

УДК 551.582.2; 574.45

**ВЛИЯНИЕ ИЗМЕНЕНИЯ КЛИМАТА НА ПРОДУКТИВНОСТЬ НАДЗЕМНОЙ МАССЫ
СТЕПНЫХ РАСТЕНИЙ ОСТРОВА ВОДНЫЙ ОЗЕРА МАНЫЧ-ГУДИЛО
ЗАПОВЕДНИКА «РОСТОВСКИЙ»**

© 2025 г. В.Д. Казьмин*, В.Н. Гудко** **, А.В. Усатов**, К.В. Азарин**

*Государственный заповедник «Ростовский»

Россия, 347513, Ростовская область, пос. Орловский, Чапаевский пер., д. 102

E-mail: vladimir-kazmin@mail.ru

**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 15.10.2024. После доработки 23.10.2024. Принята к публикации 01.11.2024.

В работе исследовано влияние климатических изменений на продуктивность надземной фитомассы степных растений острова Водный озера Маныч-Гудило заповедника «Ростовский». В 1991-2022 гг. среднегодовая температура в зоне исследования повышалась в среднем на +0.07°C/год, а годовые осадки снижались на –1.93 мм/год. Величина индекса аридности де Мартона значительно снижалась в среднем на –1.16 в год, что свидетельствует об аридном потеплении. Температуры повышались во все сезоны, тогда как осадки на фоне общего снижения смещались с летнего и осеннего периода на зимний и весенний. В структуре растительного покрова преобладают злаковые растения, доля которых в среднем составляет 62%. Влияние осадков на общую продуктивность фитомассы было доминирующим и составило 51.3%. Общее снижение осадков способствовало уменьшению фитомассы изучаемых групп растений, за исключением злаковых, продуктивность которых позитивно реагировала на повышение осадков в зимне-весенний период. Наблюдаемые изменения приводят к дальнейшему повышению доли злаковых в растительном покрове степей о. Водный и снижению доли остальных семейств. Выявленные климатические тенденции будут способствовать снижению продуктивности надземной фитомассы степей на острове, включая продуктивность злаковых.

Ключевые слова: заповедник «Ростовский», остров Водный, озеро Маныч-Гудило, надземная фитомасса степей, индекс де Мартона, изменение климата, аридное потепление.

DOI: 10.24412/1993-3916-2025-1-4-11

EDN: ZANUGN

Растительный покров, вероятно, является наиболее чувствительным к изменению климата компонентом экосистем. Наблюдаемые повышение температур, а также изменения в режиме выпадения осадков приводят к трансформации видового состава и изменению величины общей фитомассы во многих регионах мира.

Заповедник «Ростовский» расположен в Кумо-Манычской впадине в зоне засушливого климата (переходного от степного к пустынному) и состоит из четырех отдельных участков. Остров Водный расположен в северо-западной оконечности озера Маныч-Гудило и образует наибольший по площади участок заповедника, называемым Островным (рис. 1). Объединенная площадь островов Водный и Горелый, разделенных пересохшим проливом, составляет 3400 га. В соответствии с описанием разнообразия растительности, наибольшую площадь (около 80%) на о. Водный занимают долинные сухие дерновиннозлаковые и полынно-дерновиннозлаковые степи.

С 1950-х годов на степных пастбищах острова обитают вольно живущие (одичавшие) лошади (*Equus caballus* Linnaeus, 1758), которые в настоящее время наряду с мышевидными грызунами являются здесь основным средообразующим компонентом. Рацион лошадей несколько варьирует в зависимости от сезона, но в значительной мере (69-84%) состоит именно из злаков (Казьмин и др., 2013). Популяция вольно живущих лошадей считается природной и культурной ценностью Ростовской области. Количество и состояние их поголовья во многом определяется кормовыми

ресурсами острова (Миноранский и др., 2023). Изучение состава, структуры и продуктивности растительного покрова степей на заповедном острове представляет большой научный и практический интерес (Казьмин, 2020).

В целом, внедрение природоохранной деятельности в заповеднике способствовало восстановлению естественных экосистем. В последние десятилетия отмечено восстановление травостоя, обогащение фауны и видового состава животных. Такие изменения положительно отразились и на популяции лошадей на о. Водный. Вместе с тем наблюдаемые в последние годы климатические изменения оказывают существенное негативное влияние на экосистемы заповедника. Заметное повышение температурных показателей и общее сокращение количества осадков в отдельные годы приводили к засухам, пересыханию мелких водоемов и существенной деградации растительного покрова. Сохранение наблюдаемых тенденций способно крайне негативно отразиться как на популяции лошадей о. Водный, так и на других обитателях заповедника (Миноранский и др., 2023). Целью работы является исследование многолетней динамики климатических условий, а также анализ влияния климатических изменений на продуктивность надземной фитомассы степной растительности о. Водный оз. Маныч-Гудило в заповедник «Ростовский».

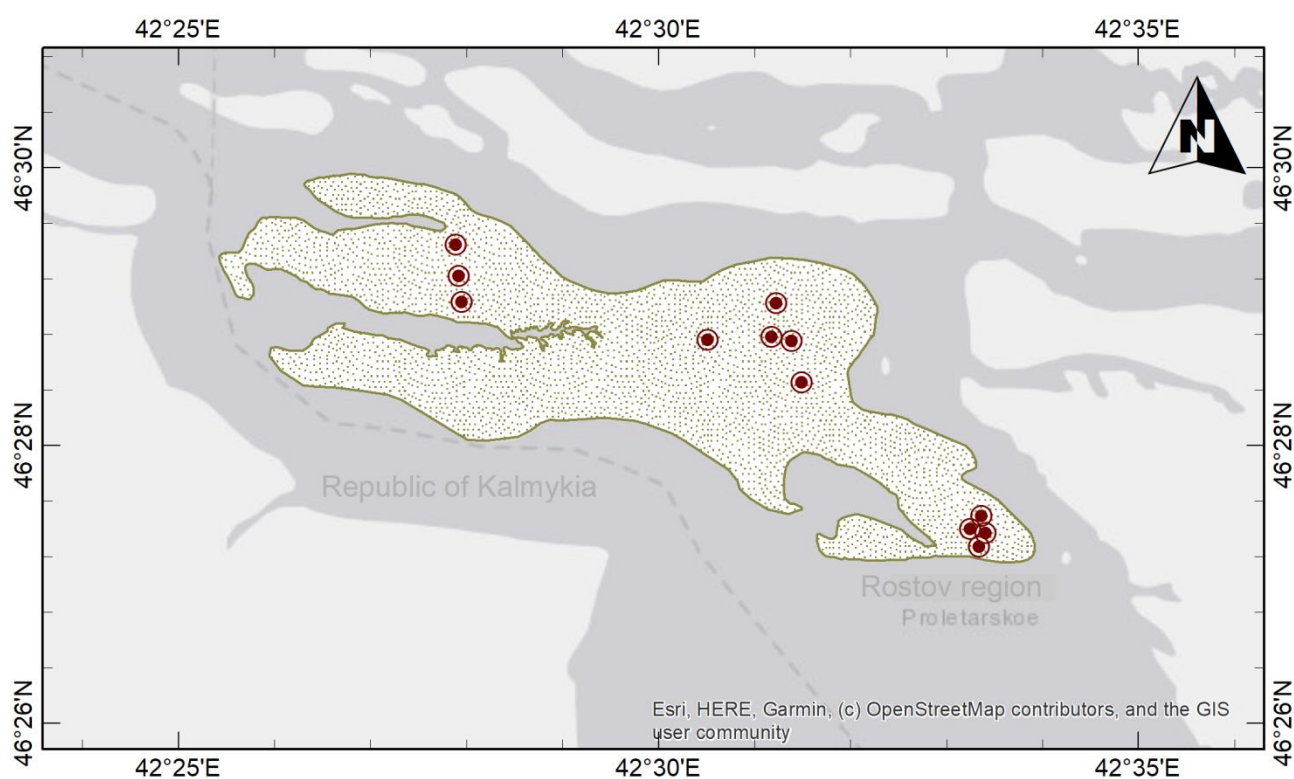


Рис. 1 Схема расположения пробных площадок на о. Водный оз. Маныч-Гудило (участок Островной, Государственный природный биосферный заповедник «Ростовский»).

Материалы и методы

Климатические данные. В работе использованы данные о среднемесячной температуре и осадках за 1991-2022 гг., полученные из глобального архива CRU TS 4.07 (Climatic Research Unit) Института Восточной Англии (Harris et al., 2020).

Данные о продуктивности надземной массы растений острова Водный, использованные в работе, собраны за 2009-2022 гг. С 2009 года в восточной, центральной, юго-западной и северо-западной частях острова определены места 4 трансект, на каждой из которых заложено по 3 стационарных пробных площади размером 25×25 м (рис. 1). Пробные площади расположены на северном и южном склонах, а также на вершине увала. Ежегодно во второй половине июня на каждой пробной площади проводятся учеты надземной растительной массы методом укусов на учетных площадках размером 50×50 см в 3-5-кратной повторности. За 2009-2022 гг. произведено

189 укосов. Фитомассу укосов группировали по семействам: злаковые, осоковые, бобовые, полыни, а также разнотравье. Растительную массу высушивали при температуре 90°C до постоянного веса и взвешивали. Видовой состав изучаемых семейств был представлен в более ранних исследованиях (Казьмин и др., 2016).

Анализ динамики климатических условий. Для оценки климатических изменений на о. Водный определены тенденции средней температуры и количества осадков как в годовом масштабе, так и для каждого месяца. Изменения гидротермических условий оценены с помощью широко используемого индекса аридности де Мартона (I_{DM}) (de Martonne, 1926; Гудко и др., 2023). Индекс I_{DM} за годовой период определяется по следующему соотношению:

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

где I_{DM} – индекс аридности де Мартона, P – годовая сумма осадков, мм, T – среднегодовая температура воздуха, °C. Анализ тенденций указанных показателей проводили для периода 1991-2022 гг. с помощью непараметрического критерия Манна-Кенделла при статистическом уровне значимости 95% ($p < 0.05$; Mann, 1965). Величина изменения оценена с помощью критерия наклона Сена.

Анализ зависимости продуктивности надземной массы от климатических факторов. Зависимость продуктивности надземной фитомассы от климатических показателей в 2009-2022 гг. оценена с помощью корреляционно-регрессионного анализа. Учитывая, что ежегодный учет продуктивности проводился в июне, климатические показатели в последующие месяцы (с июля по декабрь) сопоставляли с продуктивностью фитомассы следующего года. Корреляции рассчитывали с помощью коэффициента Пирсона при статистическом уровне значимости $p < 0.05$. Количественная зависимость массы растений от климатических факторов была оценена с помощью линейной регрессии. Параметры регрессии были определены с помощью метода наименьших квадратов. Для оценки достоверности регрессионного уравнения использовали критерий Фишера. Параметры аппроксимации оценивали с помощью критерия Стьюдента. Обработка данных и расчеты проводили с помощью Microsoft Excel и программного пакета R-Studio.

Результаты и обсуждение

Анализ климатических изменений на о. Водный за 1991-2022 гг. показал наличие статистически значимого ($p < 0.05$) роста среднегодовой температуры, в то время как количество осадков имело тенденцию к снижению (рис. 2а, б). Скорость изменения среднегодовой температуры составила +0.07°C/год, а осадки снижались на –1.93 мм/год. Полученные результаты согласуются с результатами других исследований. Так, значимый рост температурных показателей в последние десятилетия наблюдался на всей территории юга России, тогда как тенденции осадков неоднозначны (Gudko et al., 2021).

В засушливых зонах ведущим фактором формирования гидротермических условий в большинстве случаев является количество атмосферных осадков (Гудко и др., 2021; Шумова, 2020). Наши расчеты также показали, что гидротермические условия о. Водный, выраженные показателем I_{DM} , в большей степени коррелировали с уровнем осадков (рис. 2б, в). В целом среднегодовое значение I_{DM} составило 20.4, что, согласно общепринятой классификации, соответствует аридной биоклиматической зоне. Индекс I_{DM} также демонстрировал статистически значимое ($p < 0.05$) снижение со скоростью в среднем на –1.16 в год (рис. 2в).

Анализ динамики показателей в месячном масштабе продемонстрировал, что в течение года изменения климатических условий на острове протекали неравномерно (табл. 1). Тенденции среднемесячных температур во всех случаях были положительны и по большей части значимы. Наиболее интенсивное потепление наблюдалось в зимний и летние сезоны со скоростью роста температур в среднем на 0.09 и 0.08°C/год. Минимальное повышение средней температуры (0.08°C/год) отмечено осенью. Примечательно, что для каждого месяца с мая по сентябрь, т.е. в период активной вегетации растений, повышение температур было статистически значимым.

Изменения в режиме выпадения осадков на о. Водный в период исследования были разнонаправлены (табл. 1). Тем не менее, в межсезонном распределении изменения осадков прослеживалась следующая особенность. Положительные тенденции осадков характерны для

зимнего и весеннего сезонов. Скорость роста осадков в данные периоды относительно невелика и в среднем составляла +0.20 и +0.27 мм/год соответственно. В летний и осенний сезоны осадки имели тенденцию к снижению со скоростью в среднем –0.58 и –1.16 мм/год.

Таблица 1. Среднегодовое значения и величина изменения месячной температуры и осадков на о. Водный оз. Маныч-Гудило в заповеднике «Ростовский» в 1991–2022 гг.

Сезон	Месяц	Температура		Осадки	
		Среднее, °С	Изменение, °С/год	Сумма, мм	Изменение, мм/год
Зима	декабрь	–0.25	0.09*	34.9	–0.11
	январь	–2.60	0.06	32.6	0.15
	февраль	–1.79	0.11*	27.5	0.17
	Среднее/Сумма	–1.55	0.09	31.63	0.20
Весна	март	3.53	0.08	34.0	0.33
	апрель	11.32	0.03	33.8	–0.27
	май	17.68	0.06*	47.5	0.22
	Среднее/Сумма	10.84	0.06	38.44	0.27
Лето	июнь	22.33	0.09*	47.9	–0.58
	июль	25.01	0.06*	39.5	0.47
	август	24.31	0.10*	30.4	–0.47
	Среднее/Сумма	23.89	0.08	39.26	–0.58
Осень	сентябрь	18.30	0.06*	33.3	–0.30
	октябрь	11.35	0.03	37.0	–0.39
	ноябрь	4.70	0.05	31.6	–0.47
	Среднее/Сумма	11.45	0.05	33.98	–1.16

Примечание к таблице 1: * – изменения при статистически значимом уровне $p < 0.05$.

Динамика продуктивности наземной фитомассы. В структуре растительного покрова острова в 2009–2022 гг. преобладали злаковые, на долю которых при средней продуктивности 18.9 ц/га приходилось в среднем 62% от общей массы растений (рис. 3а). В наименьшей степени представлены осоковые: при средней продуктивности 0.2 ц/га их доля в общей массе составляла в среднем всего 0.7% (рис. 3б). При этом общая продуктивность всех изучаемых групп растений в период исследования составила в среднем 32.2 ц/га (рис. 3е). Величина наземной фитомассы заметно варьировала в зависимости от колебаний климатических условий. Так, в типичные по уровню влажности годы средняя продуктивность колебалась в пределах 17–27 ц/га. Обилие дождей в весенне-летние периоды 2010–2011 гг. способствовало росту показателя средней продуктивности растительного покрова в 1.8–2 раза до 34–48 ц/га, а в 2016–2017 гг. – до 45–52 ц/га.

Максимальная продуктивность растительного покрова (62.9 ц/га) на о. Водный была отмечена в 2021 г. (рис. 3е). Этому способствовало достаточно высокое для острова количество годовых осадков (542.3 мм). На заметное увеличение влаги наиболее существенно отреагировали бобовые, в результате чего их продуктивность в 2021 г. была аномально высока – 13.2 ц/га, а их доля достигла 21% (рис. 3в). Достаточно высокой в 2021 г. также была продуктивность разнотравья – 17.9 ц/га (рис. 3д). Наименьшие значения величины общей фитомассы наблюдались в годы с минимальной продуктивностью у злаковых. К примеру, в 2015 г. общая продуктивность растительного покрова на острове составила всего 16.9 ц/га, а продуктивность злаковых снизилась до минимума – 10.1 ц/га. В целом продуктивность наземной фитомассы на острове в 2009–2022 гг. имела положительную динамику. Однако такое повышение было обеспечено ростом продуктивности растений семейства злаковых, наземная масса которых на острове увеличилась за 14-летний период почти в 2.3 раза (до 25 ц/га). Продуктивность остальных семейств (за исключением бобовых) демонстрировала отрицательную тенденцию. Отметим, что увеличение доли бобовых является сомнительной,

т.к. рассчитанная положительная тенденция была обеспечена лишь аномальным всплеском их продуктивности в 2021 году.

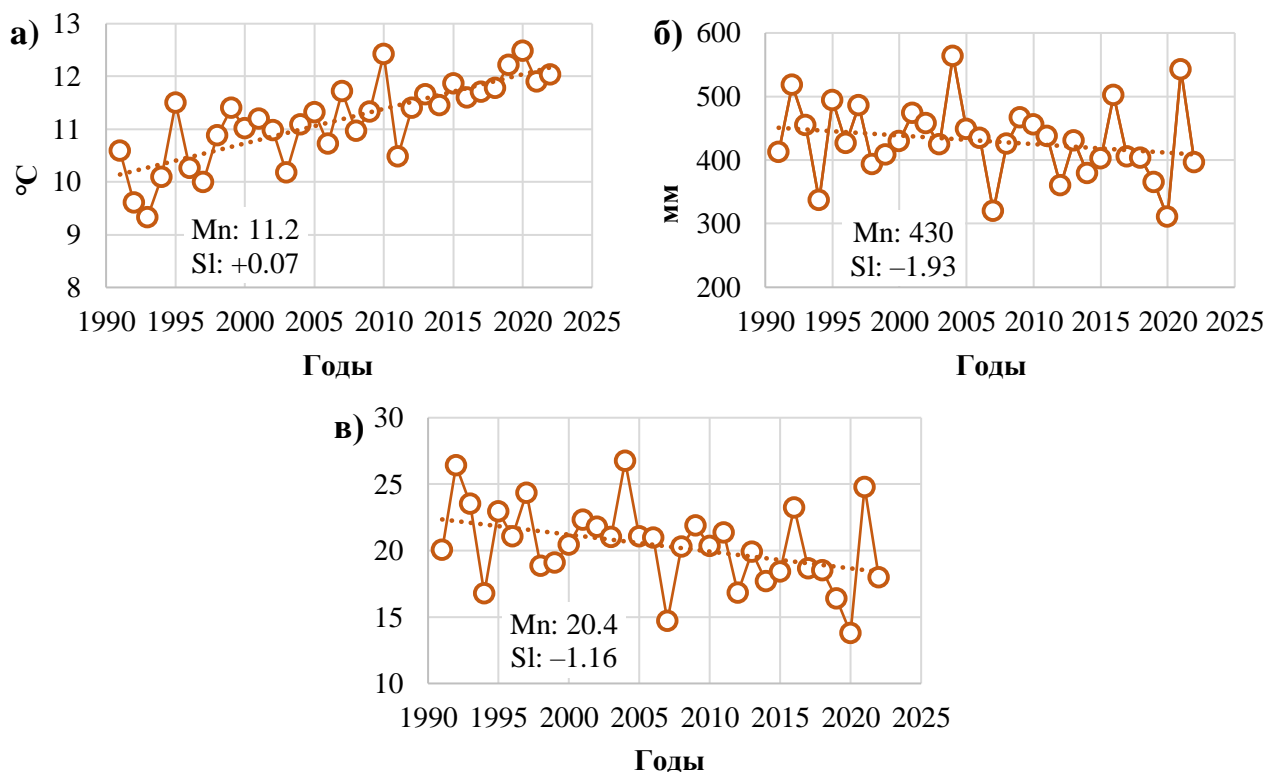


Рис. 2 Динамика среднегодовой температуры (а, °С), годовых осадков (б, мм) и индекса аридности де Мартона (в) на о. Водный заповедника «Ростовский» в 1991-2022 гг. *Условные обозначения:* Мп – среднее значение, SI – изменение за год.

Корреляционно-регрессионный анализ зависимости продуктивности надземной фитомассы от климатических факторов. Анализ показал, что связь общей продуктивности с индексом I_{DM} , как и с годовыми осадками, была положительной и значимой. Согласно полученным регрессионным уравнениям, годовые осадки, как фактор, определяли до 51.3% общей продуктивности надземной фитомассы на острове Водный (табл. 2). Среди изучаемых групп растений аналогичная зависимость отмечена для бобовых и разнотравья: вклад годовых осадков в продуктивность данных групп составил 53.3 и 43.7% соответственно. Для остальных изучаемых групп связь с осадками также положительна, но незначима. При этом какой-либо значимой зависимости продуктивности от среднегодовой температуры выявлено не было.

В течение года влияние климатических факторов на продуктивность растений было неоднозначно. Влияние температурного фактора варьировало в зависимости от сезона. В весенне-летний период продуктивность растений всех групп в целом отрицательно коррелировала со среднемесячными температурами. В данный период температурный режим оказывал наиболее существенно влияние на продуктивность злаковых. Значимая отрицательная связь отмечена между продуктивностью данной группы и средней температурой в июне ($r = -0.70$). Данный фактор определял до 48.8% продуктивности злаковых (табл. 2). С наступлением осени и начала зимы влияние температур на продуктивность растений в следующем году по большей части положительно. Данная зависимость была наиболее выражена у осоковых. Так, температуры в декабре оказывали значимое положительное влияние на фитомассу осоковых и определяли до 33.6% продуктивности. Осадки в период с ноября прошлого года по март текущего, как фактор, оказывали преимущественно положительное влияние на продуктивность растений всех групп. Тем не менее, у разнотравья и злаковых данная связь была наиболее выраженной. Продуктивность разнотравья сильно

положительно коррелировала с осадками в ноябре прошлого года ($r = 0.65$), а продуктивность злаковых – с осадками в феврале ($r = 0.62$); данные факторы определяли до 42.3 и 57.0% продуктивности соответственно.

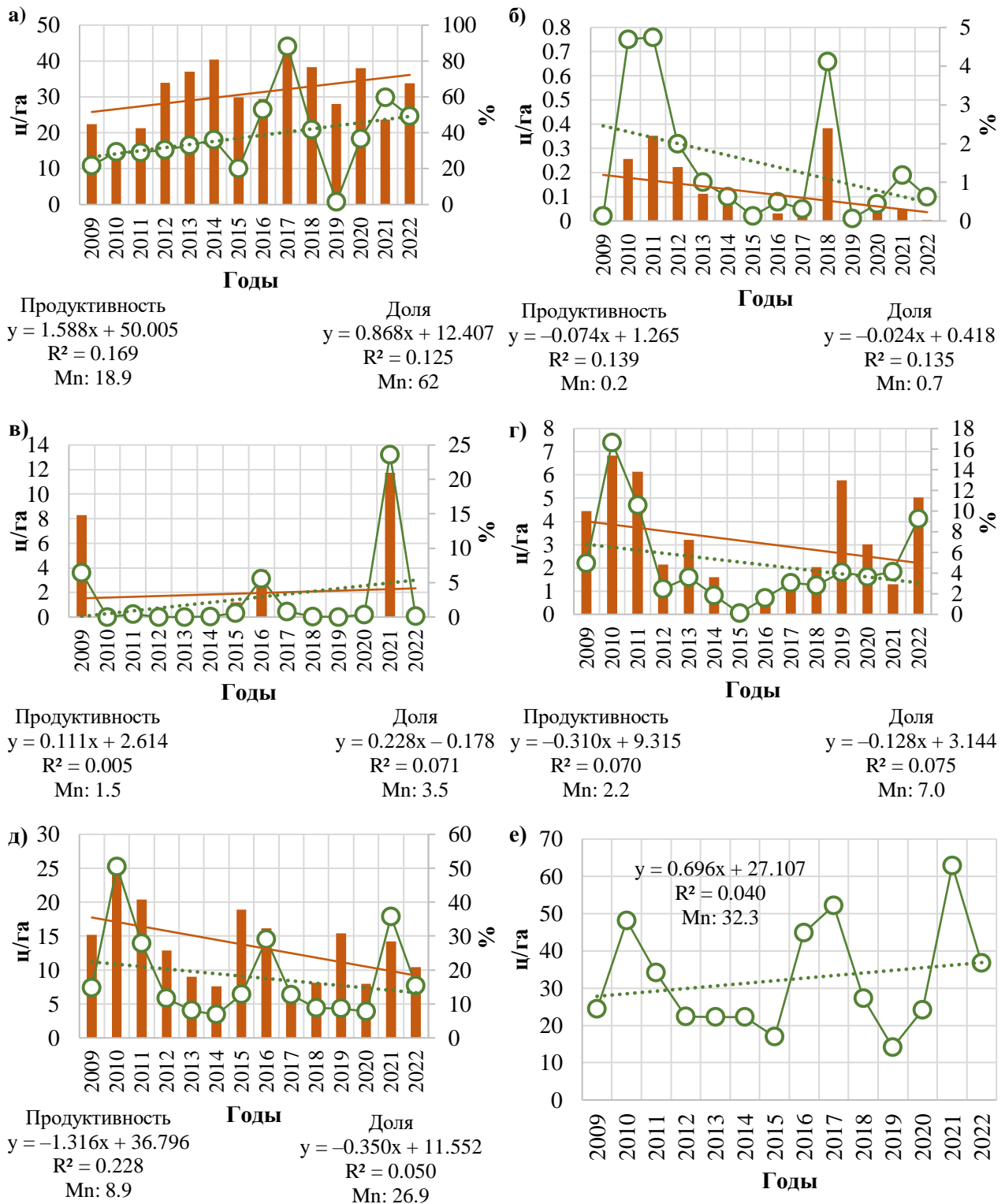


Рис. 3 Динамика продуктивности (круги, ц/га) и доля (гистограммы, %) надземной массы а) злаковых, б) осоковых, в) бобовых, г) полыни, д) разнотравья, е) всей фитомассы на о. Водный заповедника «Ростовский» в 2009-2022 гг. Условные обозначения: Mn – среднее значение; надземная сухая масса растений в 2019 г. определена в октябре.

Таблица 2. Результат регрессионного анализа зависимости продуктивности надземной массы растений от климатических показателей на о. Водный в 2009-2022 гг.

Группа	Регрессионное уравнение	R ²
Злаковые	$Y = -6.865 \cdot T_{\text{июнь}} + 179.741$	0.488
	$Y = 0.038 \cdot P_{\text{февраль}}^2 - 1.615 \cdot P_{\text{февраль}} + 31.382$	0.570
	$Y = 0.008 \cdot P_{\text{февраль}}^2 - 5.136 \cdot T_{\text{июнь}} + 132.546$	0.712
Осоковые	$Y = 0.088 \cdot T_{\text{декабрь}} + 0.186$	0.336
Бобовые	$Y = 8.565 \cdot I_{\text{DM}} - 149.730$	0.482
	$Y = 0.043 \cdot P_{\text{год}} - 16.529$	0.533
Разнотравье	$Y = 0.393 \cdot P_{\text{ноябрь}} - 1.448$	0.423
	$Y = 0.074 \cdot P_{\text{год}} - 22.131$	0.474
	$Y = 1.454 \cdot I_{\text{DM}} - 19.087$	0.418
Вся масса	$Y = 0.772 \cdot P_{\text{ноябрь}} + 11.938$	0.322
	$Y = 0.948 \cdot P_{\text{февраль}} + 6.222$	0.437
	$Y = 0.0008 \cdot P_{\text{год}}^2 - 0.479 \cdot P_{\text{год}} + 98.884$	0.513
	$Y = 3.204 \cdot I_{\text{DM}} - 29.403$	0.400

Примечания к таблице 2: T – среднемесячная температура, P – месячная сумма осадков, Y – продуктивность надземной фитомассы в следующем календарном году.

Полученные регрессионные зависимости объясняют изменение продуктивности изучаемых групп растений. Общее снижение увлажнения и перераспределение количества осадков с летне-осеннего на зимне-весенний период наиболее негативно отразилось на фитомассе разнотравья. Снижение годовых осадков на 1 мм при прочих равных условиях приводило к уменьшению продуктивности фитомассы на 0.074 ц/га, а аналогичное снижение в ноябре – на 0.393 ц/га. В целом ухудшение условий увлажнения также негативно сказывалось на фитомассе бобовых, продуктивность которых с понижением годовых осадков на 1 мм снижалась на 0.043 ц/га. Несмотря на то, что значимой связи между продуктивностью осоковых и количеством осадков нами выявлено не было, мы предполагаем, что снижение фитомассы осоковых в период изучения во многом обусловлено общим ухудшением условий увлажнения, но эта связь опосредованная и имеет отложенный по времени эффект.

Повышение количества осадков в зимний период, а именно, в феврале, положительно сказалось на фитомассе злаковых, но рост их продуктивности ограничивался температурой июня. В совокупности данные климатические факторы определяли до 71.2% продуктивности злаковых (табл. 2). Согласно расчетам, значимый рост температур в июне способен нивелировать положительный эффект от повышения осадков в феврале. Так, в случае сохранения рассчитанных климатических тенденций в данные месяцы продуктивность злаковых при прочих равных условиях будет снижаться примерно на 0.383 ц/га ежегодно. В целом при сохранении текущих темпов снижения годовых осадков ежегодное снижение общей продуктивности на острове при прочих равных условиях составит примерно 0.324 ц/га.

Примечательно также, что какого-либо значимого влияния климатических факторов на продуктивность растений семейства полыней выявлено не было. Такой результат, вероятно, говорит о том, что эти растения устойчивы к климатическим изменениям, а колебания их продуктивности вызваны в большей степени влиянием других (не климатических) факторов.

Выводы

Анализ динамики климатических показателей продемонстрировал, что на территории острова Водный в 1991-2022 гг. происходило аридное потепление. Температуры за этот период повышались во все сезоны, тогда как осадки на фоне общего снижения смещались с летне-осеннего на зимне-весенний. Такие изменения способствовали снижению фитомассы всех изучаемых групп за исключением злаковых, продуктивность которых позитивно реагировала на сезонное смещение

осадков. В структуре надземной фитомассы отмечена тенденция роста доли злаковых и снижение доли остальных семейств, что косвенно свидетельствует о тенденции снижения видового разнообразия растительного покрова степей о. Водный. В целом положительные аномалии осадков в отдельные годы могут приводить к существенному повышению надземной фитомассы. В отдаленной перспективе продолжение обозначенных климатических тенденций при прочих равных условиях будут способствовать дальнейшему снижению продуктивности надземной фитомассы изучаемых групп растений, включая злаковые, что может также негативно отразиться на состоянии животных, обитающих на территории о. Водный, в первую очередь – на популяции вольно живущих лошадей. Для нивелирования данного негативного влияния со стороны климатических изменений необходима разработка адаптационных управленческих мероприятий.

Финансирование. Работа выполнена в рамках госзадания государственного заповедника «Ростовский» «Осуществление государственного экологического мониторинга» № 910412Ф.99.1.АВ50АА00001 и Программы стратегического академического лидерства Южного федерального университета «Приоритет 2030».

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Гудко В.Н., Усатов А.В., Азарин К.В. 2021. Анализ гидротермических условий в Ростовской области за период 1960-2019 гг. // Аридные экосистемы. Т. 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.]
- Гудко В.Н., Усатов А.В., Азарин К.В. 2023. Сезонная и годовая динамика гидротермических условий в восточной природно-сельскохозяйственной зоне Ростовской области в 1961-2020 гг. // Аридные экосистемы. Т. 29. № 3 (95). С. 29-35. [Gudko V.N., Usatov A.V., Azarin K.V. 2023. The Seasonal and Annual Dynamics of Hydrothermal Conditions in the Eastern Natural and Agricultural Zone of the Rostov Region in 1961-2020 // Arid Ecosystems. Vol. 13. No. 2. P. 148-153.]
- Казьмин В.Д., Демина О.Н., Позднякова М.К., Розенфельд С.Б., Абатуров Б.Д. 2013. Современное состояние растительных кормовых ресурсов и избирательность питания вольноживущей лошади (*Equus caballus*) на степном острове озера Маныч-Гудило // Зоологический журнал. Т. 92. № 2. С. 231-237.
- Казьмин В.Д., Пришутова З.Г., Демина О.Н., Рогаль Л.Л., Дмитриев П.А., Купрюшкин Д.П. 2016. Пастбищное влияние вольноживущих лошадей на структуру и продуктивность степной растительности на островах озера Маныч-Гудило // Экосистемный мониторинг долины Западного Маныча: итоги и перспективы. № 6. С. 79-92.
- Казьмин В.Д. 2020. Управление продуктивностью и устойчивостью степных экосистем на острове Водном озера Маныч-Гудило при изменении климата // Сохранение и изучение степных экосистем Евразии и их компонентов. Труды Государственного природного биосферного заповедника «Ростовский». Вып. 7. Ростов-на-Дону: ООО «Фонд науки и образования». С. 57-65.
- Миноранский В.А. Тимофеев Ю.В. Тихонов А.В. Синявская В.С. Сангаджиева С.А. 2023. Мониторинг биоразнообразия в заповеднике «Ростовский» // Экология и природопользование: устойчивое развитие сельских территорий. С. 632-636.
- 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.]
- De Martonne E. 1926. L'indice d'aridité // Bulletin de l'Association de géographes français Vol. 9. No. 3. P. 3-5.
- Gudko V., Usatov A., Ioshpa A., Denisenko Y., Shevtsova V., Azarin K. 2021. Agro-Climatic Conditions of the Southern Federal District of Russia in the Context of Climate Change // Theoretical and Applied Climatology. Vol. 145. No. 3. P. 989-1006.
- Harris I., Osborn T.J., Jones P., Lister D. 2020. Version 4 of the CRU TS monthly High-Resolution Gridded Multivariate Climate Dataset // Scientific Data. Vol. 7. No. 3. P. 109.
- Mann H.B. 1945. Non-Parametric Tests against Trend // Econometrica. Vol. 13. P. 245-259.