

A Study of the Specific Features of the Summer Precipitation Regime according to the Data of Meteorological Stations Located in the Region of Long-Term Anti-Hail Activities in the Republic of Moldova

Исследование особенностей режима летних сумм осадков по данным метеостанций, расположенных в районе многолетних противогорадовых работ в Республике Молдова

Е.И. Потапов, Е.А. Засавицкий
IEEN, ASM

Chisinau, Moldova
efim@nano.asm.md

Abstract— The paper presents results of a comparative analysis of the statistical characteristics of summer precipitation totals over 50–60 years of observations in the areas protected against hail and the surrounding areas. It is shown that, despite the general trend of decreasing summer precipitation totals, the meteorological stations located in the center of the protected areas record a 5–9% increase in this parameter compared with the data of meteorological stations located outside the protected zone. It is found that the increase in the autumn precipitation totals recorded at the meteorological stations located in the areas protected against hail achieves 33%.

Ключевые слова—Осадки, активные воздействия на атмосферные процессы, осадкоммерная сеть.

I. ВВЕДЕНИЕ

Учитывая масштабы противогорадовых работ в странах СНГ (площадь защиты порядка 6,5 млн. га) на основе ракетной технологии активных воздействий (АВ), вопросам экологии в этих регионах всегда уделялось большое внимание. Проведенные в 80-е годы исследования (Северный Кавказ, Грузия, Молдавия) указывали на снижение на полигонах противогорадовой защиты (ПГЗ) летних сумм осадков от 5 до 19% сезонной нормы. На прилегающих территориях (ПТ) подветренных к защищаемым (ЗТ) в эти периоды фиксировалось увеличение количества осадков до 15%. [1]. В некоторых исследованиях (Узбекистан) влияния противогорадовых работ на режим осадков на ЗТ и ПТ выявлено не было. В Ставропольском крае на защищаемых от града территориях в период 2006-2015 гг. увеличение осадков достигало 35-38% от «климатической нормы» [2].

Изменение летних сумм осадков в районах противогорадовой защиты объяснялось сокращением «времени жизни» засеянных кристаллизующими реагентами конвективных ячеек, на ПТ - переносом с ЗТ реагента диссипирующими облачными элементами [1].

К модификации режима осадков, с нашей точки зрения, могут также приводить и такие причины как изменения климатических характеристик в регионах АВ [3], реализация при АВ на градоопасные кучево-дождевые облака (Cb) разных физических концепций ограничения роста града, использование реагентов с неодинаковыми льдообразующими характеристиками. Необходимо отметить, что согласно экспериментальным данным засев облаков реагентами на основе йодистого серебра (AgI) может приводить к длительным эффектам «последствия» АВ как на ЗТ, так и на прилегающих территориях. Явление выражается в усилении льдообразующей активности природного аэрозоля за счет его взаимодействия с поступившими на земную поверхность частицами AgI. Это в свою очередь приводит к ускорению естественных процессов осадкообразования в облаках всех типов. Установлено, что последствие может сказываться в течение 2-3 месяцев после окончания АВ [4,5].

Следует подробнее остановиться на результатах исследований режима осадков (1978 - 1984 гг.) в Молдавии. Было установлено, что засев Сб по технологии противогорадовой защиты приводит к снижению летних сумм осадков на 4%. При этом «по группе очень слабых и слабых ливней» снижение составляло 6%, «по группе ливней от умеренных до сильных» происходило

увеличение суммы осадков на 27%, «по группе очень сильных и особо опасных ливней» - снижение составляло 25%» [6]. Перераспределение осадков в структуре дождей в сторону снижения интенсивности «особо опасных ливней» можно считать важным положительным фактором АВ на фоне незначительного уменьшения общего количества осадков на защищаемой от града территории.

Технология ПГЗ в Молдове в тот период предусматривала засев фронтальных областей повышенной отражаемости радиозахв в Сб с целью создания дополнительных конкурирующих зародышей града. В качестве реагента в практических работах по АВ использовались пиротехнические льдообразующие составы на основе AgI и PbI₂.

Принятая в конце 80-х годов и действующая по настоящее время в Республике Молдова (РМ) физическая концепция АВ на градовые процессы - «ускорение осадкообразования», предусматривает обработку (засев реагентом) потенциально градоопасных конвективных ячеек на ранних стадиях их развития. В совокупности с применением в последние десятилетия реагентов с более высокой кинетикой образования ледяной фазы на основе йодистого серебра в переохлажденной облачной среде, можно ожидать трансформацию осадкообразующей способности засеваемых реагентами облаков [7]. В этой связи безусловный научный и практический интерес представляют оценки фактического изменения режима осадков в районах многолетних противоградовых работ.

В настоящей работе представлены оценки по изменению режима осадков в центральной части Молдовы на основе исторических данных осадкомерной сети Службы Гидрометео РМ. Результаты исследования базируются на статистической обработке с помощью MS Excel летних и осенних сумм осадков (май – август, сентябрь - октябрь месяцы) по данным следующих метеостанций (м/с):

1. м/с Корнешты – годы наблюдений 1946 – 2014 гг. Находится в центре района противоградовых работ в РМ с самого начала их организации. В среднем количество дней с осадками за летний период - 49, в осенний – 16.

2. м/с Унгены – годы наблюдений 1954 – 2014 гг. Расположена на 23 км западнее м/с Корнешты непосредственно перед районом АВ (контрольная - фоновая территория). В среднем количество дней с осадками за летний период - 49, в осенний – 14.

3. м/с Фалешты – годы наблюдений 1958 – 2014 гг. Находится в зоне ЗТ 1978-1999, 2007-2014 гг.

4. м/с Оргеев – годы наблюдений 1949 - 2014 гг. (прилегающая территория). Расположена в 62 км восточнее м/с Корнешты непосредственно за границей районов АВ. В среднем количество дней с осадками за летний период - 50, в осенний – 20.

Направление по линии м/с Унгены - м/с Корнешты - м/с Оргеев – это преимущественный перенос засеянных реагентом на ЗТ градоопасных облаков Корнетского и соседних с ним противоградовых подразделений (рис.1).

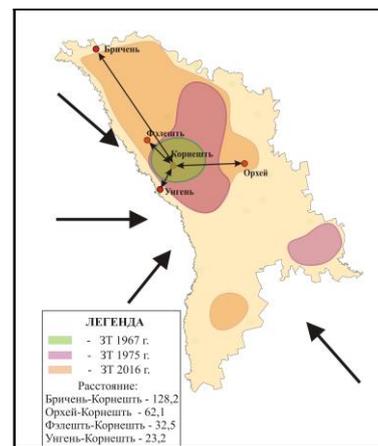


Рис.1. Расположение анализируемых м/с на территории Молдовы относительно районов противоградовой защиты. Стрелками указаны основные направления вторжения градоопасных (засеваемых реагентом) облаков

Авторы понимают сложность решения поставленной задачи и возможную критику в связи с малой плотностью анализируемой осадкомерной сети относительно характеристик пространственно-временной изменчивости осадков из конвективных облаков. Однако расположение м/с на территории ПГЗ и направления смещения обработанных реагентом облаков дает основание полагать реализацию поставленной задачи исследования.

II. КРАТКИЕ СВЕДЕНИЯ О ПРОТИВОГРАДОВЫХ РАБОТАХ В РЕСПУБЛИКЕ МОЛДОВА.

- Начало противоградовых работ – 1967 г. с центром в пос. Корнешты.
- В период 1967 – 1982 гг. в качестве реагента для засева облаков использовались преимущественно составы на основе PbI₂, с 1983 г – повсеместно составы на основе AgI.
- В 1967 г. площадь градозащиты составляла 100 тыс.га., в 1982 – 1430 тыс.га.
- В 1990г. – 2490 тыс.га., 2002г. - 480 тыс. га, в 2014 г. – 1486 тыс. га.
- В 2000г. противоградовые работы не проводились, возобновились с июля 2001г.
- Количество воздействий на территории, большая часть которой расположена между м/с Унгены и Корнешты, в среднем составляет 18-20 дней за сезон градозащиты.

Как следует из представленной информации, в отдельные периоды противоградовыми работами в РМ были охвачены более 50 - 60% ее территории (рис.1). Это не исключало влияния АВ на соседних территориях на режим осадков исследуемых м/с, при соответствующих смещениях засеянных реагентом Сб и воздушных масс.

III. ВРЕМЕННОЙ ХОД ЛЕТНИХ СУММ ОСАДКОВ, ИХ ТРЕНДЫ

Для оценки изменения режима осадков использовались ряды данных об их сезонных (летних) суммах и их тренды

– коэффициент α (мм/сезон) из соответствующих уравнений регрессии за указанные выше годы. Такой подход является распространенной и важной формой изучения метеорологических явлений, дающий представление об изменении их качественных и количественных характеристик во времени (рис. 2, табл. 1).

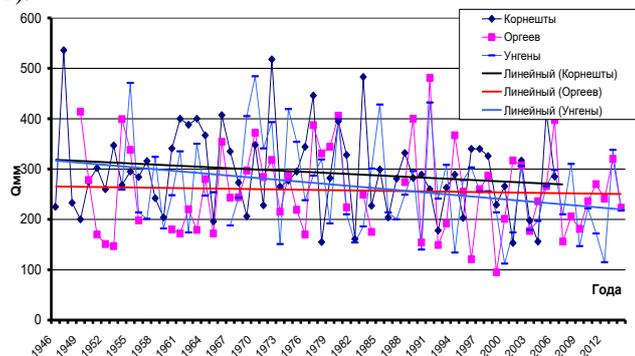


Рис.2. Временной ход летних сумм осадков и их тренды (линейные) для м/с Корнешты, Унгены, Оргеев за весь период наблюдений.

Анализ временного хода летних сумм осадков и коэффициентов α (трендов) показал:

Табл. 1. Значения коэффициентов α (мм/сезон) из уравнений регрессии летних сумм осадков на м/с за различные периоды измерений.

М/с	Значения α (мм/сезон)		
	За весь период наблюдений	За весь период АВ (1967-2014гг.г.)	За период АВ 1983-2014 гг.
Фалешты	0,2758	- 0,0388	- 0,7078
Унгены	- 1,4238	- 2,082	- 2,0235
Оргеев	- 0,2205	- 0,2445	- 0,4785
Корнешты	- 0,5646	- 1,3623	- 1,9183

■ В рядах сумм осадков фиксируется большая временная вариация: до 2,0-2,5 раз в цикле два-четыре года.

■ Независимо от расположения м/с относительно района противоработ, за исключением м/с Фалешты, за 60-летний период отмечено устойчивое снижение летних сумм осадков. Наибольшее из них - на м/с Унгены $\alpha = -1,42$ мм/сезон, наименьшее – для м/с Оргеев $\alpha = -0,22$ мм/сезон.

■ За все годы проведения АВ (1967-2014 гг.) для всех м/с тренды $\alpha < 0$. Наибольшая тенденция снижения летних сумм осадков в этот период установлена для м/с Унгены: $\alpha = -2,08$, на ЗТ- для м/с Корнешты: $\alpha = -1,36$.

■ За период 1983 – 2014 г.г.(использование при АВ AgI) отмечается усиление тенденции снижения летних

сумм осадков в сравнении с периодом АВ до 1983г. для м/с, находящихся на ЗТ: м/с Корнешты $\alpha = -1,91$ ($\Delta\alpha = -0,556$), м/с Фалешты $\alpha = -0,7078$ ($\Delta\alpha = -0,669$), в то время как для м/с Унгены (фоновая м/с) значение тренда практически не изменилось.

■ За 1983-2014 гг. также прослеживается тенденция к снижению осадков по данным м/с Оргеев ($\Delta\alpha = -0,234$) (табл. 1).

На высокую степень взаимосвязи между летними суммами осадков на м/с, расположенных на ЗТ, и осадками, фиксируемыми на «фоновой» м/с, указывает «сильная» корреляция между ними независимо от периода их измерений. Так значение квадрата смешанной корреляции (R^2) для м/с Корнешты – Унгены: до АВ $R^2 = 0,63$, в период АВ $R^2 = 0,68$; для м/с Корнешты – Фалешты $R^2 = 0,45$ и $0,47$, в то время как у м/с Корнешты–Оргеев R^2 соответственно $0,08$ и $0,23$.

В таблице 2 приведены значения основных статистических характеристик рядов летних сумм осадков исследуемых метеостанций.

Табл. 2. Статистические характеристики летних сумм осадков за периоды их измерений.

Статистические характеристики	Наименование метеостанции			
	Фалешты	Унгены	Оргеев	Корнешты
$Q_{ср}, мм$	273	260	247	294
$Q_{max}, мм$	491	484	484	536
$Q_{min}, мм$	107	109	95	95
$\sigma, мм$	84,5	91,5	84,8	96,6
Коэффициент вариации (v)	0,31	0,35	0,34	0,33

В среднем наибольшее количество осадков за летний период выпадает на м/с Корнешты – 294 мм, наименьшее на м/с Оргеев -247 мм. Коэффициент вариации (v) – показатель степени однородности в рядах измерений для м/с Фалешты и Корнешты $v \leq 0,33$, т.е. ряды сумм осадков однородны, для м/с вне зоны градозащиты неоднородны: $v > 0,33$.

При изучении особенностей изменения летних сумм осадков ($Q_i/Q_{ср}$) за весь период измерений были выявлены элементы периодичности в проявлении максимальных и минимальных значений. Наличие таких структур в рядах количества осадков подтверждается при анализе их автокорреляционных функций второго порядка (рис.3). Автокорреляция (АК) — статистическая взаимосвязь между случайными величинами из одного ряда, взятых со сдвигом, например, по времени. Если максимальным оказался коэффициент АК второго и т.д. порядка, то ряд содержит циклические колебания с периодичностью во времени. Это позволяет устанавливать предполагаемый период изменчивости. Если ни один из коэффициентов АК не окажется значимым, т.е. близким к нулю, то данный

временной ряд не содержит трендовой и циклической компоненты.

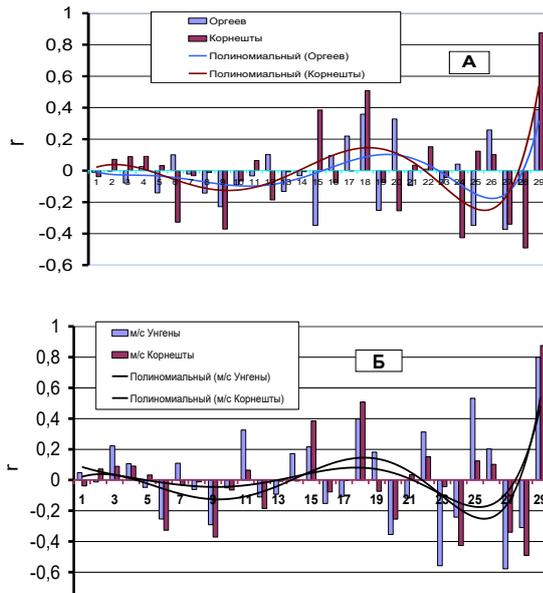


Рис.3. Автокорреляционные функции второго порядка временных рядов летних сумм осадков м/с Корнешты-Оргеев (А) и Корнешты-Унгены (Б). (По оси Х – величина сдвига (лаг) между рядами наблюдений при расчете коэффициентов АК, по оси У – значения коэффициентов автокорреляции)

Однако на основании приведенных в разделе данных и их анализа однозначных выводов о каком-либо влиянии АВ на изменение режима летних сумм осадков на м/с сделать нельзя.

IV. СТАТИСТИЧЕСКАЯ ПРОВЕРКА ГИПОТЕЗЫ О ВОЗМОЖНОМ ВЛИЯНИИ АВ

Для статистической проверки гипотезы о возможном изменении количества летних осадков в районе активных воздействий на градовые процессы проведены оценки рядов сумм осадков на м/с с помощью t-теста (критерий Стьюдента) и F-критерия (критерий Фишера). Гипотеза об изменении статистических характеристик рядов осадков в период проведения противоградовых работ может быть принята при наличии таких изменений в сравнении с периодом до начала работ по градозащите с вероятностью $P \geq 95\%$ (уровень статистической значимости 0,05).

Для оценки количественных изменений сумм осадков под влиянием АВ применялся так называемый метод двойных соотношений (c^{\parallel}) часто используемый при подобных исследованиях (формула 1) [7].

$$\left(\frac{\bar{Q}_{\text{сд}}}{Q_{\text{эд}}} \right)_{\text{АА}} / \left(\frac{\bar{Q}_{\text{сд}}}{Q_{\text{эд}}} \right)_{\text{аиАА}} \quad (1)$$

Метод предусматривает сравнение отношений средних сумм осадков на ЗТ и ПТ в период проведения активных воздействий с периодом до их проведения.

Табл. 3. Оценки изменений в рядах количества осадков с помощью t – теста (для независимых выборок)

М/С	Длина выборки (количество лет до и в период АВ)	Вычисленные значения t- теста	Табличное значение t- теста для P=95%	Реализация нулевой гипотезы (H_0)
Фалешты	20/37	0,688	1,959	H_0 принимается
Унгены	14/47	0,623	1,959	H_0 принимается
Оргеев	19/47	0,154	1,959	H_0 принимается
Корнешты	22/47	0,979	1,959	H_0 принимается

Нулевая гипотеза (H_0) считается принятой, если в рядах измерений статистически значимых изменений не установлено.

В соответствии с данными табл.3 можно утверждать, что на всех м/с в период проведения противоградовых работ в сравнении с периодом до АВ статистически значимых изменений в рядах летних сумм осадков, определяемых с помощью t- теста, не установлено.

Табл. 4. Значения F – критерия для рядов летних сумм осадков м/с расположенных на защищаемых от града и прилегающих к ним территориях

М/с	F – критерий		
	F - расчетное	F (табличное)	
		Для P = 95%	Для P = 50%
Фалешты	1,046	1,84	0,98
Унгены	1,173	2,64	1,05
Оргеев	1,324	1,88	0,97
Корнешты	2,105	1,84	0,97

Расчеты F – критерия (табл. 4) указывают на то, что статистически значимые изменения ($P=95\%$) в рядах летних сумм осадков в период АВ выявлены только для м/с Корнешты .

Оценка изменения количества выпавших осадков в разные периоды ПГЗ на м/с Корнешты в сравнении с осадками на м/с Унгены показала, что если до начала работ по противоградовой защите средняя разница $\Delta Q = Q_{\text{корнешты}} - Q_{\text{унгены}} = 20$ мм ($Q_{\text{корнешты}}$ и $Q_{\text{унгены}}$ - средние значения осенних сумм осадков на м/с Корнешты и Унгены), то в период 1967 – 1990 гг. $\Delta Q = 32$ мм, за 1991 –

2014 гг. $\Delta Q = 40$ мм. Из уравнения регрессии $y = 1,1826x + 23,80$ для ΔQ в период 1991-2014 гг. следует, что $\alpha > 0$ и его значение существенно превышает разность трендов из уравнений регрессии для м/с Корнешты-Унгены. Это может говорить о том, что на общий природный фон в этом районе накладывается источник стимулирующий увеличение осадков на м/с Корнешты по отношению к м/с Унгены.

Увеличение летних сумм осадков на м/с Корнешты относительно данных м/с Унгены в период ПГЗ подтверждается и при расчетах с использованием метода двойных соотношений (c^{\parallel}) (формула 1). Для м/с Корнешты-Унгены в среднем $c^{\parallel} = 1,054$, м/с Оргеев-Унгены $c^{\parallel} = 1,131$. Это означает, что на м/с расположенной в центре защищаемой от града территории (м/с Корнешты), в сравнении с «фоновой» (м/с Унгены), увеличение летних сумм осадков за весь период АВ составило 5,4%. На м/с Оргеев - подветренная сторона к району ПГЗ, прибавка в летних суммах осадков составила 13,1%.

Рассматривая значения c^{\parallel} дифференцированно относительно периодов реализации в Молдавии разных физических концепций АВ на градовые процессы, установлено, что для периода 1967-1990гг. (концепция «конкуренции») с учетом статистической ошибки (σ/\sqrt{n}) $c^{\parallel} = 2,4 \pm 0,04$ %, для 1991- 2014 гг. (концепция «ускорение осадкообразования») $c^{\parallel} = 7,0 \pm 0,05$ %.

Таким образом, статистический анализ летних сумм осадков с помощью F – критерия показал, что только для м/с Корнешты нулевая гипотеза с вероятностью более 95% может быть отклонена, т.е. выявлены статистически значимые изменения за весь период их измерения. Наличие «дополнительного» источника, влияющего на формирование спектра сумм осадков на м/с Корнешты в период противогорадовых работ, косвенно подтверждается особенностями вероятности распределения сумм осадков, в сравнении с м/с Унгены - наличие второй моды в области больших значений сумм осадков для м/с Корнешты (рисунок по тексту не приводится).

В рядах количества осадков для всех м/с статистически значимых изменений, определяемых с помощью t – теста для независимых выборок не выявлено.

Сравнительный анализ с помощью «метода двойных соотношений» летних сумм осадков на м/с Фалешты (ЗТ) с данными м/с Унгены показал, что прибавка в осадках на м/с Фалешты составляет 9,0%

V. ОЦЕНКА «ПОСЛЕДЕЙСТВИЯ» ПРОТИВОГРАДОВЫХ РАБОТ НА РЕЖИМ ОСАДКОВ ОСЕННЕГО ПЕРИОДА

Для оценки возможного «последствия» масштабных работ по АВ с применением кристаллизующих реагентов были исследованы особенности режимов осадков в сентябре, октябре и ноябре месяцах, т.е. последующий период после завершения сезона противогорадовой защиты. По многолетним данным в сентябре, особенно в первых числах месяца, в течение 1-2 дней, возможно развитие мощных Сб, на которые необходимо проводить

воздействие в целях подавления града. При наличии эффекта «последствия» по оценкам E. Bigg [5] в районе засева облаков реагентами на основе йодистого серебра в последующее время происходит изменение режима осадков в сторону их увеличения, в сравнении с периодом до АВ.

С 1953-1966 гг., т.е. до начала противогорадовой защиты в РМ среднее значение за сентябрь-октябрь месяцы $\Delta Q = -7,1$ мм, за 1967-1990 гг. $\Delta Q = 16,5$ мм, за 1991-2014 гг. $\Delta Q = 28,3$ мм. Здесь $\Delta Q = Q_{\text{Корнешты}} - Q_{\text{Унгены}}$. Очевидно существенное увеличение осадков на м/с Корнешты в сравнении с данными м/с Унгены.

На рис.4 представлены линии трендов для ΔQ и их уравнения регрессии по месяцам (сентябрь, октябрь, ноябрь). Наибольшее значение коэффициента α мм/месяц составляет 0,45 для сентября, наименьшее $\alpha = 0,12$ мм/месяц в ноябре. Увеличение значений ΔQ в период АВ по отношению к периоду до начала АВ, установленная особенность распределения α по месяцам относительно времени окончания противогорадовых работ (август) дают основание утверждать, что эти работы стимулируют осадкообразующие процессы после сезонов АВ. Обращает на себя внимание также установленный при анализе распределений сумм осадков факт, что в годы ПГЗ осенние значения $\Delta Q < 0$ редки, в сравнении с ΔQ до проведения активных воздействий.

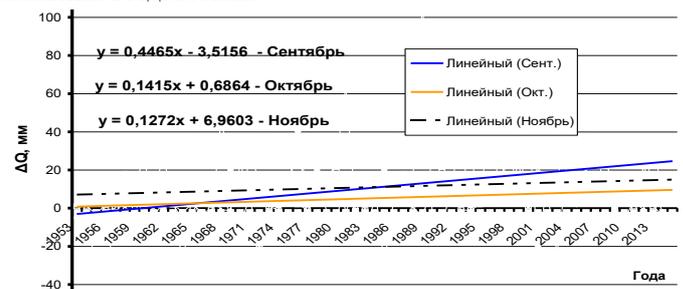


Рис. 4. Линии трендов ΔQ мм и их уравнения регрессии в осенние месяцы для м/с Корнешты-Унгены за 1953-2014 гг.

Для уточнения полученного результата наличия «последствия» ПГЗ на режим осенних сумм осадков исследованы особенности изменения во времени ΔQ_i мм/сезон для м/с Фалешты-Унгены. До включения м/с Фалешты в зону градозащиты (1978 г), средняя $\Delta Q = -7,0$ мм, в период 1978-1999 гг. (нахождение м/с Фалешты в районе АВ) средняя $\Delta Q = 13,9$ мм. Одинаковые тенденции ΔQ_i по отношению к началу работ по АВ и в период их проведения для м/с Корнешты и Фалешты также подтверждают, что ПГЗ влияет на изменение осенних сумм осадков (сентябрь, октябрь) в сторону их увеличения.

Значения двойных соотношений осенних сумм осадков (сентябрь-октябрь) для м/с Корнешты-Унгены и м/с Фалешты-Унгены соответственно равны 1,33 (33%) и 1,31 (31%). Для м/с Оргеев-Унгены $c^{\parallel} = 1,2$ (20%). Это означает, что «последствие» противогорадовых работ приводит к увеличению количества осадков и на подветренных к

району АВ территориях, что согласуется с данными исследований изложенных в [5].

Проверка рядов осенних сумм осадков с помощью t-теста и F-критерия значимых изменений не установила.

VI. Выводы

Сравнительный анализ статистических данных об осадках в летние периоды на метеорологических станциях на защищаемых от града и прилегающих к ним территориях (контрольные территории) показал:

1. На всех м/с, независимо от их расположения относительно района противоградовых работ, за исключением м/с Фалешты, за 60-летний период отмечен устойчивый тренд снижения летних сумм осадков.

2. В историческом плане изменение летних сумм осадков носит выраженный квазипериодический характер с периодом около 30 лет.

3. В период работ по АВ на градовые процессы на м/с, расположенных на ЗТ, наблюдается увеличение отрицательных значений трендов летних сумм осадков, особенно в период 1983-2014 гг., т.е. в период применения йодистого серебра. На контрольных территориях за этот период изменения величин трендов незначительны.

4. Выявлена высокая корреляционная связь между количествами летних сумм осадков м/с, расположенных на защищаемой от града территориях, с м/с Унгены (наветренная к району градозащиты территория) независимо от периода измерения осадков. Это может указывать о приоритете единых природных источников (механизмов) их формирования.

5. Различия в трендах летних сумм осадков на м/с ЗТ и КТ до начала противоградовых работ и в период их проведения выразились в увеличении летних сумм осадков за период АВ на м/с Корнешты и Фалешты на 5,4 % и 9,0% по отношению к м/с Унгены. В сравнении с м/с Оргеев-Унгены - соответственно 13,1%.

6. Статистическая проверка с помощью критерия Фишера гипотезы об изменениях характеристик летних

сумм осадков показала, что значимые изменения в рядах летних сумм осадков выявлены только для м/с Корнешты . 7. На метеостанциях, расположенных на ЗТ, в осенний период отмечается увеличение сумм осадков относительно фоновой м/с на 33 %. На м/с находящейся на подветренной стороне к району АВ, увеличение осенних сумм осадков за весь период наблюдений составило 20%.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Абшаев А.М., Абшаев М.Т., Бареева М.В., Малкарова А.М. Руководство по организации и проведению противоградовых работ. - Нальчик, Из-во «Печатный двор», 2014.– 502 с.
- [2] Соколова Т.А. О влиянии противоградовых работ на распределение осадков по территории Ставропольского края. - asf.ural.ru/VNKSF/Tezis/v22/VNKSF-22-14.pdf
- [3] Абшаев М.Т., Малкарова А.М., Баранова Н.А. О тенденции изменения режима осадков и частоты опасных явлений погоды на Северном Кавказе. – Нальчик, Из-во «Печатный двор», Труды ВГИ, Вып. 94, 2011. - С. 62-70.
- [4] Потапов Е.И. - Влияние долговременных работ по активным воздействиям на градовые процессы в Республике Молдова на содержание компонентов кристаллизующих реагентов в объектах природной среды и характеристики ледяных ядер.//Вопросы физики облаков. Атмосферные аэрозоли, активные воздействия. Сборник статей памяти Н.О. Плауде. – Обнинск: ФГБУ «ВНИИГМИ-МЦД», 2015. – С. 281– 303.
- [5] Bigg E.K. Unexpected effects of cloud-seeding with silver iodide. – J. of Weather Modification, 1985, v. 17, Nr.1, pp. 7-14.
- [6] Диневич Л.А., Диневич С.Е., Леонов М.П., Серегин Ю.А., Берюлев Г.П. Изменение осадков противоградовой защитой. – Иерусалим, 1998. - 296с.
- [7] Потапов Е.И., Гараба И.А. Технологические особенности активного воздействия на гра-довые процессы в Республике Молдова. - Москва, ФГБУ НИЦ «Планета». «Метеорология и Гидрология», 2016, №4. – С.54 – 63.