

УДК 551.5; 58.032.3

**СЕЗОННАЯ И ГОДОВАЯ ДИНАМИКА ГИДРОТЕРМИЧЕСКИХ УСЛОВИЙ
В ВОСТОЧНОЙ ПРИРОДНО-СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОЙ ЗОНЕ
РОСТОВСКОЙ ОБЛАСТИ В 1961-2020 ГГ.**

© 2023 г. В.Н. Гудко, А.В. Усатов, К.В. Азарин

*Академия биологии и биотехнологии им. Д.И. Ивановского Южного федерального университета
Россия, 344090, г. Ростов-на-Дону, просп. Стачки, д. 194/1. E-mail: Gudko.1985@mail.ru*

Поступила в редакцию 10.11.2022. После доработки 18.01.2023. Принята к публикации 19.01.2023.

На основании данных метеорологической станции Ремонтное, расположенной в Восточной природно-сельскохозяйственной зоне Ростовской области, за период 1961-2020 гг. оценивается сезонная и годовая динамика средней температуры, количества осадков, а также динамика гидротермических условий, выраженных индексом аридности де Мартона. В период исследования отмечен значимый тренд увеличения среднегодовой температуры и тенденция роста годового количества осадков. Значимый тренд увеличения среднесезонной температуры отмечен для всех сезонов, за исключением осеннего, когда наблюдалась положительная тенденция. Тенденция снижения количества осадков отмечена в летний сезон. В остальные сезоны тенденции осадков положительны. Годовой режим гидротермических условий в 75% случаев характеризовался как умеренно и слегка засушливый. Умеренно засушливые условия также доминировали в весенний (43% случаев), летний (55% случаев) и осенний (47% случаев) сезоны. Сезонные изменения температурного режима и количества осадков в исследуемый период привели к смещению характера гидротермических условий. В зимний и летний сезоны отмечена тенденция смещения режима гидротермических условий к более засушливому, а в весенний и осенний сезоны, напротив, к более влажному. В годовом интервале на фоне увеличения количества осадков отмечено смещение режима гидротермических условий к более влажному. Таким образом, на основании рассчитанных годовых тенденций можно заключить, что для метеостанции Ремонтное в период 1961-2020 гг. характерно гумидное потепление.

Ключевые слова: температура воздуха, количество осадков, гидротермические условия, индекс аридности де Мартона, Ростовская область, гумидное потепление.

DOI: 10.24412/1993-3916-2023-2-29-35

EDN: OSFPEN

Гидротермические условия, определяемые как соотношение тепла и влаги, являются значимым фактором природной среды, определяющим состояние и развитие наземных экосистем. Восточная природно-сельскохозяйственная зона (ПСЗ) Ростовской области включает пять административных районов (Дубовский, Заветинский, Зимовниковский, Орловский и Ремонтненский) и характеризуется как зона с наиболее неблагоприятными, с точки зрения режима увлажнения, гидротермическими условиями в регионе. При этом крайние восточные районы зоны, Заветинский и Ремонтненский, оцениваются как среднеаридные, а остальные районы – как умеренно аридные (Абдуллаева, Безуглова, 2016). Однако для метеорологической станции Ремонтное, расположенной в Восточной ПСЗ, мы также отметили тенденцию к смещению режима гидротермических условий к более влажному (Гудко и др., 2021). Тем не менее, исследования показывают, что территории Восточной ПСЗ в последние десятилетия наиболее подвержены деградиационным процессам, и в условиях дальнейшего интенсивного роста температур и снижения увлажнения угроза опустынивания здесь достаточно высока (Безуглова и др., 2020). Ввиду этого всесторонняя оценка изменений гидротермических условий в Восточной ПСЗ крайне важна. Поэтому в настоящем исследовании, на основании данных метеорологической станции Ремонтное, оцениваются сезонная и годовая динамика температурного режима, режима выпадения осадков, а также динамика гидротермических условий, что также дополнит представление о климатических изменениях в Восточной ПСЗ Ростовской области.

Объекты и методы исследования

В исследовании использованы наборы суточных климатических данных средней температуры воздуха и количества осадков по метеорологической станции Ремонтное за период 1961-2020 гг., полученные из Всемирного центра данных Российского исследовательского института гидрометеорологической информации (Булыгина и др., 2022). Для оценки сезонных климатических изменений для каждого года периода исследования были рассчитаны средние значения температур и сумм осадков в зимний (декабрь предыдущего года – февраль), весенний (март-май), летний (июнь-август) и осенний (сентябрь-ноябрь) сезоны. Гидротермические условия (сочетание тепла и влаги) для каждого сезона оценивались количественным методом. Отметим, что выбор оптимального количественного метода для оценки гидротермических условий неоднозначен, т.к. в зависимости от используемого показателя конечный результат при прочих равных условиях может различаться (Шумова, 2021). В исследованиях в качестве количественной оценки гидротермических условий наиболее часто используют гидротермический коэффициент Селянинова. Однако он не позволяет оценить гидротермические условия каждого сезона, т.к. при его расчете учитывается период со среднесуточными температурами воздуха выше 10°C. Поэтому в настоящем исследовании для оценки гидротермических условий мы использовали общепринятый количественный показатель индекс аридности де Мартона (I_{DM} ; De Martonne, 1926). Использование данного показателя позволяет оценить гидротермические условия как за годовой, так и за сезонный интервал, и, аналогично гидротермическому коэффициенту Селянинова, при его расчете достаточно располагать информацией о температуре воздуха и осадках (Vlăduț, Licurici, 2020). Индекс I_{DM} за годовой период определяется по соотношению:

$$I_{DM} = \frac{P}{T+10} \quad (1),$$

где I_{DM} – индекс аридности де Мартона, P – годовая сумма осадков в мм, T – среднегодовая температура воздуха в °C. Индекс I_{DM} за сезон определяется по соотношению (Andrade, Corte-Real, 2016):

$$I_{DM} = \frac{4 \cdot P_s}{T_s+10} \quad (2),$$

где P_s – количество осадков за сезон в мм, T_s – средняя температура сезона в °C. Для годовых и сезонных значений температуры, осадков и индекса I_{DM} в 1961-2020 гг. были также проанализированы временные тенденции. Анализ тенденций проводили с помощью непараметрического критерия Манна-Кенделла при статистическом уровне значимости 95% ($\alpha < 0.05$; Mann, 1965). Величину изменения во временном ряду определяли с помощью критерия наклона Сена. Анализ тенденций также позволит определить сезоны, климатические изменения в которых наиболее выражены.

Результаты и обсуждение

Среднесезонная и среднегодовая температура воздуха. В период 1961-2020 гг. отмечен значимый тренд увеличения среднегодовой температуры со скоростью роста 0.34°C/десятилетие (рис. 1 Е). Значимый тренд увеличения средней температуры воздуха отмечался для зимнего, весеннего и летнего сезонов со скоростью роста 0.48, 0.26 и 0.41°C/десятилетие соответственно (рис. 1 А-С). Средняя температура осенью имела незначимую тенденцию увеличения со скоростью роста 0.19°C/десятилетие. Таким образом, наиболее интенсивный рост средней температуры в 1961-2020 гг. отмечен в зимний сезон.

В период исследования среднемноголетнее значение температуры в зимний сезон составило -3.5°C при диапазоне изменения в пределах от -9.1 до +1.0°C (среднеквадратичное отклонение $\sigma = 2.3^\circ\text{C}$). Среднемноголетнее значение в весенний сезон составило 9.6°C при диапазоне изменения в пределах от 5.5 до 11.7°C (среднеквадратичное отклонение $\sigma = 1.3^\circ\text{C}$); в летний сезон составило 23.5°C при диапазоне от 20.5 до 26.4°C ($\sigma = 1.4^\circ\text{C}$); в осенний сезон составило 9.7 °C при диапазоне от 5.1 до 12.1°C ($\sigma = 1.4^\circ\text{C}$). Среднемноголетнее значение среднегодовой температуры составило 9.8°C при диапазоне изменения в пределах от 7.2 до 11.6°C ($\sigma = 1.0^\circ\text{C}$). Примечательно, что максимальные значения средней температуры наблюдались в период 2010-2020 гг. Например, максимальные значение среднегодовой температуры, как и средней температуры в летний и осенний

сезон, наблюдались в 2010 г. и составили 11.6, 26.4 и 12.1°C соответственно (рис. 1 С-Е). При этом минимальные значения температур отмечались преимущественно до 2000 года.

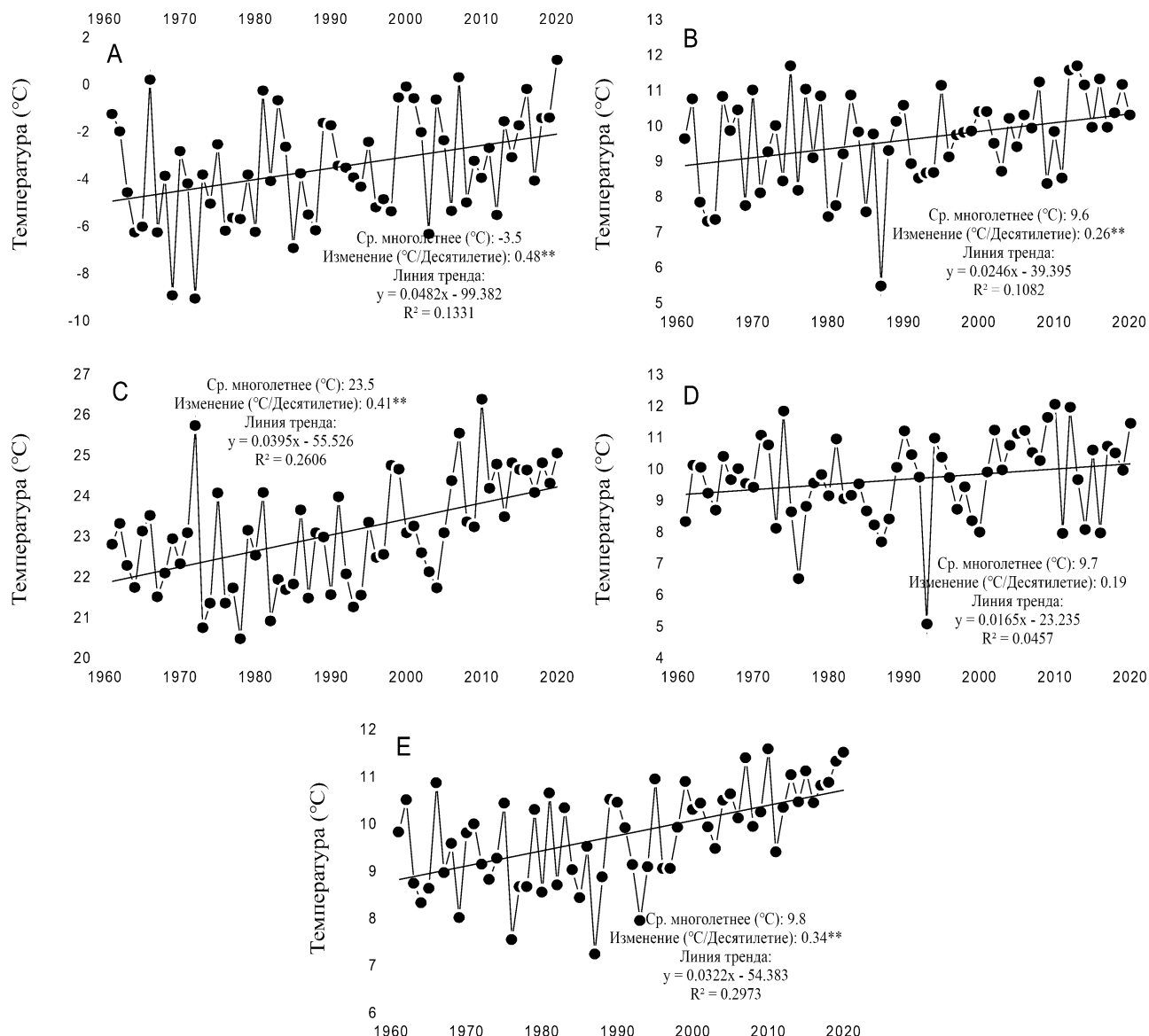


Рис. 1. Сезонная и годовая динамика средней температуры по метеорологической станции Ремонтное в 1961-2020 гг. *Условные обозначения:* А – зима (декабрь-февраль), В – весна (март-апрель), С – лето (июнь-август), Д – осень (сентябрь-ноябрь), Е – годовые значения, ** – отмечены изменения при статистическом уровне значимости $\alpha = 0.01$.

Сезонное и годовое количество осадков. В период 1961-2020 гг. каких-либо значимых изменений в количестве осадков по всем сезонам не отмечено, за исключением осени, когда наблюдался небольшой достоверный тренд повышения выпадения осадков со значимым коэффициентом корреляции ($r = 0.22$, $\alpha = 0.10$). Поэтому в годовом интервале отмечена незначимая тенденция увеличения количества осадков со скоростью роста 6.2 мм/десятилетие (рис. 2 Е). При этом годовое количество осадков варьировало в пределах от 189.5 до 632.4 мм ($\sigma = 90.1$ мм), а среднемноголетнее значение составило 408.2 мм. Сезонная динамика числа осадков в 1961-2020 гг. была разнонаправлена. Так, в летний сезон отмечена тенденция снижения осадков на -3.8 мм/десятилетие (рис. 2 С). Осадки в зимний сезон росли на 2.4 мм/десятилетие (рис. 2 А), а рост осадков в весенний и осенний сезоны наиболее выражен и составил 5.2 и 5.1 мм/десятилетие соответственно

(рис. 2 В, D). Наибольшее среднееголетнее количество осадков в 125.6 мм наблюдалось в летний сезон, что составляет около 31% от общего числа осадков за год. При этом размах значений в этот период варьировал от 38.5 до 278.1 мм ($\sigma = 54.7$ мм). Наименьшее среднееголетнее число осадков в 86.8 мм (21% от общего числа осадков за год) отмечено в зимний сезон, и их количество колебалось в пределах от 40 до 178.8 мм ($\sigma = 27.2$ мм). Среднееголетнее количество осадков в весенний сезон составило 104.4 мм при диапазоне изменения в пределах от 26.6 до 220.1 мм ($\sigma = 54.7$ мм), а в осенний сезон – 91.4 мм при диапазоне изменения в пределах от 9.0 до 243.3 мм ($\sigma = 42.1$ мм). За период исследования минимальное сезонное количество осадков в 9 мм наблюдалось осенью в 1982 г., а максимальное – в 278.1 мм весной в 1973 г.

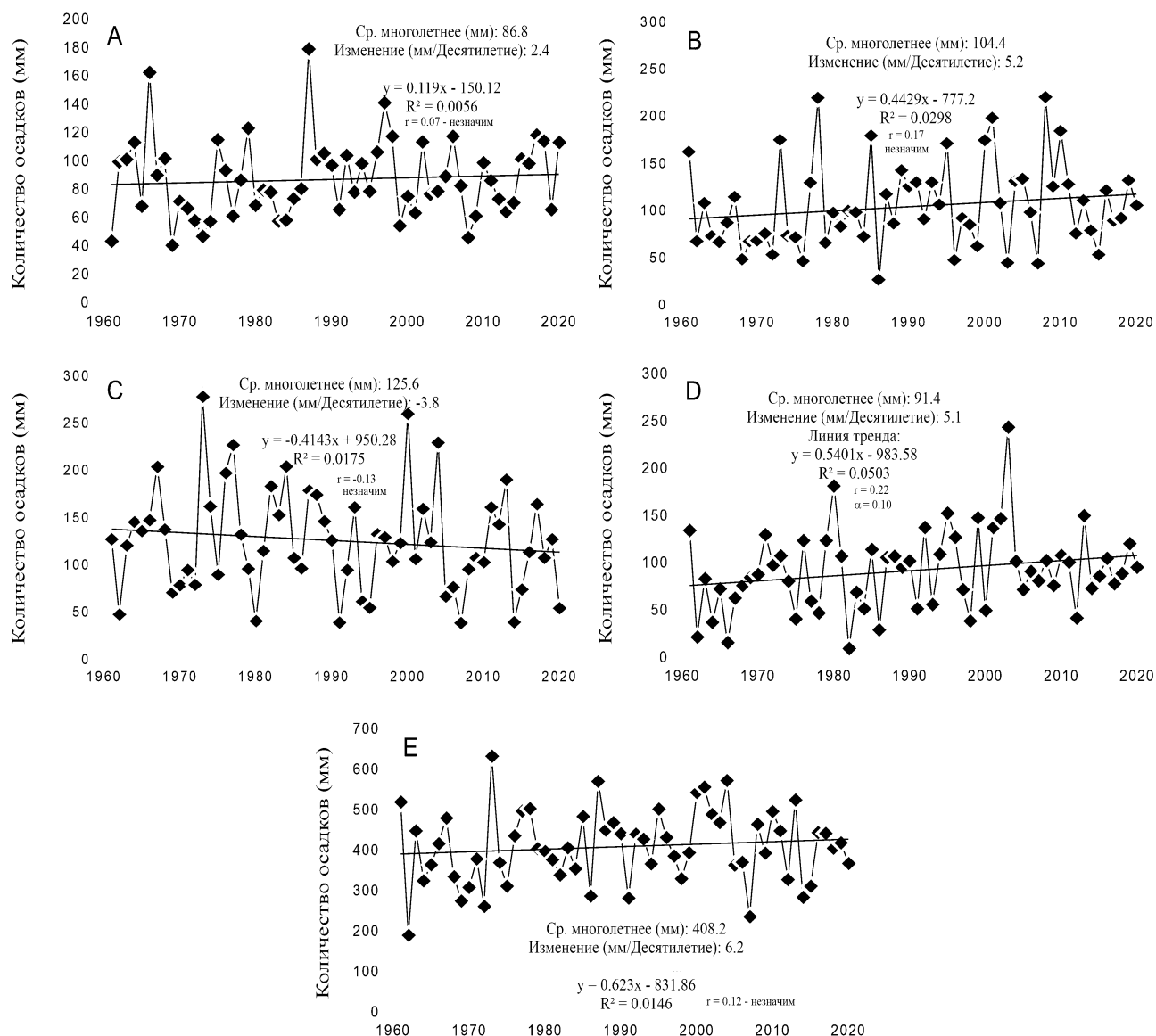


Рис. 2 Сезонная и годовая динамика количества осадков по метеорологической станции Ремонтное в 1961-2020 гг. Условные обозначения: А – зима (декабрь-февраль), В – весна (март-апрель), С – лето (июнь-август), D – осень (сентябрь-ноябрь), E – годовые значения.

Сезонная и годовая динамика индекса аридности де Мартона. Сезонная динамика индекса I_{DM} в период 1961-2020 гг. имела разнонаправленный характер (рис. 3). При этом наиболее заметное изменение гидротермических условий отмечено в зимний сезон, а величина индекса I_{DM} в этот период снижалась со скоростью -3.896 ед./десятилетие (рис. 3 А). Аналогичная негативная динамика

наблюдалась также в летний сезон, когда величина индекса I_{DM} снижалась на -0.644 ед./десятилетие (рис. 3 С). Полученные тенденции свидетельствуют о смещении гидротермических условий в зимний и летний сезон к более засушливым. Для весеннего и осеннего сезонов, напротив, отмечена тенденция увеличения индекса I_{DM} , а скорость изменения составила 0.735 и 0.939 ед./десятилетие соответственно, что говорит о смещении режима гидротермических условий к более влажному (рис. 3 В, D). Примечательно, что на фоне разнонаправленной сезонной динамики тест Манна-Кендалла индекса I_{DM} на годовом интервале, тем не менее, показал наличие положительной тенденции (рис. 3 Е). При этом скорость изменения индекса I_{DM} в данный период невелика и составила всего 0.004 ед./десятилетие, что в целом также свидетельствует о гумидном потеплении в период 1961-2020 гг. и медленном смещении режима гидротермических условий к более влажному.

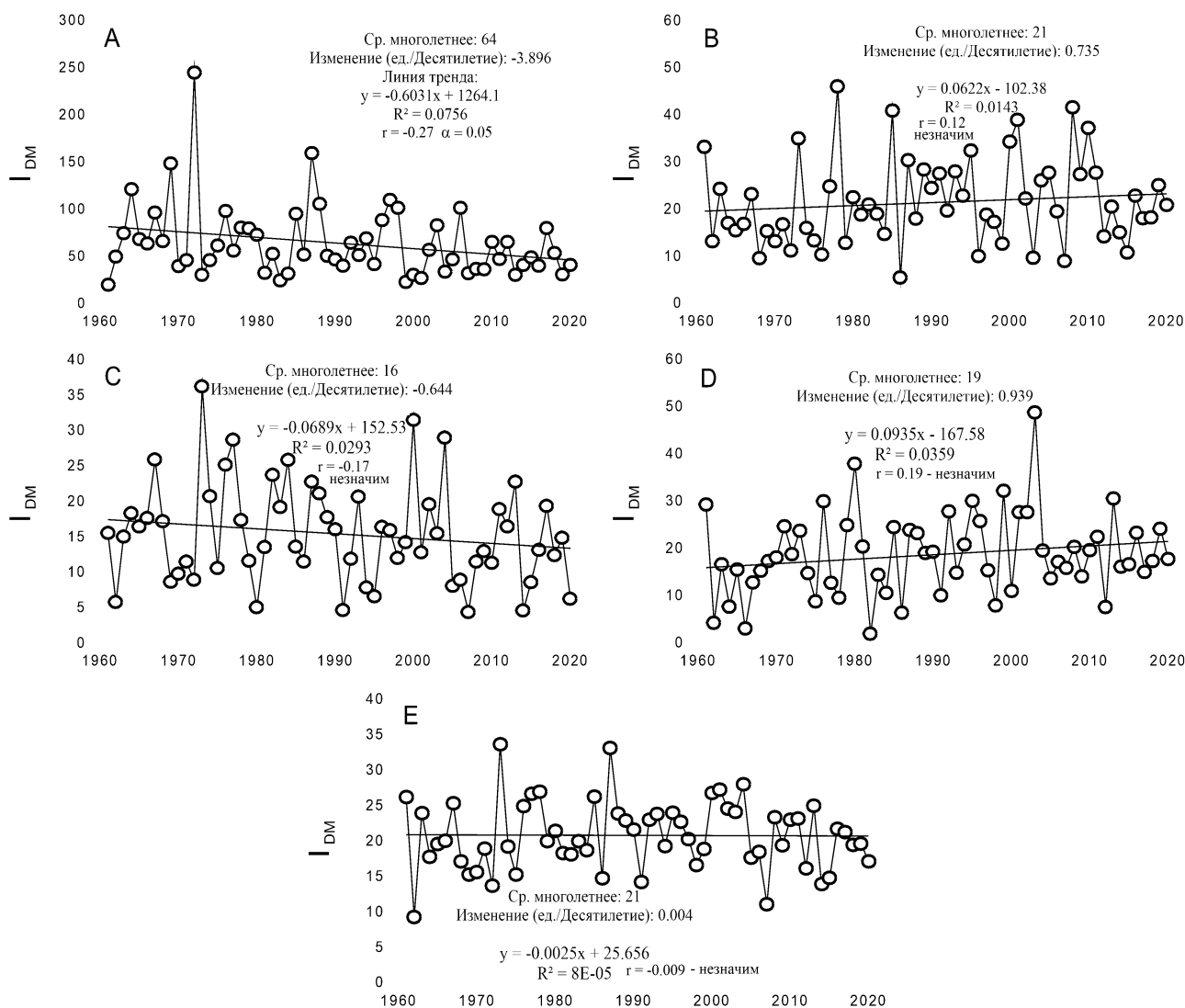


Рис. 3 Сезонная и годовая динамика индекса аридности де Мартона (I_{DM}) по метеорологической станции Ремонтное в 1961-2020 гг. *Условные обозначения:* А – зима (декабрь-февраль), В – весна (март-апрель), С – лето (июнь-август), D – осень (сентябрь-ноябрь), Е – годовые значения.

Такой результат согласуется с результатами проведенного ранее исследования, в котором по метеорологической станции Ремонтное нами была также показана тенденция увеличения гидротермического коэффициента Селянинова, что также свидетельствует о гумидном потеплении (Гудко и др., 2021). Примечательно, что исследования по оценке изменений гидротермических условий в республике Калмыкия, которая непосредственно граничит с Восточной ПСЗ Ростовской

области, также показали наличие тенденций к гумидному потеплению в 1966-2017 гг. (Шумова, 2020, 2021).

В целом, согласно общепринятой классификации индекса аридности де Мартона (I_{DM}) (Andrade, Corte-Real, 2016; Vlăduț, Licurici, 2020), межгодовой характер гидротермических условий метеорологической станции Ремонтное в 1961-2020 гг. в большинстве (75% случаев) характеризовался как умеренно и слегка засушливый (табл.). В остальных 25% случаев отмечались умеренно влажные и влажные условия. Межгодовое значение индекса I_{DM} варьировало в пределах от 9 (полузасушливый) и до 34 (влажный; $\sigma = 4.9$), а среднемноголетнее значение составило 21 (слегка засушливый). Умеренно засушливые условия также доминировали в весенний, летний и осенний сезоны (43, 55 и 47% случаев соответственно).

Среднемноголетнее значение индекса I_{DM} составило: в весенний сезон 21 (слегка засушливый) при диапазоне изменения в пределах от 5 до 46 ($\sigma = 9.1$); в летний сезон 16 (умеренно засушливый) при диапазоне изменения в пределах от 4 до 36 ($\sigma = 7.0$); в осенний сезон 19 (умеренно засушливый) при диапазоне изменения в пределах от 2 до 49 ($\sigma = 8.6$). Наиболее влажные условия закономерно отмечены в зимний сезон: гидротермические условия в 47% случаев характеризовались как чрезмерно влажные. При этом значения индекса I_{DM} зимой варьировало в пределах от 20 до 244 ($\sigma = 38.1$), а среднемноголетнее значение индекса I_{DM} составило 64. За период 1961-2020 гг. наибольшее сезонное значение индекса $I_{DM} = 244$ отмечено в зимний сезон в 1972 г., когда наблюдалась наименьшая сезонная температура. Наименьшее сезонное значение индекса $I_{DM} = 2$ отмечено осенью в 1982 году, когда наблюдалось наименьшее за сезон количество выпавших осадков.

Таблица. Сезонный и годовой характер гидротермических условий метеорологической станции Ремонтное в период 1961-2020 гг. на основании значений индекса аридности де Мартона (I_{DM}).

Режим увлажнения	Значение I_{DM}	Зимний сезон	Весенний сезон	Летний сезон	Осенний сезон	Годовой
Полузасушливый	$I_{DM} < 10$	0%	8%	23%	15%	0%
Умеренно засушливый	$10 \leq I_{DM} < 20$	2%	43%	55%	47%	47%
Слегка засушливый	$20 \leq I_{DM} < 24$	2%	13%	10%	13%	28%
Умеренно влажный	$24 \leq I_{DM} < 28$	3%	17%	5%	13%	22%
Влажный	$28 \leq I_{DM} < 35$	13%	10%	5%	8%	3%
Очень влажный	$35 \leq I_{DM} < 55$	33%	8%	2%	3%	0%
Чрезмерно влажный	$I_{DM} > 55$	47%	0%	0%	0%	0%

Выводы

В период 1961-2020 гг. на метеорологической станции Ремонтное наблюдалось преимущественно значимое увеличение как среднесезонной, так и среднегодовой температуры соответственно. Незначимая тенденция снижения числа осадков за аналогичный период отмечалась только в летний сезон, а увеличение осадков в остальные сезоны определило их положительную (но незначительную и незначимую) годовую динамику. С использованием индекса аридности де Мартона показано, что для метеорологической станции Ремонтное в период 1961-2020 гг. в 75% случаев годовой режим гидротермических условий характеризовался как умеренно и слегка засушливый. Умеренно засушливые условия также доминировали в весенний (43% случаев), летний (55% случаев) и осенний (47% случаев) сезоны. Анализ тенденций показал, что сезонные изменения температурного режима и количества осадков в исследуемый период привели к смещению характера гидротермических условий. В зимний и летний сезоны, когда наблюдался наибольший рост средней температуры, а увеличение осадков было минимально или снижалось, отмечена тенденция смещения режима гидротермических условий к более засушливому. В весенний и осенний сезоны на фоне менее выраженного роста средней температуры, но более заметного увеличения осадков, режим гидротермических условий смещался к более влажному. На годовом интервале рост количества осадков, в целом, компенсирует увеличение температур. В результате в ходе анализа было показано

медленное смещение годового режима гидротермических условий к более влажному. Таким образом, на основании рассчитанных тенденций можно заключить, что в период 1961-2020 гг. на метеостанции Ремонтное отмечено гумидное потепление.

Финансирование. Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства науки и высшего образования Российской Федерации в рамках Государственного задания Минобрнауки России в области научной деятельности (№ 0852-2020-0029) «Фундаментальные основы агро- и экобиотехнологий для устойчивого функционирования естественных и антропогенных экосистем».

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Абдуллаева Р.З., Безуглова О.С.* 2016. Изменение климата как фактор опустынивания на юго-востоке Ростовской области. Природные и антропогенные изменения аридных экосистем и борьба с опустыниванием // Труды института геологии Дагестанского НЦ РАН. Вып. 67. С. 29-31.
- Безуглова О.С., Назаренко О.Г., Ильинская И.Н.* 2020. Динамика деградации земель в Ростовской области // Аридные экосистемы. Т. 26. № 2 (83). С. 10-15. [*Bezuglova O.S., Nazarenko O.G., Ilyinskaya I.N.* 2020. Land Degradation Dynamics in Rostov Oblast // *Arid Ecosystems*. Vol. 10. No. 2. P. 87-92.]
- Булыгина О.Н., Разуваев В.Н., Александрова Т.М.* 2022. «Описание массива данных суточной температуры воздуха и количества осадков на метеорологических станциях России и бывшего СССР (ТТТР)» Свидетельство о государственной регистрации базы данных № 2014620942 [Электронный ресурс <http://meteo.ru/data/162-temperature-precipitation#описание-массива-данных> (дата обращения 18.05.2022)].
- Гудко В.Н., Усатов А.В., Азарин К.В.* 2021. Анализ гидротермических условий в Ростовской области за период 1960-2019 гг. // Аридные экосистемы. Том 27. № 4 (89). С. 25-31. [*Gudko V.N., Usatov A.V., Azarin K.V.* 2021. Analysis of hydrothermal conditions in the Rostov Region in the Period 1960-2019 // *Arid Ecosystems*. Vol. 11. No. 3. P. 337-342.]
- Шумова Н.А.* 2020. Анализ климатических условий в Республике Калмыкия за 1966-2017 гг. // Аридные экосистемы. Т. 26. № 3 (84). С. 23-29. [*Shumova N.A.* 2020. Analysis of Climatic Conditions in the Republic of Kalmykia for 1966-2017 // *Arid Ecosystems*. Vol. 10. No. 3. P. 188-193.]
- Шумова Н.А.* 2021. Количественные показатели климата в приложении к оценке гидротермических условий в Республике Калмыкия // Аридные экосистемы. Том 27. № 4 (89). С. 13-24. [*Shumova N.A.* 2021. Quantitative Climate Indicators Applied to the Assessment of Hydrothermal Conditions in the Republic of Kalmykia // *Arid Ecosystems*. Vol. 11. No. 4. P. 327-336.]
- Andrade C, Corte-Real J.* 2016. Aridity conditions in the Iberian Peninsula during the XX century // *International Journal of Environmental Science*. Vol. 1. P. 52-58
- De Martonne E.* 1926. L'indice d'aridité // *Bulletin de l'Association de géographes français* Vol. 9. No. 3. P. 3-5.
- Mann H.B.* 1945. Non-parametric tests against trend. *Econometrica* Vol. 13. 245-259 p.
- Vlăduț A.Ș., Licurici M.* 2020. Aridity conditions within the region of Oltenia (Romania) from 1961 to 2015 // *Theoretical and Applied Climatology*. Vol. 140. No. 1. P. 589-602.