МОДЕЛИРОВАНИЕ СНИЖЕНИЯ РИСКОВ ПРЯМОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ (ГРАДОБИТИЯ) В СЕЛЬСКОМ ХОЗЯЙСТВЕ

Б.А. Ашабоков^{1,2}, Л.М. Федченко¹, А.А. Ташилова¹, Л.А. Кешева¹

¹ФГБУ «Высокогорный геофизический институт»

²Институт информатики и проблем регионального управления КБНЦ РАН

ashabokov.boris@mail.ru, fedchenkolm@mail.ru, tashilovaa@mail.ru, kesheva.lara@yandex

Аннотация. В связи с тем, что юг России является важнейшим производителем сельскохозяйственной продукции, в работе обсуждаются возможные последствия изменения климата и снижения рисков, связанных с ними. При этом предполагается, что риски, связанные с изменением климата, могут быть обусловлены как «медленными» изменениями климата (повышение приземной температуры воздуха), так и опасными погодными явлениями (градобития), частота и разрушительная сила которых увеличиваются вследствие изменения климата. В работе обсуждаются возможные подходы к снижению рисков, связанных с опасными погодными явлениями (градобития). В рамках теории принятия решений предложена формулировка задачи снижения потерь данной отрасли от отмеченных явлений, которая является задачей принятия решений в условиях риска. Обсуждаются особенности информационного обеспечения данной проблемы и основные задачи, возникающие на пути практического его использования. Приводятся результаты расчетов, которые были проведены для анализа эффективности предложенного метода снижения потерь сельского хозяйства от градобитий. Результаты расчетов показали, что метод является достаточно эффективным и его можно использовать для снижения потерь сельского хозяйства от градобитий.

Ключевые слова: градовые процессы, сельское хозяйство, снижение рисков, повреждаемость культур градом, задача принятия решений

Введение

Климат Земли меняется. Прогнозируется, что температура Земли сохранит тенденцию к росту в ближайшие несколько десятилетий. По последним данным экстремально высокие температуры на фоне климатических изменений, приводящих к росту частоты и интенсивности опасных природных явлений, станут причиной повсеместного снижения урожайности зерновых культур. Ученые предупреждают, что повышение температуры окружающей среды всего на 2°C вызовет снижение урожайности пшеницы на 15 %. При повышении средней температуры на 4 градуса, снижение урожайности составит 40 %. Согласно результатам исследования, опубликованном в декабре 2014 года в журнале «Nature Climate Change Letter», на каждый градус повышения температуры окружающей среды снижение мировой урожайности составит 6 %.

На фоне «медленных» климатических изменений в последние десятилетия уже наблюдается устойчивое повышение активности опасных природных явлений. Количество явлений, способных нанести ущерб экономике и окружающей среде, на территории РФ, например, доходит до 500 в год. Значительную часть из них (около 25 %) составляют локальные конвективные явления (град, ливень, шквал и т.д.) [1].

Очевидно, что последствия такой тенденции в динамике опасных природных явлений могут быть крайне негативными для окружающей среды

и различных сфер человеческой деятельности. Это делает проблемы исследования изменений климата и их последствий для различных сфер деятельности и окружающей среды, разработки научно обоснованных методов снижения рисков, включая и потерь от опасных погодных явлений, чрезвычайно актуальными. Отметим, что по этим направлениям проводятся достаточно интенсивные исследования. Из работ, посвященных исследованию особенностей изменения климата на территории КБР, например, можно отметить [2,3,4].

Вместе с тем, разработка методов снижения рисков, связанных с опасными погодными явлениями, встречает серьезные трудности.

В настоящей работе на примере градобитий рассматриваются возможные подходы к снижению рисков, связанных с опасными погодными явлениями, обсуждаются некоторые проблемы, возникающие на пути реализации этих подходов.

1. Основные подходы к снижению рисков, связанных с опасными явлениями погоды

Изменение состояния климата сопровождается формированием в различные моменты времени метеорологических условий, способствующих возникновению того или иного опасного погодного явления или совокупности этих явлений. При этом *климатические риски* на заданной территории возникают в случаях:

- во-первых, если на ней наблюдаются те или иные опасные погодные явления;
- во-вторых, если на ней располагается уязвимый опасными погодными явлениями объект (реципиент риска), на который эти явления будут оказывать воздействие.

Таким образом, возникновение рисков на данной территории и уровень этих рисков определяются подверженностью территории: 1) опасным погодным условиям и 2) уязвимостью объектов (реципиентов), расположенных на ней.

Отсюда *предсказание* возникновения ОПЯ и *снижение потерь*, связанных с этими явлениями, становятся важнейшими условиями повышения устойчивости функционирования сельского хозяйства. Важно отметить, что решение перечисленных задач предъявляет достаточно строгие требования к качеству используемой информации, к методике ее получения.

Для снижения рисков, связанных с опасными погодными явлениями, возможно использование двух подходов. Одним из них (назовем его *активным*) является вмешательство в те природные процессы, которые сопровождаются опасными погодными явлениями. В качестве примера можно отметить, что для снижения потерь сельского хозяйства, связанных с градобитиями или нехваткой влаги в почве, в широких масштабах осуществляется активное воздействие на облака с целью управления процессами формирования осадков в них (с целью предотвращения образования града или увеличения осадков из них). Можно даже сказать, что данный подход является единственным, который используется для предотвращения градобитий. Методы и технологии активного воздействия на облака, интенсивно развиваются со второй половины прошлого века, а практические работы по воздействию на конвективные облака с целью предотвращения градобитий и регулирования осадков проводятся во многих странах. Но, несмотря на все успехи физики облаков и активных воздействий на них, устойчивое увеличение потерь от градобитий видимо, будет продолжаться. Это будет связано с двумя основными причинами: во-первых, эффективность методов активного воздействия на облака пока еще нельзя считать достаточно высокой, во-вторых, вследствие потепления климата наблюдается устойчивый рост таких характеристик опасных погодных явлений, как частота и мощность, и, кроме этого, происходит расширение охватываемых этими явлениями территорий.

Другой подход к снижению рисков (назовем его *пассивным*) не предполагает вмешательства в процессы, сопровождающиеся опасными погодными

явлениями. В качестве примера можно отметить, что данный подход можно считать единственным, который используется для снижения рисков, связанных со склоновыми процессами.

Предлагаемый ниже подход к снижению потерь сельского хозяйства от отмеченных ОПЯ не предполагает активного воздействия на процессы осадкообразования в облаках. Он основан на использовании того, что сельскохозяйственные культуры в разной степени подвержены влиянию опасных погодных явлений, что делает структуру производства сельскохозяйственных культур механизмом управления потерями сельского хозяйства от этих явлений.

В случае, градовых процессов, например, потери сельского хозяйства зависят от множества факторов. К ним относятся характеристики градовых осадков (распределение по размерам градин, их концентрация, продолжительность и площадь выпадения града и т.д.) и производственно-экономические показатели сельского хозяйства в момент выпадения града и характеристик градин. А, как известно, имеющаяся информация о градовых процессах ограничена приближенными и часто неполными данными о радиолокационных характеристиках градовых облаков, о распределении по размерам градин на земле, о частоте и площади выпадения града. Кроме этого, результаты исследований зависимости повреждаемости сельхозкультур градом от фазы их развития и характеристик градовых осадков пока еще существенно ограничены. Такие особенности имеющейся информации являются источником определенных трудностей при решении таких задач, как формирование множества мероприятий (действий), которых можно использовать для снижения потерь от градобитий, и выбор наиболее приемлемого мероприятия из этого множества.

2. Постановка задачи снижения рисков в сельском хозяйстве, связанных с опасными агрометеорологическими явлениями

Остановимся на формулировке задачи снижения потерь, связанных с опасными погодными явлениями. Как уже отмечалось, особенности информационного обеспечения делают естественным рассмотрение данной проблемы в рамках теории принятия решений. Для конкретных опасных погодных явлений и конкретных отраслей экономики, включая и сельское хозяйство, эту задачу можно рассматривать как однокритериальную задачу принятия решений, что в значительной степени облегчает ее решение. Формулировка и решение данной задачи для конкретного опасного погодного явления будут связаны с формированием множества мероприя-

тий $A_1, A_2, A_3, \dots, A_M$, которых можно использовать для снижения потерь от этого явления, и выбором с помощью того или иного критерия наиболее приемлемого мероприятия из данного множества с учетом особенностей возникновения рассматриваемого погодного явления.

Обозначим через $U_1, U_2, U_3, \dots, U_N$ возможные варианты проявления опасного явления погоды на рассматриваемой территории в предстоящем году (в случае градобитий таким вариантами будут значения одного из показателей, характеризующих активность градовых процессов или градоопасность на данной территории). Тогда каждой паре (A_i, U_j) можно поставить в соответствие некоторый исход S_{ij} ($i=1,2,\dots,M; j=1,2,\dots,N$), который будет равен значению одного из показателей производства продукции в сельском хозяйстве. В качестве исхода может быть использован, например, валовой объем производства продукции, величина потерь от града, величина спасенного урожая и др. Для выбора наиболее приемлемого из мероприятий $A_1, A_2, A_3, \dots, A_M$ далее следует составить таблицу 1, которую можно считать моделью принятия решения по снижению потерь от опасных погодных явлений [8]:

Таблица 1 – Исходы S_{ij} , соответствующие мероприятиям A_i и состояниям U_j сельского хозяйства

	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}

Для конкретного опасного явления – градобитий остановимся на двух способах формирования множества $A_1, A_2, A_3, \dots, A_M$, которая является одной из важнейших задач рассматриваемой проблемы. Следует иметь в виду, что качество принимаемого решения по снижению потерь от опасных природных явлений в существенной степени будет зависеть от удачного формирования этого множества. При этом должны учитываться требования, которые могут быть предъявлены к этим мероприятиям. В случае градобитий, например, должны быть учтены требования к объемам производства сельхозкультур, а также требования к финансовым и другим ресурсам, которые должны быть использованы для их производства.

В случае отмеченных опасных агрометеорологических явлений (градобития, засухи) возможны два способа формирования данного множества.

Первый способ основан на определении элементов множества $A_1, A_2, A_3, \dots, A_M$ путем подбора структур сельскохозяйственных культур с учетом ограничений, наложенных на объемы их производства и на объемы используемых для этой цели ресурсов. В качестве недостатков данного способа можно отметить что, во-первых, полученное множество $A_1, A_2, A_3, \dots, A_M$ может оказаться достаточно ограниченным, а его элементы могут оказаться далекими от наиболее приемлемого мероприятия и, во-вторых, формирование данного множества может оказаться достаточно трудоемким.

Отметим еще, что элементами множества $U_1, U_2, U_3, \dots, U_N$ будут такие характеристики градовых процессов, которых можно использовать для определения исходов S_{ij} ($i=1,2,\dots,M; j=1,2,\dots,N$). Наличие множеств $A_1, A_2, A_3, \dots, A_M$ и $U_1, U_2, U_3, \dots, U_N$ позволяет определять исходы. Зная их, выбор наиболее приемлемого из множества мероприятий можно осуществить с использованием одного из известных критериев.

Для исследования возможности использования данного подхода для принятия решений по снижению рисков в сельском хозяйстве были проведены некоторые расчеты. Для нахождения $U_1, U_2, U_3, \dots, U_N$ был проведен анализ данных за 50 летний период времени о частоте выпадения града в данном районе, в результате данную характеристику градовых процессов удалось представить в виде случайной величины (таблица 2) по формуле:

$$P(f) = \lim_{n \rightarrow \infty} \left(\frac{n}{N} \right)$$

где $P(f)$ – вероятность возникновения градового процесса в степной зоне КБР. В нашем случае решением предела является отношение количества случаев, когда явление произошло (количества имевших место градобитий, n) к общему числу наблюдений (количеству лет, когда велись наблюдения, N).

Таблица 2 – Число дней с градом (N) и соответствующие различным его значениям вероятности p_i ($i = 1,2,3,4$), полученные по данным за 1958–2008 гг.

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

Отметим, что наличие такой информации об опасных погодных явлениях позволяет рассматривать выбор наиболее приемлемого мероприятия в виде задачи принятия решений в условиях риска. Случаи выпадения града рассматривались как независимые события.

Из таблицы можно заметить, что максимальное количество градовых процессов в природно-

климатических условиях района не превышает 3 за год. В этом случае элементами множества $U_1, U_2, U_3, \dots, U_N$ будут соответствующие возможным значениям N вероятности p_1, p_2, p_3, p_4 . Площади выпадения града были оценены, исходя из многолетних наблюдений. При проведении расчетов были использованы следующие значения: $S_1=600, S_2=1000, S_3=700$ га. Расчеты проводились для основных культур, которые производятся в данном районе: пшеница, кукуруза, овес, картофель. Кроме этого, использовались данные Госкомстата КБР о производственно-экономических показателях сельского хозяйства данного района. Что касается повреждаемости культур градом, то были использованы результаты проведенных в Высокогорном геофизическом институте полевых исследований для пшеницы и кукурузы [5].

По результатам этих исследований, при одних и тех же характеристиках града повреждаемость пшеницы заметно выше, чем повреждаемость кукурузы. В случае, когда кинетическая энергия градин равна 100 Дж/м^2 , например, для повреждаемости кукурузы и пшеницы были получены следующие значения $k_k=0,37$ (или 37 %) и $k_n=0,7$ (или 70 %). Для остальных культур из-за отсутствия таких исследований использовались результаты опроса специалистов. Повреждаемость овса, по этим данным, меньше чем повреждаемость пшеницы. Было предположено, что соответствующее отмеченному значению кинетической энергии градин значение повреждаемости овса равно 60 %.

Расчеты проводились для следующих структур производства отмеченных культур (указаны площади, занимаемые пшеницей, кукурузой, овсом и картофелем на первом, втором и третьем участках):

1. 300, 100, 100, 100 га, 500, 200, 200, 100 га, 300, 200, 100, 100 га.
2. 300, 100, 100, 100 га, 500, 200, 200, 100 га, 300, 200, 100, 100 га.
3. 240, 160, 100, 100 га, 400, 300, 200, 100 га, 240, 260, 100, 100 га.
4. 210, 190, 100, 100 га, 350, 350, 200, 100 га, 210, 290, 100, 100 га.
5. 150, 250, 100, 100 га, 250, 450, 200, 100 га, 150, 350, 100, 100 га.
6. 240, 100, 160, 100 га, 400, 200, 300, 100 га, 240, 200, 160, 100 га.
7. 150, 100, 250, 100 га, 250, 200, 450, 100 га, 150, 200, 250, 100 га.
8. 240, 100, 100, 160 га, 400, 200, 200, 200 га, 300, 200, 100, 100 га.
9. 150, 100, 100, 250 га, 250, 200, 200, 350 га, 150, 200, 100, 250 га.
10. 300, 100, 80, 120 га, 500, 200, 160, 140 га, 300, 200, 80, 120 га.

Можно заметить, что множество мероприятий для снижения потерь сельского хозяйства от града состоит из 10 элементов. Валовые объемы производства продукции (млн. руб.) при отсутствии града (V_0) и при его выпадении (VT) на рассматриваемых участках приводятся в таблице 3. Значения этих показателей на i -ом участке были вычислены с помощью выражений:

$$V_0 = \sum_{i=1}^4 x_{ij} Y_{ij} \Pi_{ij}, \quad (1)$$

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

где $x_{i1}, x_{i2}, x_{i3}, x_{i4}$ – площади, занимаемые культурами на i -ом участке, $Y_{i1}, Y_{i2}, Y_{i3}, Y_{i4}$ – урожайности, $\Pi_{i1}, \Pi_{i2}, \Pi_{i3}, \Pi_{i4}$ – цены реализации и $k_{i1}, k_{i2}, k_{i3}, k_{i4}$ – повреждаемости градом этих же культур на i -ом участке ($i = 1, 2, 3$).

Таблица 3 – Валовой объем производства продукции на рассматриваемых участках при отсутствии града (V_0, V_2, V_3) и при его выпадении (VT_1, VT_2, VT_3) ожидаемые значения валового сбора культур (V), соответствующие действиям 1–10 (млн. руб.).

	V_0	VT_1	V_2	VT_2	V_3	VT_3	V
	$P_{10} = 0,59$	$P_{1Г} = 0,31$	$P_{20} = 0,92$	$P_{2Г} = 0,08$	$P_{30} = 0,98$	$P_{3Г} = 0,02$	
1	46,5	30,3	60,9	36,6	51,8	33,6	147,2
2	47,1	31,0	61,8	37,7	52,4	34,3	149,4
3	47,7	31,7	62,8	38,9	53,0	35,0	151,5
4	48,2	32,4	63,7	40,1	53,5	35,7	153,4
5	49,4	33,8	65,6	42,4	54,7	37,1	157,7
6	45,8	30,2	59,7	36,5	51,1	33,6	145,0
7	44,8	30,1	58,0	36,3	50,1	33,4	141,8
8	61,7	43,5	86,2	58,5	67,0	46,8	200,5
9	84,5	63,2	124,2	91,5	89,8	66,6	280,4
10	51,8	34,7	71,5	45,4	57,1	38,1	167,5

Обращает на себя внимание то, что валовые объемы производства продукции на всех участках при отсутствии града и при его выпадении существенно зависят от структуры сельскохозяйственных культур. В случае мероприятий 7 и 9, например, разброс между значениями данного показателя при отсутствии града на втором участке составляет 66,2 млн. руб., что заметно больше минимального его значения. При выпадении града наблюдается некоторое уменьшение разброса между этими показателями (до 55,2 млн. руб.), что может быть связано с уменьшением валового объема производства продукции.

Для выбора более эффективной структуры производства сельскохозяйственных культур был использован критерий Лапласа. Согласно данному критерию, наилучшей из структур считается та, которой соответствует максимум ожидаемого валового объема производства продукции. В связи с этим, пользуясь данными таблицы 2, следует определить вероятности отсутствия (P_{10}, P_{20}, P_{30}) и выпадения града ($P_{1Г}, P_{2Г}, P_{3Г}$) на участках 1, 2 и 3. Эти вероятности указаны в таблице 3. Ожидаемые объемы производства продукции, соответствующие

различным структурам сельскохозяйственных культур, вычисляются с помощью выражения

$$V = P_{10} V_{01} + P_{20} V_{02} + P_{30} V_{03} + P_{1Г} VГ_1 + P_{2Г} VГ_2 + P_{3Г} VГ_3. \quad (3)$$

Из таблицы 3 видно, что наилучшим является девятое мероприятие, которому соответствует $V=280,4$ млн. руб., а наихудшим – седьмое мероприятие ($V=141,8$ млн. руб.). Разброс между этими значениями V , как видно из таблицы, составляет 138,6 млн. руб. Он незначительно меньше ожидаемого объема производства продукции, соответствующего седьмому мероприятию. Вместе с тем, разница между структурами сельскохозяйственных культур, соответствующим этим мероприятиям, заключается лишь в том, что площадь под картофель в мероприятии 9, увеличена на всех участках за счет площади под овес. Таким образом, для снижения потерь от града в предстоящем году следует использовать структуру, соответствующую мероприятию (или действию) 9.

Результаты решения модельных задач показывают, что предложенный подход к снижению потерь

сельского хозяйства от градобитий, является эффективным и его можно использовать для решения практических задач.

Выводы

Предложен подход снижения потерь сельского хозяйства от такого опасного агрометеорологического явления, как градобития. В качестве механизма снижения потерь в подходе используется различие повреждаемости сельскохозяйственных культур градом. Соответственно, управление потерями сельского хозяйства от данного опасного погодного явления осуществляется путем вариации структуры производства сельскохозяйственных культур. В рамках теории принятия решений сформулирована модель снижения потерь сельского хозяйства с помощью данного подхода, которую удалось свести к решению задачи оптимизации (задача линейного программирования). Результаты модельных расчетов показали высокую эффективность подхода для снижения потерь сельского хозяйства от градобитий.

Список использованных источников

1. Tashilova A.A., Ashabokov B.A., Kesheva L.A., Teunova N.V. Analysis of climate change in the Caucasus region: the end of the 20th – the beginning of the 21st century. CLIMATE Special issue: Climate Variability and Change in the 21th Century (Basel, Switzerland) Climate 2019, 7, 11; doi:10.3390/cli7010011, pp. 1–15.
2. Архестов Г.Х. Анализ и прогноз изменений режима осадков в предгорной части территории Кабардино-Балкарской Республики // Известия КБГУ. – 2014. – Т. 4, №4. – С. 5–11.
3. Балкизова А.Х., Ташилова А.А., Пишихачева И.Н. Основные этапы и задачи проблемы адаптации аграрного сектора к изменениям климата / Материалы Международного симпозиума «Устойчивое развитие: проблемы, концепции, модели». КБНЦ РАН, Нальчик, 28 июня – 3 июля. Т. 1, 2013. – С. 106–109.
4. 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, pp. 223–231. DOI 10.18502/cls.v4i14.5608.
5. Тлисов М.И., Таумурзаев А.Х., Федченко Л.М., Хучунаев Б.М. Кинетические характеристики града и повреждаемость сельскохозяйственных культур // Труды Всесоюзного Семинара «Активные воздействия на градовые процессы и усовершенствование льдообразующих реагентов для практики активных воздействий». – 1991. – С. 75–77.

MODELING OF REDUCING RISK OF DIRECT IMPACT (HAILSTONES) IN AGRICULTURE

B.A. Ashabokov^{1,2}, L.M. Fedchenko¹, A.A. Tashilova¹, L.A. Kesheva¹,

¹Federal State Budgetary institution "High-Mountain Geophysical Institute"

²Institute of Informatics and Regional Management Problems, KBSC RAS

ashabokov.boris@mail.ru, fedchenkolm@mail.ru, tashilovaa@mail.ru, kesheva.lara@yandex

Abstract. Due to the fact that the south of Russia is the most important producer of agricultural products, the work discusses the possible consequences of climate change and reduce the risks associated with them. At the same time, it is assumed that the risks associated with climate change can be caused by both "slow" climate changes (increase in surface air temperature) and dangerous weather events (hail), the frequency and destructive force of which increase due to climate change. The paper discusses possible approaches to reducing risks associated with hazardous weather events (hailstones). In the framework of the theory of decision-making, the formulation of the problem of reducing the losses of a given industry from the noted phenomena, which is the task of making decisions in risk conditions, is proposed. The features of information support of this problem and the main tasks that arise in the way of its practical use are discussed. The results of calculations that were performed to analyze the effectiveness of the proposed method to reduce agricultural losses from urban habits are presented. The calculation results showed that the method is quite effective and can be used to reduce agricultural losses from hail.

Keywords: hail processes, agriculture, risk reduction, crop damage by hail, decision-making task

References

1. *Tashilova A.A., Ashabokov B.A., Kesheva L.A., Teunova N.V.* Analysis of climate change in the Caucasus region: the end of the 20th – the beginning of the 21st century. CLIMATE Special issue: Climate Variability and Change in the 21th Century (Basel, Switzerland) Climate 2019, 7, 11; [https:// doi:10.3390/cli7010011](https://doi.org/10.3390/cli7010011), pp. 1–15 (In English).
2. *Arkhestov G.Kh.* Analysis and forecast of changes in precipitation regime in the foothill part of the territory of the Kabardino-Balkarian Republic // *Izvestiya KBGU*–2014.–V.4, №4, – P.5–11 (In Russian).
3. *Balkizova A.Kh., Tashilova A.A., Pshikhacheva I.N.* The main stages and tasks of the adaptation of the agricultural sector to climate change / *Materialy Mezhdunarodnogo simpoziuma «Ustoychivoye razvitiye: problemy, kontseptsii, modeli»*. KBNTS RAN, Nałchik, 28 iyunya – 3 iyulya,, V.1, 2013. – P. 106–109 (In Russian).
4. *Ashabokov B.A., Fedchenko L.M., Tashilova A.A., Shapovalov A.V., Khavtsukov A.Kh., 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*, pages 223–231. [https:// doi:10.18502/kl.v4i14.5608](https://doi.org/10.18502/kl.v4i14.5608) (In English).
5. *Tlisov M.I., Taumurzaev A.Kh., Fedchenko L.M., Khuchunaev B.M.* Kinetic characteristics of hail and damage to crops // *Trudy Vsesoyuznogo Seminara «Aktivnyye vozdeystviya na gradovyye protsessy i usovershenstvovaniye l'dobrazuyushchikh reagentov dlya praktiki aktivnykh vozdeystviy»*. – 1991.– P.75–77. (In Russian).