

## ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ НА ОКРУЖАЮЩУЮ СРЕДУ ЙОДИСТОГО СЕРЕБРА, ПРИМЕНЯЕМОГО В ПРОТИВОГРАДОВОЙ ЗАЩИТЕ

### Evaluation of the influence on the environment of argentum iodide applicable in anti-hail protection

Прошло 50 лет со дня начала противоградовой защиты (1967 г.), проводимой в районах региона Центрального Кавказа, с применением частиц кристаллизующего реагента (ЧКР) йодистого серебра (Agl). Исследования показывают, что с увеличением: среднего годового количества засеянных градоопасных и градовых облаков ( $N_{об}$ ) отмечается увеличение среднего годового количества противоградовых ракет ( $N_{пгр}$ ), снаряженных ЧКР AgI и приводящих к загрязнению окружающей среды; значений  $N_{пгр}$  отмечается увеличение среднего годового количества числа онкологических заболеваний ( $N_{оз}$ ) на защищаемых территориях Андроповского и Кочубеевского и Шпаковского районов Ставропольского края. Для объективной оценки влияния  $N_{пгр}$  на количество  $N_{оз}$  кожи ( $N_{зк}$ ) и органов дыхания ( $N_{од}$ ) построены уравнения регрессии, рассчитаны коэффициенты парной корреляции и детерминации, связывающие между собой значения  $N_{пгр}$  с  $N_{зк}$ ,  $N_{пгр}$  с  $N_{од}$ . Так как значения этих коэффициентов оказались больше критического значения, приведенного в таблице распределения Стьюдента, то они являются надежными и могут служить доказательством существования связей между значениями  $N_{пгр}$  и  $N_{зк}$ , между значениями  $N_{пгр}$  и  $N_{од}$  Андроповского, Шпаковского и Кочубеевского районов Ставропольского края.

Fifty years have passed since the beginning of anti-hail protection (1967) provided in the Central Caucasus areas with the application of crystallizing reagent particles (CRP) of argentum iodide (Agl). The research shows that with the increase in: average annual number of sown hail-risky and hail clouds ( $N_{cis}$ ) there is an increase in average annual number of anti-hail rockets ( $N_{ahr}$ ) supplied with CRP of AgI and leading to environmental pollution; the values of  $N_{ahr}$  there is an increase in average annual number of cancer diseases ( $N_{od}$ ) on the protected territories of Andropovskiyi and Kochubeevskiyi districts. For the objective evaluation of the  $N_{ahr}$  effect on the number of skin cancer ( $N_{sc}$ ) and respiratory organs ( $N_{ro}$ ) regression equations were constructed, pair correlation and determination coefficients connecting the values of  $N_{ahr}$  with  $N_{sc}$  and  $N_{ahr}$  with  $N_{ro}$  were calculated. As these coefficient values proved to be more than the critical value given in the Student's allocation table they are reliable and can serve as a proof of the relation between  $N_{ahr}$  and  $N_{sc}$  values and between  $N_{ahr}$  and  $N_{sc}$  values of Andropovskiyi and Kochubeevskiyi districts. The objective method of hail breaking on the protected areas based on estimating optimal application and firing rates in these clouds has been worked out. From 2003 to 2007 the method was being experimentally checked on the stuffs of the protected area of Stavropol militarized service on active hail influencing and other geophysical processes. It was successfully implemented into operational activities of this service. The average physical efficiency of anti-hail protection was estimated at 95,7%. This method can be recommended to different countries when planning and carrying out scientific, experimental and production activities on influencing hailing.

**Ключевые слова:** засеянные градовые облака, противоградовая защита йодистое серебро, предельно допустимые концентрации, онкологические заболевания.

**Key words:** sewn hail clouds, anti-hail protection, argentum iodide, maximum permissible concentrations, cancer diseases.

## ВВЕДЕНИЕ

Противоградовая защита (ПГЗ) в Ставропольском крае была начата в 1995 г. В ее основу положена концепция ускорения процесса осадкообразования в зоне формирования условий для зарождения и роста града объектов воздействия (ОВ) 1–4-й категории [1, 3]. Засев ОВ осуществлялся противоградовыми ракетами (ПГР) «Алазань-6» («А-6»), диспергирующими частицы кристаллизующего реагента (ЧКР) йодистого серебра (AgI) и продукты их сгорания на уровне изотермы минус  $6 \pm 3$  °С (на высотах  $H \approx 4\text{--}5$  км над у. м.). До 1999 г. физическая эффективность ПГЗ составляла не более 65%.

С 2000 г. в ПГЗ Ставропольского края были привлечены новые разработанные методы воздействия на градовые процессы [5, 6, 8–11, 14, 15], совершенствованные методы критериев засева ОВ 2-й категорий [12] и методы оценки годовых норм расхода ПГР в текущем году и в сезоне следующего года [9]. В результате на защищаемой территории (ЗТ) Ставропольского края в 2003–2007 гг. было отмечено увеличение: годовых норм расхода количества ПГР ( $N_{\text{ПГР}}$ ) «А-6» от 1990 до 4572 шт.; физической эффективности (ФЭ) ПГЗ – от 87,5 до 99,9%; рентабельности (Р) – от 3 до 9,3 руб.

Увеличение количества  $N_{\text{ПГР}}$  «А-6» можно объяснить как расширением площадей защищаемой территории (ЗТ) от 590 до 680 тыс. га, так и увеличением интенсивности развития градовых процессов в районах Ставропольского края. Для их подавления требовался более массивованный засев ОВ 1–4-й категорий ПГР «А-6», снаряженных ЧКР AgI.

Увеличение на ЗТ количества ПГР «А-6» и/или массы AgI ( $M_{\text{AgI}}$ ), при проведении ПГЗ, может сыграть как положительную, так и отрицательную роль. Положительный эффект проявляется в уменьшении числа градобитий и увеличении физической и экономической эффективности ПГЗ, а отрицательный эффект – в увеличении загрязненности атмосферы, почвы и воды в открытых водоемах [2, 16, 17] и количества различных болезней.

Целью представленной работы является оценка влияния на организм человека ЧКР AgI и продуктов сгорания ПГР «А-6» после их вступления в реакцию с различными химическими веществами и соединениями в атмосфере, почве и воде, способствующих появлению онкологических заболеваний кожи (ЗК), органов дыхания (ОД) и желудочно-кишечного (ЖКТ).

## МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

### 1.1. Материалы исследований

В основу материалов исследования были положены значения: — радиолокационных параметров засеянных ОВ 1–4-й категорий, развивающихся на ЗТ Ставропольского края в мае-сентябре 2003–2006 гг.;

- площадей ( $S_{iЗТ}$ ) и объемов ( $S_{iЗТ}$ , м<sup>3</sup>) распространения ЧКР AgI на ЗТ Андроповского ( $S_{ЗТ Ан.} = 2363$  км<sup>2</sup>), Кочубеевского ( $S_{ЗТ Ко.} = 2388$  км<sup>2</sup>), Шпаковского ( $S_{ЗТ Шп.} = 819$  км<sup>2</sup>) и КТ Красногвардейского ( $S_{КТ Кр.} = 2263$  км<sup>2</sup>) районов Ставропольского края, отделенные друг от друга буферной зоной, в качестве которой привлекался Изобильненский район (рис. 1);
- объемов распространения ЧКР AgI, которые рассчитывались с помощью уравнения:

$$V_{iЗТ} = S_{iЗТ} \cdot \Delta H, \quad (1)$$

- где  $\Delta H \approx 5$  км – мощность слоя распространения ЧКР AgI в атмосфере исследуемой территории;  $S_{iЗТ}$  (км<sup>2</sup>) – площадь  $i$ -й ЗТ;
- годового количества засеянных ОВ 1–4-й категорий ( $N_{ОВ}$ , шт.) и норм расхода в них количества ПГР «А-6» ( $N_{ПГР}$ , шт. «А-6»);
  - годовых норм расхода количества массы AgI ( $M_{1i AgI}$ , кг и  $M_{2i AgI}$ , мг) в ОВ 1–4-й категорий, которые рассчитывались с помощью уравнения:

$$M_{2i AgI} = N_{ПГР} \cdot m, \quad (2)$$

- где  $m = 26,4$  г – масса AgI, содержащаяся в одной ПГР «Ал-6»;
- годовых норм расхода массы ЧКР AgI  $M_{i2 AgI}$  (мг) на единицу площади ЗТ ( $S_{iЗТ}$ , см<sup>2</sup>), которые рассчитывались с помощью уравнения:

$$Q_{i2 AgI} = M_{i2 AgI} / S_{iЗТ}, \quad (3)$$

- где  $Q_{i2 AgI}$  (мг/см<sup>2</sup>);
- годовых норм расхода массы ЧКР AgI  $M_{i2 AgI}$  (мг) в единице объема ЗТ, ( $Q_{2i}$  мг/м<sup>3</sup>), которые рассчитывались с помощью уравнения:

$$Q_{2i2 AgI} = M_{i2 AgI} / V_{iЗТ}, \quad (4)$$

- где  $Q_{2 AgI i}$  (мг/м<sup>3</sup>);
- $N_{ЗК}$ ,  $N_{ОД}$ , и  $N_{ЖКТ}$  человека на ЗТ районов Ставропольского края.

## 1.2. Методы исследований

Методы исследований предусматривали:

- выбор районов КТ и буферной зоны относительно районов ЗТ с учетом аэросиноптических условий, наблюдаемых в регионе Центрального Кавказа и характеризующихся воздушными массами и ОВ 1–4-й категорий, имеющих в 70–80% от всех взятых случаев западную составляющую перемещения (рис. 1) [7, 13, 14, 16]
- расчет статистических характеристик параметров  $N_{\text{ОВ}}$ ,  $N_{\text{ПГР}}$ ,  $M_{1i\text{AgI}}$ ,  $M_{2i\text{AgI}}$ ,  $Q_{1i2\text{AgI}}$ ,  $Q_{2i2\text{AgI}}$ ,  $N_{\text{ЗК}}$ ,  $N_{\text{ОД}}$  и  $N_{\text{ЖКТ}}$ ;
- оценку различия между соответствующими значениями параметров, рассчитанных на ЗТ Андроповского (Ан.), Кочубеевского (Ко.), Шпаковского (Шп.) и на контрольной территории (КТ) Красногвардейского (Кр.) районов Ставропольского края, с привлечением непараметрических  $U$ -критериев Манна-Уитни [18]; расхождения между этими параметрами являются статистически значимыми при  $n_1 = n_2 = 4$  (число лет) и уровне значимости  $\alpha = 0,05$  (критерий двусторонний), когда наблюдаемое значение  $U_1$  больше верхнего значения, приведенного в таблице или равно ему ( $U_1 \geq U_{1T}$ ) а  $U_2$  – меньше нижнего значения, или равно ему ( $U_2 \geq U_{2T}$ );
- построение уравнений регрессии, связывающие годовые нормы расхода количества  $N_{\text{ПГР}}$  «А-6» и/или массы AgI  $M_{2i\text{AgI}}$  с  $N_{\text{ЗК}}$  и  $N_{\text{ОД}}$  на ЗТ Ан., Ко. и Шп. и КТ Кр. районов Ставропольского края.

## РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

### 2.1. Обоснование выбора ЗТ Ставропольского края как объекта для оценки влияния ЧКР AgI на организм человека

Выбор Ставропольского края, как объекта для исследования, был обусловлен высокой стабильностью результатов статистических характеристик: засеянных ОВ 1–4-й категорий ( $N_{\text{ОВ}} = 291$  шт.), норм расхода количества ПГР «Алазань» ( $N_{\text{ПГР}} = 3659,6$  шт.), физической и экономической эффективности ПГЗ ( $\mathcal{E}_\Phi = 97,6\%$  и  $\mathcal{E}_\mathcal{E} = 360$  млн руб. соответственно), с соответствующими значениями среднеквадратических отклонений ( $\sigma$ ) и вариаций ( $V$ ). Для  $N_{\text{ОВ}}$   $\sigma = 131,3$  шт., а  $V = 0,45$ ;  $N_{\text{ПГР}}$  «Алазань-6»  $\sigma = 1346$  шт., а  $V = 0,37$ ;  $\mathcal{E}_\Phi$   $\sigma = 5,2\%$ , а  $V = 0,05$ ;  $\mathcal{E}_\mathcal{E}$   $\sigma = 313,5$  млн руб., а  $V = 0,87$ . Выше приведенные результаты являются лучшими среди ВС РФ. получены не с помощью:

- метода конкуренции [19] и действующего метода УПО [1, 3], а с помощью двух новых разработанных методов воз-

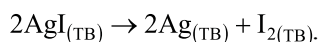


## 2.2. Химические превращения AgI в атмосфере при проведении ПГЗ

Согласно ГОСТ 12.1.007–76 ЧКР AgI и продукты его сгорания относятся к высоко опасным веществам 2–4-го класса. Они могут оказать вредное физическое воздействие (ВФВ) на окружающую среду, вызывая загрязнение атмосферного воздуха, почвы и воды в открытых водоемах [16]; появление различных болезней, в том числе, и онкологических. Основным загрязнителем считается AgI, предельный выброс которого не должен превышать ПДК, равных в атмосфере 0,5 мг/м<sup>3</sup>, в воде водоемов 0,05 мг/л и почве 2820 мг/л [4].

Рассмотрим, какие химические реакции могут наблюдаться в период проведения ПГЗ после попадания ЧКР AgI и продуктов его сгорания в атмосфере [13].

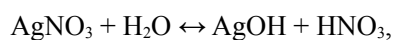
На свету AgI разлагается образованием частиц йода и серебра:



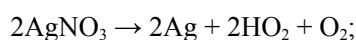
Йод, вступая в реакцию с водой, образует:

- йодоводородную кислоту  $\text{I}_{2(\text{ТВ})} + \text{H}_2\text{O} \leftrightarrow \text{H} + \text{HIО}$ ;
- йодноватую кислоту  $5\text{HIО} \rightarrow \text{HIО}_3 + 2\text{I}_2 + 2\text{H}_2\text{O}$  и  $\text{I}_2 + \text{SO}_3 + \text{H}_2\text{O} \rightarrow 2\text{HIО}_3 + 5\text{O}_2$ ;
- серную кислоту  $\text{I}_2 + \text{SO}_3 + 2\text{H}_2\text{O} \rightarrow 2\text{HI} + \text{H}_2\text{SO}_4$ .

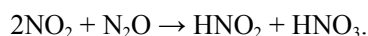
В состав реагента входит нитрат серебра, который в атмосфере, подвергаясь гидролизу, образует азотную кислоту:



а под действием грозových разрядов разлагается на



$\text{NO}_2$ , взаимодействуя с водой, дает азотную и азотистую кислоты:



Приведенные выше химические реакции показывают, что процессы, происходящие в атмосфере при попадании в нее AgI и продуктов его сгорания, способствуют образованию различных кислот и до-

полнительно повышают кислотность выпадающих атмосферных осадков [17].

Йод в небольших дозах угрозы для здоровья не представляет, а в больших концентрациях оказывает разрушительное воздействие на белковые структуры клеток тела. Он хорошо всасывается из пищеварительного тракта в кровь, после чего наступает общее отравление с признаками поражения центральной нервной системы, печени, сердечно-сосудистой системы и почек. Смертельная доза для взрослого человека, в пересчете на кристаллический йод, составляет 2 грамма.

Серебро – важный для организма микроэлемент, необходимый для нормального функционирования желез внутренней секреции, мозга и печени. Но серебро является тяжелым металлом и его насыщенные растворы не полезны человеку. При приеме 2 г солей серебра возникают токсические явления, а при дозе в 10 г вероятен летальный исход.

При изучении бактерицидных свойств серебра было выявлено, что решающую роль здесь играют положительно заряженные ионы серебра ( $AgI^+$ ), ионизация которых повышает активность в водных растворах. Катионы серебра подавляют деятельность фермента, обеспечивающего кислородный обмен у простейших микроорганизмов болезнетворных бактерий, вирусов и грибков (порядка 700 видов патогенной «флоры» и «фауны»). Скорость их уничтожения зависит от концентраций ионов серебра в растворе. Доказано, что серебро в ионном виде обладает бактерицидным, противовирусным, выраженным противогрибковым и антисептическим действием и служит высокоэффективным обеззараживающим средством в отношении патогенных микроорганизмов, вызывающих острые инфекции.

Действие серебра специфично не по инфекции (как у антибиотиков), а по клеточной структуре. Любая клетка без химически устойчивой стенки подвержена воздействию серебра. Особый интерес представляет действие ионов серебра на клетки микроорганизма. Обнаружено, что при инкубации костного мозга мышей и микроорганизмов в растворе, содержащем ионы серебра, морфология эритроцитов и лейкоцитов оставалась неизменной, тогда как микроорганизмы полностью уничтожались. В настоящее время широкое применение получили нанотехнологии создания и использования наноразмерных частиц серебра, имеющих размеры 25–45 нм и чрезвычайно большую удельную площадь поверхности. Это позволяет увеличить область контакта с бактериями и вирусами, значительно улучшая его бактерицидные действия. Они успешно могут быть применены и в ПГЗ, что позволит в сотни раз снизить их концентрацию с сохранением всех бактерицидных свойств.

## 2.3. Статистические характеристики параметров, применяемых в ПГЗ

### 2.3.1. Исследование связи засеянных AgI с $N_{\text{ПГР}}$ «А-6»

Для оценки ВФВ AgI и продуктов его сгорания на живые организмы важно знать количество засеянных ОВ 1–4-й категорий и израсходованных в них ПГР «А-6». В табл. 1 представлены статистические характеристики (средних-средних, среднеквадратичных отклонений –  $\sigma$ ) засеянных ОВ 1–4-й категорий ( $N_{\text{ОВ}}$ ), развивающихся на ЗТ районов Ставропольского края. Распределения числа:

- ОВ 1–2-й и 3-й категорий характеризуются цикличностью с двумя максимумами (в июне 47 и 23,5 и августе 48 и 28,3 соответственно), а ОВ 4-й категорий;
- одновершинным максимумом в августе (5,5 случаев). Полученные результаты обусловлены синоптическими процессами, развивающихся в Центральных районах Северного Кавказа.

Формирование ОВ 1–4-й категорий, развивающихся на ЗТ Ставропольского края:

- в мае, июле и сентябре обуславливалось внутримассовыми процессами, прохождением слабых холодных и теплых фронтов и фронтов окклюзии [Ват], количество которых достигало  $N_{\text{ОВ}} = 98,4$  шт.;
- в июне и августе – прохождением хорошо выраженных в поле давления, температуры и влажности холодных фронтов и фронтов окклюзии по типу холодного, в сопровождении интенсивных ливней, катастрофических градобитий и сильных шквалов, количество которых достигало  $N_{\text{ОВ}} = 155$  шт.

В табл. 2. представлено распределение средних месячных норм расхода количества ПГР «А-6» на ЗТ районов Ставропольского края. В мае, июле и сентябре было израсходовано 1320 шт., а в июне и августе – 1980 шт. «А-6».

Совместный анализ табл. 1 и табл. 2 позволил выявить увеличение количества  $N_{\text{ПГР}}$  «А-6» с увеличением засеянных  $N_{\text{ОВ}}$ , обусловленных синоптическими процессами, сопровождающихся интенсивными градовыми процессами и катастрофическими градобитиями. В мае, июле и сентябре количество  $N_{\text{ОВ}} = 98,4$  шт. ОВ, а  $N_{\text{ПГР}} = 1320$  шт. «А-6», в июне и августе  $N_{\text{ОВ}} = 155$  шт. ОВ, а  $N_{\text{ПГР}} = 1980$  шт. «А-6». Это может повлиять на загрязнение окружающей среды ЧКР AgI, способствующих появлению различных болезней, в том числе и онкологических. Оценка различия в расхождении значений параметров  $N_{\text{ОВ}}$  и  $N_{\text{ПГР}}$  между избранными месяцами является статистически значимой.



Таблица 1. РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ЗАСЕЯННЫХ ОВ 1-4-Й КАТЕГОРИЙ НА ЗТ СТАВРОПОЛЬСКОГО КРАЯ

Статистические характеристики	Месяц					
	V	VI	VII	VIII	IX	V-IX
ОВ 1–2-й категории						
$N_{\text{ОВ}}$ , шт.	21,5	47,0	38,5	48,0	6,3	161,3
$\sigma_{N_{\text{ОВ}}}$ , шт.	12,4	47,4	25,0	31,0	4,0	96,5
ОВ 3-й категории						
$N_{\text{ОВ}}$ , шт.	6,0	23,5	15,0	28,3	6,8	79,6
$\sigma_{N_{\text{ОВ}}}$ , шт.	1,8	16,6	9,5	5,0	5,7	26,7
ОВ 4-й категории						
$N_{\text{ОВ}}$ , шт.	–	3	3,5	5,5	0,8	12,8
$\sigma_{N_{\text{ОВ}}}$ , шт.	–	4,4	3,8	5,7	0,7	6,7

Таблица 2. РАСПРЕДЕЛЕНИЕ СРЕДНИХ МЕСЯЧНЫХ И ГОДОВЫХ НОРМ РАСХОДА ПГР «А-6» В РАЙОНАХ ЗТ СТАВРОПОЛЬСКОГО КРАЯ

Район	Месяц					
	V	VI	VII	VIII	IX	V-IX
Ан.	104,2	271,5	205,7	325,4	59,6	966,4
Ко.	102,0	600,5	505,3	615,2	101,0	1924,0
Шп.	41,0	72,0	187,3	95,5	14,4	410,2
Всего	247,2	944,0	898,3	1036,1	175,0	3300,6

### 2.3.2. Исследование связи между $N_{\text{ПГР}}$ «А-6» с $N_{\text{ОЗ}}$

В табл. 3 представлены значения параметров, необходимых для оценки влияния AgI на онкологические заболевания человека. При ее составлении исходили из следующих соображений. Если в одной ПГР «А-6» содержится 26,4 г AgI, то средний годовой расход ПГР на ЗТ:

- Ан. района в количестве  $N_{\text{ПГР}} = 996,5$  шт. «А-6» составит соответственно:  $M_{1i\text{AgI}} = 25,5$  кг AgI; и  $M_{2i\text{AgI}} = 2,6 \cdot 10^7$  мг;  $Q_{1i\text{AgI}/S_{\text{ЗТ}}} = 1 \cdot 10^{-3}$  мг/см<sup>2</sup>;  $Q_{2i\text{AgI}/V_{\text{ЗТ}}} = 2,2 \cdot 10^{-6}$  мг/м<sup>3</sup>;

- Ко. района в количестве  $N_{\text{ПГР}} = 1924$  шт. «А-6» составит соответственно:  $M_{1i\text{AgI}} = 50,8$  кг AgI; и  $M_{2i\text{AgI}} = 5,1 \cdot 10^7$  мг,  $Q_{1i\text{AgI}/S_{3T}} = 2 \cdot 10^{-3}$  мг/см<sup>2</sup>;  $Q_{2i\text{AgI}/V_{3T}} = 4,3 \cdot 10^{-6}$  мг/м<sup>3</sup>;
- Шп. района в количестве  $N_{\text{ПГР}} = 410,2$  шт. «А-6» составит  $M_{1i\text{AgI}} = 10,8$  кг AgI; и  $M_{2i\text{AgI}} = 1,2 \cdot 10^7$  мг,  $Q_{1i\text{AgI}/S_{3T}} = 1 \cdot 10^{-3}$  мг/см<sup>2</sup>;  $Q_{2i\text{AgI}/V_{3T}} = 3 \cdot 10^{-6}$  мг/м<sup>3</sup>;
- Ставропольского края в количестве  $N_{\text{ПГР}} = 3300,7$  шт. «А-6» составит  $M_{2i\text{AgI}} = 87,1$  кг AgI и  $M_{2i\text{AgI}} = 8,7 \cdot 10^7$  мг;  $Q_{1i\text{AgI}/S_{3T}} = 1,6 \cdot 10^{-3}$  мг/см<sup>2</sup>;  $Q_{2i\text{AgI}/V_{3T}} = 3,1 \cdot 10^{-6}$  мг/м<sup>3</sup>.

Допускалось, что ЧКР AgI полностью остаются на ЗТ Ставропольского края. Значения параметров,  $V_{3T}$ ,  $M_{2i\text{AgI}}$ ,  $Q_{1i\text{AgI}/S_{3T}}$  и  $Q_{2i\text{AgI}/V_{3T}}$  рассчитывались с помощью формул (1)–(4), приведенных в разделе «Материалы исследований» этой статьи. В табл. 3 также представлены значения площадей ЗТ ( $S_{3T}$ ) и мощностей слоя ( $\Delta N_{3T}$ ), распространения AgI.

В табл. 4 представлено распределение статистических характеристик (средних-средн., среднеквадратических отклонений –  $\sigma$  и вариаций –  $V$ ) средних годовых норм расхода количества:  $N_{\text{ПГР}}$ ,  $M_{2i\text{AgI}}$ ,  $Q_{1i\text{AgI}/S_{3T}}$  и  $Q_{2i\text{AgI}/V_{3T}}$  на ЗТ Ан. (числитель) и Ко. (знаменатель) районов Ставропольского края. Из таблицы следует, что значения  $N_{\text{ПГР}}$ , на ЗТ: Ан. района изменяются от 676 до 1272, составляя в среднем 966,5 шт. «А-6», а на ЗТ Ко. района – от 1129 до 2841, составляя в среднем 1924 шт. «А-6». Расхождение между их средними годовыми нормами расхода ПГР «А-6» на ЗТ Ан. и Ко. районов, является существенным, так как  $U_1 = 15 = U_{1T} = 15$  и  $U_2 = 1 = U_{2T} = 1$ . На статистически значимом уровне различаются также значения  $M_{2i\text{AgI}}$ ,  $Q_{1i\text{AgI}/S_{3T}}$  и  $Q_{2i\text{AgI}/V_{3T}}$ .

В таблице 5 представлены статистические характеристики среднего годового количества онкологических заболеваний кожи ( $N_{\text{ЗК}}$ ) и органов дыхания ( $N_{\text{Од}}$ ) на ЗТ и КТ районов Ставропольского края.

Значения  $N_{\text{ЗК}}$  на ЗТ Ан. района изменяется от 8 до 17, составляя в среднем 13,2; Ко. района – от 40 до 48, составляя в среднем 43,8; Шп. района – от 46 до 75, составляя в среднем 64,1 и на КТ Кр. района – от 26 до 31, составляя в среднем 28,8. На ЗТ Ко. района среднее значение  $N_{\text{ЗК}} = 43,8$  в 3 раза больше значения, наблюдаемого на ЗТ Ан. района ( $N_{\text{ЗК}} = 13,2$ ) и 1,5 раза больше значения, наблюдаемого на КТ Кр. района ( $N_{\text{ЗК}} = 28,8$ ), но в 1,5 раза меньше значения, наблюдаемого на ЗТ Шп. района ( $N_{\text{ЗК}} = 64,1$ ) [13].

Значения  $N_{\text{Од}}$  на ЗТ Ан. района изменяются от 8 до 21, составляя в среднем 14,3; Ко. района – с 36 до 44, составляя в среднем 40,5; Шп. района – от 39 до 47, составляя в среднем 43,8; а на КТ Кр. района – с 19 до 21, составляя в среднем 19,5. На ЗТ Ко. района среднее значение  $N_{\text{Од}} = 40,5$  почти в 3 раза больше значения, наблюдаемого на ЗТ Ан. района ( $N_{\text{ЗК}} = 14,3$ ) и в 2 раза больше значения, наблюдаемого на КТ Кр. района ( $N_{\text{ЗК}} = 19,5$ ), но на 3, меньше наблюдаемого на ЗТ Шп. района ( $N_{\text{ЗК}} = 43,8$ ).

Таблица 3. РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ЗНАЧЕНИЙ ПАРАМЕТРОВ НА ЗТ РАЙОНОВ СТАВРОПОЛЬСКОГО КРАЯ

Район	$S_{ЗТ}$ , км <sup>2</sup>	$\Delta H_{ЗТ}$ , км,	$V_{ЗТ}$ , м <sup>3</sup>	$N_{ПГР}$ , шт.	$M_{1iAgI}$ , кг	$M_{2iAgI}$ , мг	$Q_{1iAgI/S_{ЗТ}}$ , мг/см <sup>2</sup>	$Q_{2iAgI/V_{ЗТ}}$ , мг/м <sup>3</sup>
Ан.	2388	5	1,2 · 10 <sup>13</sup>	966,5	25,5	2,6 · 10 <sup>7</sup>	1 · 10 <sup>-3</sup>	2,2 · 10 <sup>-6</sup>
Ко.	2363	5	1,2 · 10 <sup>13</sup>	1924,0	50,8	5,1 · 10 <sup>7</sup>	2 · 10 <sup>-3</sup>	4,3 · 10 <sup>-6</sup>
Шп.	819	5	0,4 · 10 <sup>13</sup>	410,2	10,8	1,1 · 10 <sup>7</sup>	1 · 10 <sup>-3</sup>	2,8 · 10 <sup>-6</sup>
Всего	5570	5	2,8 · 10 <sup>13</sup>	3300,7	87,1	8,7 · 10 <sup>7</sup>	1,6 · 10 <sup>-3</sup>	3,1 · 10 <sup>-6</sup>

Таблица 4. РАСПРЕДЕЛЕНИЕ СТАТИСТИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ПАРАМЕТРОВ  $N_{ЗК}$ ,  $M_{2iAgI}$ ,  $Q_{1iAgI}$  И  $Q_{2iAgI}$  НА ЗТ АН. (ЧИСЛИТЕЛЬ) И КО (ЗНАМЕНАТЕЛЬ) РАЙОНОВ СТАВРОПОЛЬСКОГО КРАЯ

Район	Годы				Статистические характеристики				Оценка
	2003	2004	2005	2006	Всего	Средн.	$\sigma$	$V$	
Годовые нормы расхода количества ПГР ( $N_{ПГР}$ ), шт.									
Ан.	861	1272	1054	676	3866	966	256	0,26	+
Ко.	1129	2841	1844	1882	7696	1924	703	0,36	
Годовые нормы расхода массы AgI ( $M_{2iAgI} = A \cdot 10^6$ мг/м <sup>3</sup> )									
Ан.	22,7	33,6	27,9	17,8	102	25,5	6,8	0,26	+
Ко.	29,8	75	48,7	49,7	203	50,8	18,5	0,36	
Годовые нормы расхода массы AgI на единицу площади ( $Q_{1iAgI/S_{ЗТ}} = A \cdot 10^{-2}$ мг/см <sup>2</sup> )									
Ан.	0,9	1,4	1,2	0,7	4,2	1,1	0,3	0,26	+
Ко.	1,3	3,2	2,3	2,1	8,9	2,2	0,8	0,36	
Годовые нормы расхода массы AgI в единице объема ( $Q_{2iAgI/V_{ЗТ}} = A \cdot 10^{-6}$ мг/м <sup>3</sup> )									
Ан.	1,9	2,8	2,3	1,5	8,5	2,2	0,6	0,16	+
Ко.	2,5	6,3	4,1	4,2	17,1	4,3	1,6	0,23	

Расхождения между средних значений параметров  $N_{ЗК}$  и  $N_{Од}$ , наблюдаемых на ЗТ Ко., Ан., Шп. и КТ Кр. являются статистически значимыми [18], так как выполняется следующее условие:  $U_1 = 16 > U_{1T} = 15$  и  $U_2 = 0 < U_{2T} = 1$ . Исключение составляет значения  $N_{Од}$  на ЗТ Ан. ( $N_{Од} = 14,3$ ) и КТ Кр. ( $N_{Од} = 19,5$ ) районов, где расхождение между ними являются статистически не значимыми:  $U_1 = 12,5 < U_{1T} = 15$ ;  $U_2 = 3,5 > U_{2T} = 1$  [18]. Это обозначается знаком «→» в последнем столбце «Оценка» табл. 5.

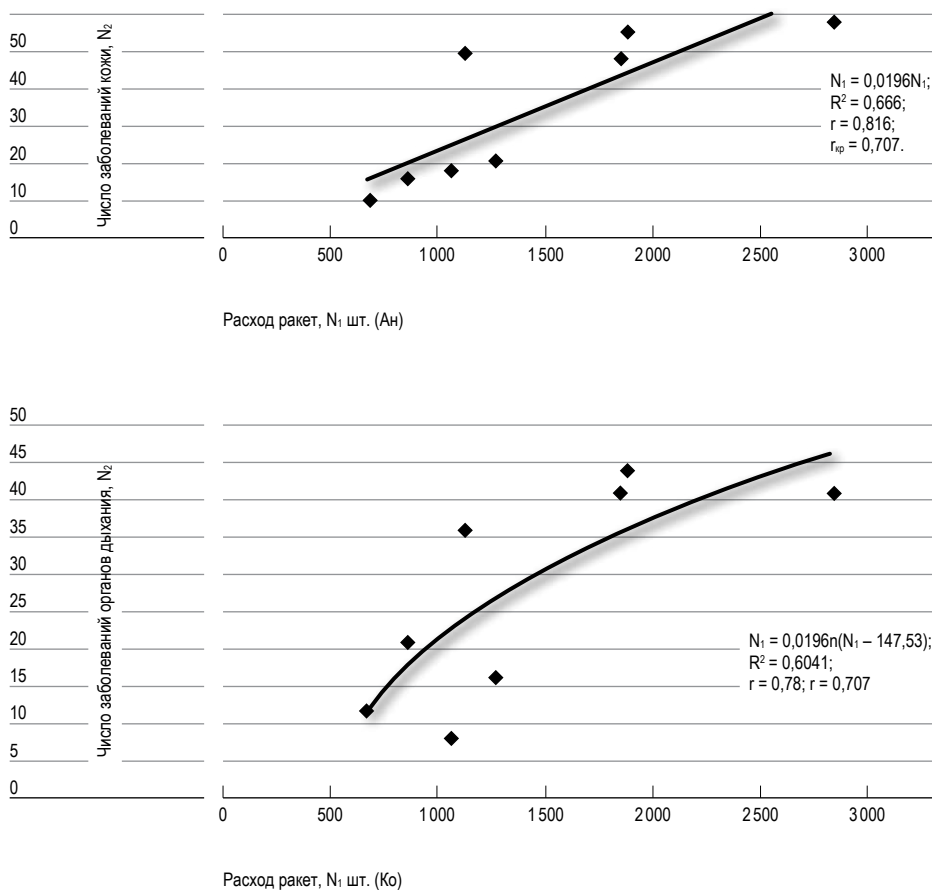
Рассмотрим, что является причиной столь значимого увеличения числа онкологических заболеваний ( $N_{ЗК}$  и  $N_{Од}$ ) в Шп. районе при сравнительно низких значениях следующих параметров:  $N_{ЗТ}$ ,  $N_{ПГР}$ ,  $M_{2iAgI}$ ,  $Q_{1iAgI/S_{ЗТ}}$  и  $Q_{2iAgI/V_{ЗТ}}$ .

Исследования показывают, что на Северном Кавказе воздушные потоки в 70–80% от всех взятых случаев имеют западную составляющую перемещения [7, 10, 14]. Такую составляющую перемещения имеют и большинство засеянных ОВ 1–4-й категории на ЗТ Ан., Ко. (навстречная сторона) и Шп. (подветренная сторона) районов Ставропольского края (рис. 1). В реальной атмосфере засеянные ОВ, перемещаясь по направлению ведущего потока, могут существенно уменьшить концентрацию AgI и его производных на ЗТ Ан. и Ко. районов и увеличить их не только на ЗТ Шп. района, но и на контрольной территории (КТ) Кр. района, расположенной с подветренной от ЗТ стороны. Выше сказанное может оказаться одной из возможных причин увеличения числа онкологических заболеваний на ЗТ Шпаковского района и требует дальнейших экспериментальных исследований.

Таблица 5. СТАТИСТИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ОНКОЛОГИЧЕСКИХ ЗАБОЛЕВАНИЙ НА ЗТ И КТ РАЙОНОВ СТАВРОПОЛЬСКОГО КРАЯ

Район	Годы				Статистические характеристики				Оценка
	2003	2004	2005	2006	$\sum N_{оз}$	$N_{од}$	$\sigma_{од}$	$V_{оз}$	
Заболевание кожи ( $N_{зк}$ )									
Ан.	13	17	15	8	53	13,2	3,9	0,29	(+)
Ко.	41	48	40	46	175	43,8	3,9	0,02	
Ан. Кр.	13	17	15	8	53	13,2	3,9	0,29	(+)
	29	31	29	26	115	28,8	2,1	0,02	
Ко.	1	48	40	46	175	43,8	3,9	0,02	(+)
Кр.	9	31	29	26	115	28,8	2,1	0,02	
Заболевание органов дыхания ( $N_{од}$ )									
Ан.	21	16	8	12	57	14,3	5,6	0,08	(+)
Ко.	36	41	41	44	162	40,5	3,3		
Ан. Кр.	21	16	8	2	57	14,3	5,6	0,39	(-)
Кр.	21	18	19	20	78	19,5	1,5	0,08	
Ко.	36	41	41	4	62	40,5	3,3	0,08	(+)
Кр.	21	18	9	20	78	19,5	1,5	0,08	

Совместный анализ табл. 3-табл. 5, составленных для ЗТ Ан. ( $S_{ЗТ} = 2363 \text{ км}^2$ ), Ко. ( $S_{ЗТ} = 2388 \text{ км}^2$ ) и Шп. ( $S_{ЗТ} = 819 \text{ км}^2$ ) районов, позволил выявить тенденцию увеличения годового количества онкологических заболеваний кожи ( $N_{зк}$ ), органов дыхания ( $N_{од}$ ) с увеличением значений  $N_{ПГР}$  «А-6»,  $M_{2iAgI}$ ,  $Q_{1iAgI/S_{ЗТ}}$  и  $Q_{2iAgI/V_{ЗТ}}$ . В Ан. районе значения  $N_{ПГР} = 966,5$  шт. «А-6», а  $N_{зк} = 13,2$  шт., Ко. районе  $N_{ПГР} = 1924$  шт. «А-6», а  $N_{зк} = 43,8$  шт., Шп. районе  $N_{ПГР} = 410,2$  шт. «А-6», а  $N_{зк} = 64,1$  шт. Такая же закономерность отмечается и при изучении  $N_{од}$ .



**Рис. 2.** График связи  $N_{\text{ЗК}}$  и  $N_{\text{ОД}}$  с  $N_{\text{ПГР}}$  на ЗТ Андроповского и Кочубеевского районов Ставропольского края.

Из анализа таблицы 5 следует, что число онкологических заболеваний на ЗТ больше, чем на КТ, что подтверждает выше полученные предварительные выводы о возможном влиянии  $\text{AgI}$  и продуктов его соединения (йодоводородной, йодноватой, азотной и серной кислот) на организм человека. В то же время оценка, проведенная с привлечением  $U$ -критерия Манна-Уитни [11], показала не значимость расхождения между числом анализируемых болезней, наблюдаемых на ЗТ и КТ Ставропольского края.

Значения  $Q_{2i\text{AgI}/V_{\text{ЗТ}}}$  в Ан., Ко и Шп. в районах Ставропольского края соответственно достигают  $2,2 \cdot 10^{-6}$ ,  $4,3 \cdot 10^{-6}$  и  $3 \cdot 10^{-6}$   $\text{мг}/\text{м}^3$  и на 4–5 порядков меньше существующих ПДК, равных в атмосфере  $0,5 \text{ мг}/\text{м}^3$  или  $5 \cdot 10^{-1} \text{ мг}/\text{м}^3$ .

Оценки показывают, что для достижения значений концентраций  $Q_{2iAgI/V_{3T}}$  концентраций ПДК AgI потребуется не менее 170 тыс. лет. Если учесть, что AgI является еще и мигрирующим веществом, то для достижения уровня ПДК потребуется еще больше времени. Поэтому применение общеизвестных ПДК в оценках влияния ЧКР AgI на организм человека, являются неприемлемым, требует разработки новых ПДК с привлечением наноразмерных частиц AgI.

Чтобы сделать объективные выводы о влиянии  $N_{ПГР}$ ,  $M_{2iAgI}$  и  $Q_{1iAgI/S_{3T}}$   $Q_{2iAgI/V_{3T}}$  на количество  $N_{ЗК}$  и  $N_{ОД}$ , были построены уравнения регрессии и рассчитаны коэффициенты парной корреляции ( $r$ ) и детерминации ( $R^2$ ), характеризующие тесноту связи между этими параметрами на ЗТ Ан. и Ко. районов.

Графики связи представлены на рис. 2. Видно, что расчетные значения коэффициентов парной корреляции, связывающие онкологические заболевания кожи и органов дыхания с годовыми нормами расхода ПГР равны соответственно 0,816 и 0,78. Так как значения этих коэффициентов корреляции больше критического значения ( $r_{кр} = 0,707$ ), при числе степеней свободы  $k = N - 2 = 6$  и  $\alpha = 0,05$ , приведенного в таблице распределения Стьюдента, то они являются надежными и могут служить доказательством существования статистических связей между  $N_{ПГР}$  и  $N_{ЗК}$  и между  $N_{ПГР}$  и  $N_{ОД}$ .

### ВЫВОДЫ

1. Формирование количества ОВ 1–4-й категорий обусловлено синоптическими процессами, сопровождающихся: внутримассовыми процессами; прохождением холодных и теплых фронтов и фронтов окклюзии различной интенсивности; катастрофическими градобитиями и сильными шквалами.
2. С увеличением на ЗТ Ставропольского края количества засеянных ОВ 1–4-й категорий увеличивается количество месячных и годовых норм расхода противораковых ракет «А-6». Например, в мае, июле и сентябре  $N_{ОВ} = 98,4$  шт. ОВ, а  $N_{ПГР} = 1320$  шт. «А-6», в июне и августе  $N_{ОВ} = 155$  шт. ОВ, а  $N_{ПГР} = 1980$  шт. «А-6», что может привести к загрязнению окружающей среды Ставропольского края ЧКР AgI, способствующих появлению различных болезней.
3. С увеличением значений норм расхода  $N_{ПГР}$ ,  $M_{2iAgI}$ ,  $Q_{1iAgI/S_{3T}}$  и  $Q_{2iAgI/V_{3T}}$  увеличивается  $N_{ЗК}$  и  $N_{ОД}$  (это отмечается в 67% от всех взятых случаев). Например, в Андроповском районе значение  $N_{ПГР} = 966,5$  шт. «А-6», а  $N_{ЗК} = 13,2$  шт. заболеваний, в Кочубеевском районе  $N_{ПГР} = 1924$  шт. «А-6», а  $N_{ЗК} = 43,8$  шт. заболеваний.

4. Средние годовые нормы расхода массы AgI в единице объема облачного воздуха ( $Q_{2iAgI/V_{3T}}$ ) в Ан., Ко. и Шп. районах достигают соответственно  $2,2 \cdot 10^{-6}$ ,  $4,3 \cdot 10^{-6}$  и  $3 \cdot 10^{-6}$  и на 4–5 порядка меньше существующих ПДК AgI, равных в атмосфере  $0,5 \text{ мг/м}^3$  или  $5 \cdot 10^{-1} \text{ мг/м}^3$ . Оценки показывают, что на ЗТ Ставропольского края, для достижения значений  $Q_{2iAgI/V_{3T}}$  значений ПДК потребуется не менее 170 тыс. лет.
5. Применение общеизвестных ПДК в оценках влияния ЧКР AgI на организм человека, является неприемлемым, требует разработки новых ПДК с привлечением наноразмерных частиц AgI.
6. Построены уравнения регрессии и рассчитаны коэффициенты парной корреляции ( $r$ ) и детерминации ( $R^2$ ), характеризующие тесноту связи между параметрами норм расхода  $N_{ПГР}$ ,  $M_{2iAgI}$ ,  $Q_{2iAgI/S_{3T}}$ ,  $Q_{2iAgI/V_{3T}}$  и параметрами  $N_{ЗК}$  и  $N_{ОД}$ , наблюдаемых на ЗТ Ан. и Ко. районов. Так как значения этих коэффициентов корреляции (0,816 и 0,78) больше критического значения ( $r_{кр} = 0,707$ ), при числе степеней свободы  $k = N - 2 = 6$  и  $\alpha = 0,05$ , то они являются надежными и могут служить доказательством существования связей между  $N_{ПГР}$  и  $N_{ЗК}$ ,  $N_{ПГР}$  и  $N_{ОД}$ .
7. Приведенные в данной работе онкологические заболевания, по всей видимости, могли быть вызваны и другими не известными нам причинами, требующих дальнейших исследований.

#### Библиографический список

1. Абшаев М.Т. Активное воздействие на градовые процессы // Руководящий документ РД. 52.37.596-98. М, 1998. 32 с.
2. Абшаев М.Т., Малкарова А.М. Экологическая безопасность Российской технологии ПГЗ // Доклады Всероссийской конференции по физике облаков и активным воздействиям на гидрометеорологические процессы. Нальчик, 2005. С. 409–414.
3. Абшаев М.Т., Абшаев А.М., Малкарова А.М., Баркова М.В. Руководство по организации и проведению противорадовых работ. Нальчик: Печатный двор, 2014. 500 с.
4. Безопасные уровни загрязнения вредных веществ в окружающей среде. Свердловск: Научно-исследовательский институт общей коммунальной гигиены им. А.Т Сысына АМН СССР, 1990.

5. Березкин В.В., Ватиашвили М.Р., Макитов В.С., Федченко Л.М. Оценка времени достижения эффекта воздействия на градовые процессы // Труды ВГИ. 1991. Вып. 80. С. 149–156.
6. Ватиашвили М.Р., Березкин В.В., Бахсолиани М.Г. Исследование норм расхода реагента в градовых облаках различной интенсивности // Всесоюзная конференция по активным воздействиям на гидрометеорологические процессы. Киев, 1987. С. 177–181.
7. Ватиашвили М.Р., Капанадзе Н.И. Одикадзе М.Я. Перераспределение осадков в районах Восточной Грузии при воздействии на градовые процессы // Труды Всесоюзного семинара «Активные воздействия на градовые процессы и перспективы усовершенствования льдообразующих реагентов для практики активных воздействий», 1991. С. 243–251.
8. Ватиашвили М.Р., Джангуразов Х.Х., Кассиров В.П. Патент РФ № 2006 1221792, А 01 G.
9. Ватиашвили М.Р. Совершенствование методики норм расхода ракет в текущем году и его переходящего запаса в сезоне следующего года при проведении работ по воздействию на градовые процессы // Циклы природы и общества. Материалы XVI Международной научной конференции. Ставрополь, 2008. С. 271–281.
10. Ватиашвили М.Р. Прерывание града предварительным засеваем облаков и облачных систем со стороны вторжения ОВ 3–4-й категории // Циклы природы и общества. Материалы XVI Международной научной конференции. Ставрополь, 2008. С. 281–290.
11. Ватиашвили М.Р. Совершенствование методики расчета оптимальных норм расхода противорадовых ракет и интенсивности стрельбы при воздействии на градовые облака // Циклы природы и общества. Материалы XVI Международной научной конференции. Ставрополь, 2008. С. 290–300.
12. Ватиашвили М.Р. Уточненный критерий засева ОВ 2-й категории // Циклы природы и общества. Материалы XVI Международной научной конференции. Ставрополь, 2008. С. 300–307.
13. Ватиашвили М.Р. Влияние на организм человека йодистого серебра, применяемого в противорадовой защите // Циклы природы и общества. Материалы XVII Международной научной конференции. Ставрополь, 2009. С. 192–201.
14. Ватиашвили М.Р. Метод прерывания град на подступах защищаемой территории со стороны вторжения градовых облаков // Наука. Инновации. Технологии. 2016. №4. С. 7–24.
15. Ватиашвили М.Р. Метод прерывания града на защищаемых территориях региона Центрального Кавказа // Наука. Инновации. Технологии. 2018. №1. С. 7–22.
16. Влияние противорадовых работ на загрязнение атмосферы и осадков продуктами активных воздействий на градовые процессы / Т.И. Воробьева и др. Труды ВГИ, 1990. Вып. 74. С. 145–151.



17. Заиков Г.Е. Кислотные дожди и окружающая среда. М.: Химия, 1991. 198 с.
18. Рунион Р. Справочник по непараметрической статистике: Современный подход / перевод с английского Е.З. Демиденко. М.: Финансы и кредит, 1982. 198 с.
19. Сулаквелидзе Г.К. Ливневые осадки и град. Л.: Гидрометеоздат, 1967. 421 с.

### References

1. Abshayev M.T. Aktivnoye vozdeystviye na gradovyye protsessy (Active influence on hail processes) // Rukovodyashchiy dokument RD.52.37.596-98.M (Steering document РД. 52.37.596-98). М., 1998. 32 p.
2. Abshaev M.T., Malkarova A.M. Ekologicheskaya bezopasnost' Rossyiskoy tekhnologii PGZ [The ecological safety of the Russian technology of anti-hail protection] // Doklady Vserossyiskoy konferentsii po fizike oblakov i aktivnym vozdeistviyam na gidrometeorologicheskie protsessy. Nalchik, 2005. P. 409–414.
3. Abshaev M.T., Abshaev A.M., Malkarova A.M., Berekova M.V. Rukovodstvo po organizatsii i provedeniyu protivogradovykh работ [The Manual on organizing and executing of anti-hail works]. Nalchik: OOO «Pechatnyi dvor», 2014. 500 p.
4. Bezopasnye urovny zagryazneniya vrednymi veshchestvami v okruzhayushchei srede [Safe levels of the environmental pollution]. Sverdlovsk: Nauchno-issledovatel'skiy institut obshchei kommunal'noi gigieny im. A.T. Sysina AMN SSSR, 1990.
5. Beriozkin V.V., Vatiashvili M.R., Makitov V.S., Fedchenko L.M. Otsenka vremeni dostizheniya efekta vozdeystviya na gradovye protsessy [Time estimation of the exposure effect on hailing]. Trudy VGI. Vol. 80. 1991. P. 149–156.
6. Vatiashvili M.R., Beriozkin V.V., Bakhsoiani M.G. Issledovanie norm raskhoda reagenta v gradovykh oblakakh razlichnoi intensivnosti. [The research on reagent application rate in hail clouds of different intensity] // Vsesoyuznaya konferentsiya po aktivnym vozdeistviyam na gidrometeorologicheskie protsessy. Kiev, 1987. P. 177–181.
7. Vatiashvili M.R., Kapanadze N.I., Odikadze M.Ya. Pereraspredelenie osadkov v raionakh Vostochnoy Gruzii [Reallocation of the atmospheric precipitations in the Eastern Georgia area when influencing on hailing] // Trudy Vsesoyuznogo seminar'a «Aktivnye vozdeystviya na gradovye protsessy i perspektivy usovershenstvovaniya l'dobrazuyushchikh reagentov dlya praktiki vozdeistvii». М.: Gidrometeoizdat, 1991. P. 243–251.
8. Vatiashvili M.R., Dzhangurazov Kh.Kh., Kassirov B.P. Patent RF № 2006 1221792, A 01 G.
9. Vatiashvili M.R. Sovershenstvovanie metodiki norm raskhoda raket v tekushchem godu i ego perekhodyashchego zapasa v sezone sleduyushchego goda pri provedenii работ po vozdeistviyu na gradovye protsessy [The improvement of methods of rocket application

- rate in the current year and its carry-over storage in the next year season when executing works on influencing on hailing] // *Tsikly prirody i obshchestva. Materialy XVI Mezhdunarodnoi nauchnoi konferentsii*. Stavropol, 2008, P. 271–281.
10. Vatiashvili M.R. Preryvanie grada predvaritelnyim zasevom oblakov i oblachnykh system so storony vtorzhenia OV 3–4-i kategorii [Hail breaking by a preliminary seeding of clouds and cloud systems from the direction of intruding of OV of the 3-4th categories] // *Tsikly prirody i obshchestva. Materialy XVI Mezhdunarodnoi nauchnoi konferentsii*. Stavropol, 2008. P. 281–290.
  11. Vatiashvili M.R. Sovershenstvovanie metodiki raschiota optimalnykh norm raskhoda protivogradovykh raket i intensivnosti strel'by pri vozdeistvii na gradovye oblaka [The improvement of design procedure of the optimum application rates of anti-hail rockets and shooting intensity when influencing on hail clouds] // *Tsikly prirody i obshchestva. Materialy XVI Mezhdunarodnoi nauchnoi konferentsii*. Stavropol, 2008. P. 290–300.
  12. Vatiashvili M.R. Utochnennyi kriterii zaseva OV 2-i kategorii [The verified seeding criterion for the 2-nd category objects of influence] // *Tsikly prirody i obshchestva. Materialy XVI Mezhdunarodnoi nauchnoi konferentsii*. Stavropol, 2008. P. 300–307.
  13. Vatiashvili M.R. Vliyanie na organism cheloveka iodistogo serebra, primenyaemogo v protivogradovoi zashchite [The effect of argen-tum iodide used in anti-hail protection on a human body] // *Tsikly prirody i obshchestva. Materialy XVII Mezhdunarodnoi nauchnoi konferentsii*. Stavropol, 2009. P. 192–201.
  14. Vatiashvili M.R. Metod preryvaniya grada na podstupakh zashchishchaemoi territorii so storony vtorzheniya gradovykh oblakov [The method of hail breaking next to the protected area from the direction of hail clouds intrusion] // *Nauka. Innovatsii. Tekhnologii*. 2016. №4. P. 7–24.
  15. Vatiashvili M.R. Metod preryvaniya grada na zashchishchaemykh territoriyakh regiona Tsentralnogo Kavkaza [The method of hail breaking on the protected areas of the Central Caucasus region] // *Nauka. Innovatsii. Tekhnologii*. 2018. №1. P. 7–22.
  16. Vliyanie protivogradovykh rabot na zagryaznenie atmosfery i osadkov produktami aktivnykh vozdeistvii na gradovye protsessy [Anti-hail works effect on atmosphere and precipitations pollution with the products influencing actively on hailing] / T.I. Vorobieva i dr. *Trudy VGI*, 1990. Vol. 74, P. 145-151.
  17. Zaikov G.E. Kislotnye dozhd i okruzhayushchaya sreda [Acid rains and environment]. M.: Khimiya, 1991. 198 p.
  18. Runion R. Spravochnik po neparametricheskoi statistike: Sovremennyyi podkhod [Reference book on non-parametrical statistics: Modern approach] / the translation from English by Demidenko E.Z. M.: Finansy i credit, 1982. 198 p.
  19. Sulakvelidze G.K. Livnevye osadki i grad [Cloudbursts and hailing]. L.: Gidrometeoizdat, 1967, 421 p.