в некотором режиме организационно-технических мероприятий. Эффективность мероприятий определяется техническими и кадровыми возможностями предприятия.

Результаты исследований и их обсуждение

Рассмотрим некоторое предприятие, специализирующееся на производстве пшеницы, кукурузы, винограда, овса и картофеля. Требуется определить структуру сельскохозяйственных угодий, обеспечивающую получение максимальной прибыли. Тогда целевая функция запишется в виде [8]:

$$F = \sum_{i=1}^5 (\Pi_i - C_i) Y_i, x_i \rightarrow \max, i = 1, 2, \dots, 5, \quad (3)$$

где F – прибыль от производства культур;
 x_i – площади, занимаемые i -ми культурами;
 Y_i – урожайность;
 Π_i – цена реализации и
 C_i – себестоимость i -ых культур.

Согласно севообороту установлено, что площадь, отводимая под зерновые культуры, не должна превышать 600 га, из них под пшеницу не более 250 га. Под виноградники выделяется 50 га. Общая площадь сельхозугодий составляет 900 га, трудовые ресурсы – 40 000 чел.-дн. По плану требуется произвести и реализовать не менее 8 000 ц зерна и 40 000 ц картофеля.

Исходная информация о структуре и производственно-экономических показателях представлена в таблице 1.

Необходимо построить модель оптимизации для нахождения структуры распределения посевных площадей, дающей максимальную прибыль с учетом сроков заблаговременности прогноза града.

Таблица 1. ИСХОДНАЯ ИНФОРМАЦИЯ О ПРОИЗВОДСТВЕННО-ЭКОНОМИЧЕСКИХ ПОКАЗАТЕЛЯХ
Table 1. Initial information on production and economic indicators

Культуры	Урожайность, ц/га	Трудоемкость, чел. дн./ц	Себестоимость, ден. ед./ц	Цена реализации, ден. ед./ц
Пшеница	36	0,2	3	7
Кукуруза	130	0,4	2	4
Овес	30	0,3	3	7
Виноград	70	0,1	2	4
Картофель	200	0,5	6	9

Источник: составлено по данным [5] / Source: compiled according to data [5]

Введем следующие обозначения площадей (га), отводимых под сельхозкультуры: x_1 – пшеницу, x_2 – кукурузу, x_3 – овес, x_4 – виноград и x_5 – картофель.

По условию задачи имеем:

— общая площадь сельхозкультур:

$$x_1 + x_2 + x_3 + x_4 + x_5 = 900;$$

— площадь виноградников: $x_4 = 50$.

Ограничения по допустимо возможным площадям отдельных культур и групп, га:

— общая площадь зерновых: $x_1 + x_2 + x_3 \leq 600$;

— площадь, отводимая под пшеницу: $x_1 \leq 250$.

Ограничения по производству продукции, ц:

— по валовому сбору картофеля: $200x_5 \geq 40\,000$;

— по валовому сбору зерновых:

$$36x_1 + 130x_2 + 30x_3 \geq 40\,000.$$

Ограничения по трудовым ресурсам, чел. дн.:

$$7,2x_1 + 52x_2 + 9x_3 + 7x_4 + 100x_5 \leq 600.$$

Допустим, что предприятие располагается на территории, где имеется вероятность выпадения града, который может нанести ущерб сельхозкультурам.

Тогда с учетом выше определенных коэффициентов повреждаемости K_i (табл. 1) составим целевую функцию по критерию – максимум прибыли:

$$F = \sum_{i=1}^5 (1 - K_i)(\Pi_i - C_i) Y_i, x_i \rightarrow \max, i = 1, 2, \dots 5. \quad (4)$$

Также допустим, что предприятие обеспечивается прогнозом града с заблаговременностью сутки, двое и трое суток. Тогда появляется возможность разработать план мероприятий для снижения рисков от градобития. Пусть на стадии уборки урожая зерновых культур разработан план мероприятий, который позволит сохранить урожай на 100, 80 и 50%, а на стадии проведения работ по укрытию защитными сетками виноградников и садов интенсивного производства – защитить насаждения на 100, 80 и 50% в соответствии с заблаговременностью прогноза. С учетом этих мероприятий предприятие может функционировать в трех режимах в соответствии со сроками заблаговременности прогноза града.

В функцию (4) с учетом заблаговременности прогноза града введем скорректированный коэффициент повреждаемости K' :

$$F = \sum_{i=1}^5 (1 - K'_i)(\Pi_i - C_i) Y_i, x_i = (1 - K'_1) 144x_1 + (1 - K'_2) 260x_2 + (1 - K'_3) 120x_3 + (1 - K'_4) 140x_4 + (1 - K'_5) 600x_5 \rightarrow \max, \quad (5)$$

$$K'_i = K_i \cdot \mathcal{E}_j,$$

где $K_j = 1 - \mathcal{E}_j$ – поправочный множитель на предупреденность градобития с нарастающей заблаговременностью $j = 1, 2, 3$ (первый, второй и третий режим);

\mathcal{E}_j – эффективность мероприятия.

В соответствии с планом мероприятий скорректированные коэффициенты повреждаемости принимают значения, представленные в таблице 2.

Таблица 2. СКОРРЕКТИРОВАННЫЕ КОЭФФИЦИЕНТЫ ПОВРЕЖДАЕМОСТИ
Table 2. Adjusted damageability coefficients

Наименование культуры	Коэффициент повреждаемости, K_i	Поправочный множитель, K_j			Скорректированный коэффициент повреждаемости, K_i'		
		$j = 1$	$j = 2$	$j = 3$	$j = 1$	$j = 2$	$j = 3$
Пшеница	0,5	0	0,2	0,5	0	0,1	0,25
Кукуруза	0,35	0	0,2	0,5	0	0,07	0,175
Виноград	0,45	0	0,2	0,5	0	0,09	0,225
Овес	0,6	0	0,2	0,5	0	0,12	0,3
Картофель	0,4	0	0,2	0,5	0	0,08	0,2

Источник: составлено авторами / Source: compiled by the authors.

Запишем целевую функцию для различных вариантов численных экспериментов.

Первый вариант – функционирование предприятия в первом режиме работы (100 % эффективность работ по сохранению урожая) или случай отсутствия града:

$$F = \sum_{i=1}^5 (1 - K_i \cdot K_1) (\Pi_i + C_i) Y_i x_i = 144x_1 + 260x_2 + 120x_3 + 140x_4 + 600x_5 \rightarrow \max. \quad (6)$$

Второй вариант – работа предприятия во втором режиме (80 % эффективность мероприятий):

$$\begin{aligned} F &= \sum_{i=1}^5 (1 - K_i \cdot K_2) (\Pi_i + C_i) Y_i x_i = \\ &= (1 - 0,1) 144x_1 + (1 - 0,07) 260x_2 + \\ &+ (1 - 0,12) 120x_3 + (1 - 0,09) 140x_4 + (1 - 0,08) 600x_5 = \\ &= 0,9 \cdot 140x_1 + 0,93 \cdot 260x_2 + 0,88 \cdot 120x_3 + 0,91 \cdot 140x_4 + 0,02 \cdot 600x_5 \rightarrow \max. \end{aligned} \quad (7)$$

Третий вариант – предприятие в третьем режиме (50 % эффективность мероприятий):

$$\begin{aligned}
 F &= \sum_{i=1}^5 (1 - K_i \cdot K_3)(\Pi_i + C_i) Y_i x_i = & (8) \\
 &= (1 - 0,1)144x_1 + (1 - 0,07)260x_2 + \\
 &+ (1 - 0,12)120x_3 + (1 - 0,09)140x_4 + (1 - 0,08)600x_5 = \\
 &= 0,9 \cdot 140x_1 + 0,93 \cdot 260x_2 + 0,88 \cdot 120x_3 + 0,91 \cdot 140x_4 + 0,02 \cdot 600x_5 \rightarrow \max.
 \end{aligned}$$

Четвертый вариант – случай без мероприятий по сохранению урожая, т.е. с градобитием:

$$\begin{aligned}
 F &= \sum_{i=1}^5 (1 - K_i \cdot K_i)(\Pi_i + C_i) Y_i x_i = & (9) \\
 &= (1 - 0,5)144x_1 + (1 - 0,35)260x_2 + \\
 &+ (1 - 0,45)120x_3 + (1 - 0,06)140x_4 + (1 - 0,04)600x_5 = \\
 &= 0,5 \cdot 140x_1 + 0,65 \cdot 260x_2 + 0,55 \cdot 120x_3 + 0,4 \cdot 140x_4 + 0,6 \cdot 600x_5 \rightarrow \max.
 \end{aligned}$$

Для решения задачи формируется экранная форма в надстройке «Поиск решения», в которую заносится исходная информация из таблице 1, прописывается целевая функция в некоторую ячейку, формируются ограничения и выделяются ячейки искомым площадям культур. Активируется вкладка «Линейная модель».

Найденное максимальное значение прибыли отображается в ячейке, выделенной под целевую функцию, а ячейки искомым площадям заполняются оптимальными значениями, которые удовлетворяют установленным ограничениям.

В результате оптимизации целевой функции (6) получены следующие оптимальные значения площадей культур: пшеницы 250 га, кукурузы 226 га, овса 124 га, картофеля 250 г и винограда 50 га. При такой структуре площадей культур получается максимальная величина прибыли.

С учетом мероприятий величина прибыли изменяется. В таких случаях также решается задача оптимизации (7)–(9). При заблаговременности прогноза града, равной трем суткам, удается сохранить урожай без потерь и получить максимальную прибыль, равную 216 581 ден.-ед. С уменьшением заблаговременности прогноза до двух и одних суток эффективность мероприятий уменьшается. Уменьшается и прибыль до 198 454 и 171 263 ден.-ед. соответственно. Тем не менее эти значения прибыли больше, чем при отсутствии

плана мероприятий, когда величина прибыли равна 125 945 ден.-ед.

Результаты численных экспериментов для всех вариантов представлены в сводной таблице 3.

Таблица 3. РЕЗУЛЬТАТЫ ОПТИМИЗАЦИИ СТРУКТУРЫ СЕЛЬХОЗКУЛЬТУР
Table 3. Results of optimization of the structure of agricultural crops

Наименование культур	Площадь культур, га	Прибыль с учетом скорректированного коэффициента повреждаемости, ден.-ед.		Прибыль с учетом коэффициента повреждаемости, ден.-ед.	
		Варианты			
		Первый	Второй	Третий	Четвертый
Пшеница	250	36000	32400	27000	18000
Кукуруза	226	58651	54545	48387	38123
Виноград	124	14930	13138	10451	5972
Овес	50	7000	6370	5425	3850
Картофель	250	100000	92000	80000	60000
Итого	900	216581	198454	171263	125945

Источник: составлено авторами / Source: compiled by the authors.

Результаты численных экспериментов показали, что оптимизация структуры сельхозкультур позволяет найти такое распределение их площадей, которое дает максимальную прибыль. Заблаговременный прогноз града позволяет разработать план мероприятий таким образом, что при производстве сельхозкультур риски от градобитий уменьшаются с увеличением сроков заблаговременности прогноза.

Заключение

Ранее проведенные испытания программного продукта по прогнозированию града с заблаговременностью до трех суток и анализа их успешности показали, что он соответствует критериям качества прогнозов. Что делает возможным его применение

в сельскохозяйственном производстве для формирования плана мероприятий по уменьшению рисков от градобитий.

Численные эксперименты показали, что решение задачи оптимизации с учетом сроков заблаговременности прогноза града имеет хорошие перспективы в сельскохозяйственном производстве для оптимизации его структуры.

Список источников

1. Тлисов М. И., Таумурзаев А. Х., Федченко Л. М., Хучунаев Б. М. Физические характеристики града и повреждаемость сельскохозяйственных культур // Труды Высокогорного геофизического института. 1987. № 74. С. 37–144.
2. Таумурзаев А. Х. Методические принципы обследования, учета и оценки степени повреждения сельскохозяйственных культур от града // Физика образования градовых процессов и активных воздействий на них. М.: Гидрометеиздат, 1988. С. 104–115.
3. Berville P., Jean C., Lescure A. Relations entre les paramètres physique, des chutes de grele et les degats occasions aux cultures. Contr. GREFA ACH. 1980. No. 39. P. 59–65.
4. Абшаев А. М., Абшаев М. Т., Барекова М. В., Малкарова А. М. Руководство по организации и проведению противоградовых работ. Нальчик: Печатный двор, 2014. 508 с.
5. Островская И. Э. Экономико-математическое моделирование в АПК: учебное пособие. Уссурийск: Издательство Приморской государственной сельскохозяйственной академии, 2015. 126 с.
6. Шаймарданов В. М. Мониторинг и исследование опасных гидрометеорологических процессов и явлений на территории РФ на основе многофункциональных методов и систем долговременного хранения их параметров: дис. ... д-ра физ.-мат. наук. Обнинск: Всероссийский научно-исследовательский институт гидрометеорологической информации – Мировой центр данных, 2020. 342 с.
7. Инюхин В. С., Куцев С. А., Суспицина Ю. В. Климатические особенности выпадения града в двух регионах Центрального Кавказа на начало XXI века // Труды Высокогорного геофизического института. 2017. № 100. С. 45–52.
8. Балкизова А. Х. Анализ возможных последствий измене-

ний климата и моделирование снижения рисков в сельском хозяйстве, связанных с опасными явлениями погоды: дис. ... канд. физ.-мат. наук. Нальчик: ФГБУ «Высокогорный геофизический институт», 2016. 148 с.

9. Кагермазов А. Х. Прогноз града по выходным данным глобальной модели атмосферы (T254 NCEP) // Метеорология и гидрология. 2012. № 3. С. 28–34.
10. Кагермазов А. Х., Созаева Л. Т. Прогноз града с заблаговременностью до трех суток по выходным данным глобальной модели атмосферы // Труды Главной геофизической обсерватории. 2020. № 598. С. 204–214.
11. Кагермазов А. Х., Созаева Л. Т. Валидация прогностических полей метеозлементов глобальной модели атмосферы на средние сроки по данным аэрологического зондирования для Центральной части Северного Кавказа // Труды Главной геофизической обсерватории. 2020. № 599. С. 104–114.
12. Созаева Л. Т., Кагермазов А. Х. Прогноз града по дискриминантной функции на основе выходных данных глобальной модели атмосферы // Международный научно-исследовательский журнал. 2023. № 11 (137). [Электронный ресурс]. URL: <https://research-journal.org/archive/11-137-2023-november/10.23670/IRJ.2023.137.85> (дата обращения: 17.11.2023). <https://doi.org/10.23670/IRJ.2023.137.85>
13. Свидетельство о регистрации программы для ЭВМ №2018661467 Российской Федерации. Альтернативный прогноз града по выходным данным глобальной модели атмосферы GFS NCEP «PROGNOZ GRADA»: №2018618374: заявлено 06.08.2018; зарегистрировано 07.09.2018 / А. Х. Кагермазов; правообладатель ФГБУ «Высокогорный геофизический институт».

References

1. Tlisov MI, Taurmurzaev AKh, Fedchenko LM, Khuchunaev BM. Physical characteristics of hail and damage to agricultural crops. Trudy Vysokogornogo geofizicheskogo instituta = Proceedings of the High-Mountain Geophysical Institute. 1987;(74):37-144. (In Russ.).
2. Taurmurzaev AKh. Methodological principles for surveying, accounting and assessing the degree of damage to agricultural crops from hail. In Physics of the formation of hail processes

- and active influences on them. M.: Gidrometeoizdat; 1988. P. 104-115. (In Russ.).
3. Berville P, Jean C, Lescure A. Relations entre les parameters physique, des chutes de grele et les degats occasions aux cultures. Contr. GREFAACH. 1980;(39):59-65.
 4. Abshaev AM, Abshaev MT, Barekova MV, Malkarova AM. Guidelines for organizing and conducting anti-hail work. Nalchik: Pechatnyy dvor; 2014. 508 p. (In Russ.).
 5. Ostrovskaya IE. Economic and mathematical modeling in the agro-industrial complex: a textbook. Ussuriysk: Publishing House of the Primorsky State Agricultural Academy; 2015. 126 p. (In Russ.).
 6. Shaimardanov VM. Monitoring and research of dangerous hydrometeorological processes and phenomena on the territory of the Russian Federation based on multifunctional methods and systems for long-term storage of their parameters: dis. doc. physics and mathematics sci. Obninsk: All-Russian Research Institute of Hydrometeorological Information – World Data Center; 2020. 342 p. (In Russ.).
 7. Inyukhin VS, Kushchev SA, Suspitsina YuV. Climatic features of hail in two regions of the Central Caucasus in the beginning of the 21st century. Trudy Vysokogornogo geofizicheskogo instituta = Proceedings of the High Mountain Geophysical Institute. 217;(100):45-52. (In Russ.).
 8. Balkizova AKh. Analysis of the possible consequences of climate change and modeling of risk reduction in agriculture associated with hazardous weather phenomena: dis. Ph.D. physics and mathematics sci. Nalchik: Federal State Budgetary Institution “High Mountain Geophysical Institute”; 2016. 148 p. (In Russ.).
 9. Kagermazov AKh. Hail forecast based on the output data of the global atmospheric model (T254 NCEP). Meteorologiya i gidrologiya = Meteorology and Hydrology. 2012;(3)28-34. (In Russ.).
 10. Kagermazov AKh, Sozaeva LT. Hail forecast with a lead time of up to three days based on the output data of the global atmospheric model. Trudy Glavnoj geofizicheskoy observatorii = Proceedings of the Main Geophysical Observatory. 2020;(598):204-214. (In Russ.).
 11. Kagermazov AKh, Sozaeva LT. Validation of forecast fields of meteorological elements of the global atmospheric model for medium periods according to aerological sounding data for

the Central part of the North Caucasus. Trudy Glavnoj geofizicheskoy observatorii = Proceedings of the Main Geophysical Observatory. 2020;(599):104-114.

12. Sozaeva LT, Kagermazov AKh. Hail forecast using the discriminant function based on the output data of the global atmospheric model. Mezhdunarodnyj nauchno-issledovatel'skij zhurnal = International Scientific Research Journal. 2023;11(137). Available from: <https://research-journal.org/archive/11-137-2023-november/10.23670/IRJ.2023.137.85> [Accessed 17 November 2023]. (In Russ.). <https://doi.org/10.23670/IRJ.2023.137.85>
13. Certificate of registration of the computer program No. 2018661467 of the Russian Federation. Alternative hail forecast based on output data from the global atmospheric model GFS NCEP "PROGNOZ GRADA": No. 2018618374: declared 08.06.2018: registered 09.07.2018 / Kagermazov AKh; copyright holder of the Federal State Budgetary Institution "High Mountain Geophysical Institute".

Информация об авторах

Лежинка Танашевна Созаева — кандидат физико-математических наук, доцент, старший научный сотрудник Высокотгорного геофизического института, Scopus ID: 57204527832, Researcher ID: AIC-6568-2022

Артур Хасанбиевич Кагермазов — заведующий лабораторией атмосферных конвективных явлений, кандидат физико-математических наук, Высокотгорного геофизического института, Scopus ID: 55185153100

Вклад авторов: все авторы внесли равный вклад в подготовку публикации.

Information about the authors

Lezhinka T. Sozaeva — Cand. Sci. (Phys.-Math.), Associate Professor, Senior Research Associate at the Laboratory of Atmospheric Convective Phenomena, High-Mountain Geophysical Institute, Scopus ID: 57204527832, Researcher ID: AIC-6568-2022

Artur Kh. Kagermazov — Cand. Sci. (Phys.-Math.), Head of the Laboratory of Atmospheric Convective Phenomena, High-Mountain Geophysical Institute, Scopus ID: 55185153100

Contribution of the authors: the authors contributed equally to this article.