

УДК 551.5

**ПРОГНОЗИРОВАНИЕ БУДУЩИХ ИЗМЕНЕНИЙ СУХИХ ТЕРРИТОРИЙ  
С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ СТАТИСТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ МАСШТАБИРОВАНИЯ (SDSM)  
В ЗАПАДНОЙ ЧАСТИ ГОРГАНСКОЙ РАВНИНЫ, ИРАН**

© 2022 г. З. Джамали, З. Хейдаризади

*Горганский университет сельскохозяйственных наук и природных ресурсов  
Иран, 4913815739, Горган, ул. Шахид Бехешти, Центральный офис университета  
E-mail: zahra\_jamali1386@yahoo.com*

Получена 12.01.2022. После доработки 30.06.2022. Принята к публикации 01.07.2022.

Климатические индексы – важные инструменты, помогающие лучше понять последствия изменения климата, которые произойдут в будущем. Мы собрали с метеорологических станций Горгана среднесуточные значения температуры и осадков за 1961-1990 годы, а затем смоделировали сценарии изменения климата для трех временных интервалов (для 2020-х, 2050-х и 2080-х гг.) по сценариям выбросов парниковых газов RCP 26, RCP 45 и RCP 85, используя модель CANESM2. Были рассчитаны будущие изменения в индексе засушливости де Мартонна и индексе Эмбергера. Анализ показал, что, исходя из месячного диапазона значений индекса засушливости де Мартонна, с апреля по октябрь делятся засушливые месяцы, а остальные месяцы являются полусушливыми. Отчасти это может быть связано с уменьшением количества осадков и повышением температуры с апреля по октябрь, поэтому сельскохозяйственные угодья в этот период нуждаются в орошении. Летом влажность уменьшится для всех трех временных периодов, но только для сценариев RCP 26 и RCP 45. То же относится к RCP 85, за исключением июня 2020-х гг., когда влажность будет постоянной. В целом прогнозируется увеличение влажности для большей части месяцев в течение всех трех периодов. Прогнозируемые значения индекса засушливости Эмбергера имеет ту же тенденцию, что и индекс засушливости де Мартонна. Значения  $R^2$  указывают на высокую корреляцию между индексами, чем доказывают схожесть их тенденций для изменений территорий во время всех трех периодов.

*Ключевые слова:* индекс аридности, парниковые газы, IPCC AR5.

**DOI: 10.24412/1993-3916-2022-4-4-12**

**EDN: YSNQNJ**

Классификация атмосферных переменных – это диагностический инструмент, который широко применяется для определения состояния климата в различных частях мира. Они являются важным составляющим элементом для исследований экстремальных погодных и климатических явлений (Tramblay, Hertig, 2018; Montazerolghaem et al., 2016; Chu, Zhao, 2011), для оценки индексов температуры и осадков (Wen et al., 2017; Kim et al., 2017; Sharifiet al., 2018; Peña-Angulo et al., 2016), а также для анализа последствий использования электроэнергии в помещении (Wan et al., 2010). Климатическая классификация – это метод, с помощью которого на карте отображают климатические регионы; он позволяет лучше понять расположение других особенностей окружающей среды, также подверженные влиянию климата. Эти классификации применялись в некоторых исследованиях по экологии (Stenseth et al., 2003) и биоразнообразию (Garcia et al., 2014), урожайности, а также выступали в качестве входной переменной для различных глобальных моделей (Martinez et al., 2009; Prentice, 1990). Они также применяются в других областях, таких как исследование воздействий от изменения климата и стратегий адаптации к ним (Rahimi, 2013). Не так давно М.А. Gebremedhin с соавторами (2018), а также F.J. Tariador с соавторами (2019a, c) использовали классификацию климата для того, чтобы исследовать изменения индекса климата в будущем, учтя результаты глобальных климатических моделей. Вычислительные возможности в глобальных моделях и моделях системы Земли, необходимых для моделирования регионального климата, значительно улучшились за последнее десятилетие. Некоторые авторы также утверждают, что благодаря своему высокому

разрешению модели системы Земли начали использоваться более широко по сравнению с региональными климатическими моделями (Tapiador et al., 2019b). Таким образом, глобальные модели можно считать самым мощным инструментом для моделирования того, как глобальная климатическая система отреагирует на повышение уровня парниковых газов (Subimal, Mujumdar, 2006). Такие модели используют сценарии выбросов газов в качестве исходных данных для моделирования многих климатических аспектов, в т.ч. температуры и осадков (Field et al., 2012). Однако по сравнению с данными, полученными с синоптических станций, у них недостаточно высокое разрешение для того, чтобы надежно спрогнозировать климатические переменные в локальном масштабе (Mareuil et al., 2007). Следовательно, необходим метод снижения масштаба, чтобы сократить разрыв между выходными данными глобальной климатической модели и необходимым разрешением для моделирования климатических изменений в более широком масштабе.

Если учитывать, что небольшие изменения климатических переменных могут привести к большим изменениям в потенциале водных ресурсов, тогда необходимо проведение полевых исследований, чтобы разработать комплексное управление водными ресурсами в выбранной местности. Поэтому одна из основных стадий исследований – это изучение изменений в будущих климатических индексах. Целью нашей работы является изучение изменения такого индекса в будущем в западной части Горганской равнины в Иране. Результаты исследования впоследствии, несомненно, могли бы способствовать рациональному использованию водных ресурсов в выбранном районе.

*Область исследования.* Западный регион Горганской равнины расположен на северо-востоке Ирана, между  $36^{\circ} 37' 57.51''$  и  $37^{\circ} 27' 24.26''$  с.ш. и  $53^{\circ} 51' 14.76''$  и  $54^{\circ} 51' 46.26''$  в.д. (рис. 1). Его площадь составляет около  $5809.4 \text{ км}^2$ . На основе топографической информации, полученной с помощью цифровой модели рельефа, высота изучаемой области колеблется от 3819 м на горе Эльбурс до примерно -46 м в северо-восточных областях. Судя по уклону, также рассчитанному по цифровой модели рельефа, большая часть территории (83.8%) приходится на диапазон уклона 0-28%, при этом 15.5% площади имеют диапазон 28-71%, и только 0.7% имеют уклон более 71%. Среднегодовое количество осадков здесь колеблется от 381.6 до 507.9 мм. Средняя температура января составляет  $7.3^{\circ}\text{C}$ , июля –  $29.3^{\circ}\text{C}$ . Для нашего исследования мы выбрали одну синоптическую станцию в Горгане.

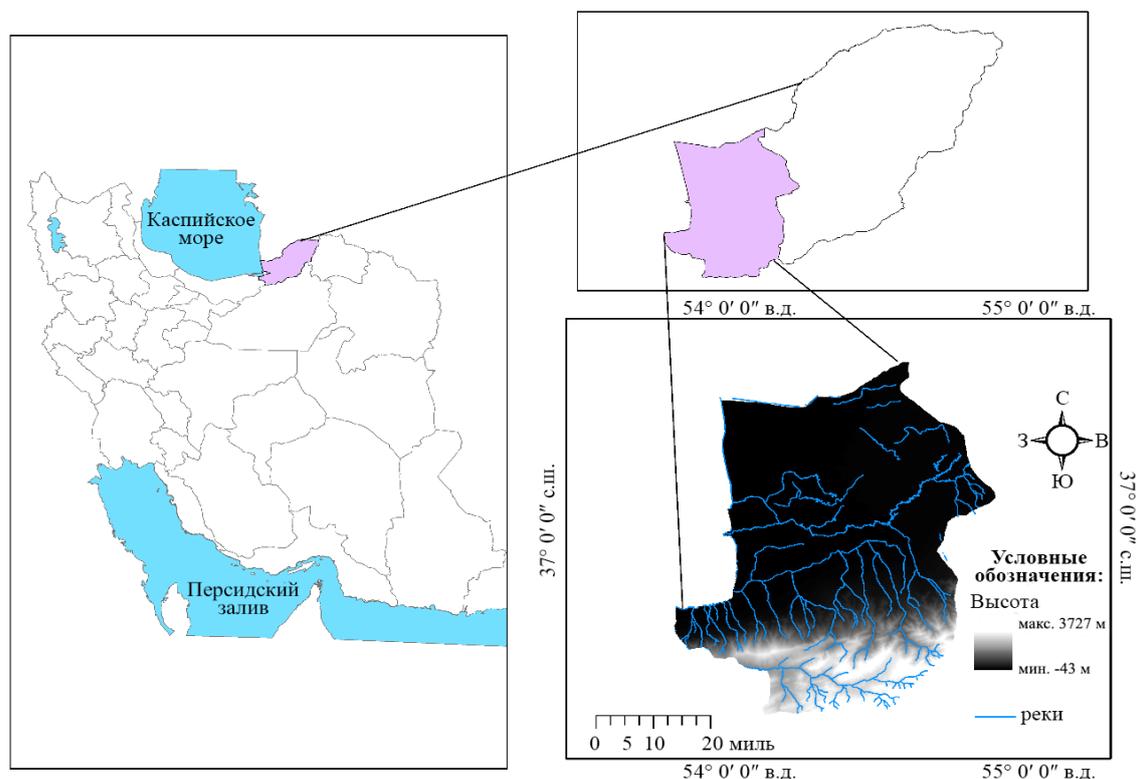
### Объекты и методы исследования

*Данные.* Информация по ежедневным осадкам и температуре за 1961-1990 гг. на станции Горган были получены от Метеорологической организации Ирана. Кроме того, для сценариев выбросов RCP 26, RCP 45 и RCP 85 использовались выходные данные Канадской модели системы Земли второго поколения – CanESM2. Эта модель была разработана Канадским центром моделирования и анализа климата Министерства окружающей среды Канады и представляет собой версию модели четвертого поколения общей циркуляции атмосферы-океана для системы Земли. В данном исследовании мы использовали выходные данные CanESM2, поскольку это одна из моделей, которая применяется в Пятом оценочном отчете Межправительственной группы экспертов по изменению климата (IPCC AR5), а также потому, что она находится в открытом доступе, легкодоступна и включает новое поколение климатических моделей, недавно использовавшихся в прогнозировании климатических изменений (Gent et al., 1998). Подробная информация о CanESM2 представлена в таблице 1.

*Статистическая модель снижения масштаба (SDSM)* – это инструмент для снижения масштаба и получения метеорологических данных, который позволяет масштабировать ежедневные атмосферные переменные в пространстве с использованием множественных методов линейной регрессии (Wilby, Dawson, 2007). Это одна из лучших моделей, т.к. она позволяет создавать сценарии климатических изменений с высоким разрешением и может быть использована в различных исследованиях о воздействии климата (Wilby et al., 2002; Niroshinie, Babel, 2011). В нашей работе мы использовали версию SDSM 5.2, разработанную Р.Л. Уилби и С.В. Доусоном и доступную бесплатно на официальном сайте Statistical Downscaling Model (2022).

Первый шаг при запуске модели SDSM – это контроль качества для выявления ошибок, включая

отсутствующие данные или выбросы. Мы оценивали качество данных по температуре и осадкам на станции Горган за 1961-1990 гг. с проверкой контроля качества. Затем мы провели корреляционный анализ между выходными данными (предикторами) глобальной климатической модели (табл. 2) и данными станции, т.е. предикторными переменными (например, температурой и осадками) для выбора наиболее подходящих переменных. Такие переменные были получены со станции Горган, располагающей долгосрочными метеорологическими данными и расположенной в центре Горганской равнины.



**Рис. 1.** Область исследования и схема рек на цифровой модели рельефа.

**Таблица 1.** Информация о Канадской модели системы Земли (второго поколения) – CanESM2 (Yin et al., 2013).

Название	Страна	Пространственное разрешение для атмосферы (долгота*широта)	Пространственное разрешение для океана (долгота*широта)
CanESM2	Канада	128*64	256*192

Калибровка модели необходима для получения параметров для снижения масштаба на основе уравнений множественной регрессии, которым заданы прогнозируемые и атмосферные (предикторы) переменные регионального масштаба. В данном исследовании модель была откалибрована в масштабе месяца для климатических осадков и температуры, т.е. было создано 12 уравнений регрессии на все 12 месяцев (Kararouz, 2009). Кроме того, для проверки модели были искусственно сгенерированы данные. Всего для работы были доступны наблюдаемые суточные данные об осадках и температуре за 30 лет (1961-1990 гг.): 21 год (1961-1982 гг.) использовался для калибровки модели SDSM, а последующие 8 лет (1982-1990 гг.) – для проверки. Чтобы оценить эффективность SDSM при моделировании переменных температуры и осадков, мы использовали среднеквадратичную ошибку и коэффициент корреляции R (1). Среднеквадратичная ошибка широко используется для выделения различий между предсказанным значением (оценкой) и фактическими наблюдаемыми значениями (Hyndman, 2006). Обычно она применяется в климатологии, при климатических

изменениях и регрессионном анализе для проверки результатов модели.

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N (S-O)^2}{N}} \quad (1),$$

где  $N$  – количество образцов,  $S$  – смоделированные ежемесячные осадки и температура,  $O$  – наблюдаемые ежемесячные осадки и температура со станции Горган (Barnston, 1992).

**Таблица 2.** Список предикторных переменных модели CanESM2, использованной в данной работе.

Описание	Предиктор	№
Меридиональная скорость на поверхности	p1_v	1
500 гПа – скорость вихря	p5_z	2
500 гПа – геопотенциальная высота	p500	3
850 гПа – сила воздушного потока	p8_f	4
850 гПа – зональная скорость	p8_u	5
850 гПа – меридиональная скорость	p8_v	6
850 гПа – направление ветра	p8th	7
Осадки	prcp	8
Средняя температура на высоте 2 м	temp	9
Удельная влажность поверхности	shum	10
Давление н.у.м.	mslp	11

Другой мерой проверки является переменная  $R$ , обычно применяемая в статистике для измерения силы связи между двумя переменными (2).  $R$  рассчитывается:

$$R = \frac{\sqrt{(O-\bar{O})(S-\bar{S})}}{\sqrt{\sum(O-\bar{O})^2 \sum(S-\bar{S})^2}} \quad (2),$$

где  $O$  – наблюдаемые ежемесячные осадки и температура;  $S$  – смоделированные ежемесячные осадки и температура;  $\bar{O}$  – наблюдаемые средние значения осадков и температуры;  $\bar{S}$  – смоделированные средние значения осадков и температуры.

Поскольку Горган – единственная синоптическая станция с многолетними метеорологическими данными, масштабирование крупных переменных проводилось с использованием данных именно с этой станции. Наконец, были сгенерированы искусственные суточные погодные ряды с использованием генератора таких сценариев в SDSM. Их сделали для осадков и температуры трех будущих временных отрезков: 2020-е (2011-2040 гг.), 2050-е (2041-2070 гг.), 2080-е (2071-2099 гг.).

*Климатические индексы* выступают в качестве крайне полезных инструментов для климатической классификации различных регионов (Gebremedhin et al., 2018). Наше исследование было сосредоточено на изменении индекса в будущем; дополнительно применялся индекс засушливости Де Мартонна и индекс засушливости Эмбергера.

*Индекс засушливости де Мартонна.* Обычно засушливость выражается в виде функции взаимодействия осадков с температурой, которые считаются ключевыми параметрами при расчете данного индекса. Поэтому, будучи количественным показателем степени дефицита воды на изучаемой территории, индекс засушливости является важным индикатором регионального климата (Huang et al., 2016). Индекс де Мартонна представляет собой климатическую классификацию, которая основана на продолжительности засухи, и рассчитывается с использованием среднего количества осадков  $P$  в мм и температуры  $T$  в °C (Hrnjak et al., 2014; Moral et al., 2015). Годовые значения индекса представлены в уравнении (3):

$$Im_{DM} = \frac{P}{T+10} \quad (3).$$

Этот индекс также можно рассчитать и на ежемесячной основе с помощью уравнения (4):

$$Im_{DM} = \frac{12Pm}{Tm+10} \quad (4),$$

где  $Im_{DM}$  – месячное значение индекса засушливости де Мартонна,  $Pm$  и  $Tm$  – среднемесячные осадки в мм и среднемесячная температура в °C. Де Мартонн выделял 7 типов погоды, которые

основаны на значениях  $I_{DM}$  и показаны в таблице 3. В нашем исследовании ежемесячный индекс де Мартонна был рассчитан для исходного и будущего периодов, а процент будущих изменений индекса был рассчитан по уравнению (5):

$$\%I_M = \left( \frac{F_{IM} - B_{IM}}{B_{IM}} \right) \times 100 \quad (5),$$

где  $\%I_M$  – изменение месячного значения индекса де Мартонна, наблюдаемое между исходным и тремя будущими периодами, в процентах;  $F_{IM}$  – будущее месячное значение индекса де Мартонна, а  $B_{IM}$  – исходное месячное значение индекса де Мартонна.

*Индекс засушливости Эмбергера* является частью индекса качества климата, который помогает классифицировать климат в зависимости от доступности водных ресурсов. Для этого индекса необходимы только средние годовые осадки и средняя температура самых холодных и самых жарких месяцев, чтобы определить количество засушливых и влажных месяцев (Emberger, 1932). Таким образом, расчет индекса засушливости Эмбергера прост, поскольку необходимые данные можно легко получить из обычных метеорологических записей. Он оценивается по следующему уравнению:

$$IE = \frac{100 * P}{M^2 - m^2} \quad (6),$$

где  $P$  – среднегодовое количество осадков в мм,  $M$  и  $m$  – средняя температура самого жаркого и самого холодного месяцев. Климатическая классификация Эмбергера, основанная на значениях  $IE$ , приведена в таблице 3.

**Таблица 3.** Коэффициент ограничения де Мартонна ( $I_{DM}$ ) и индекс засушливости по классификации Эмбергера ( $IE$ ).

Основной тип климата	Значение $I_{DM}$	Основной тип климата	Значение $IE$
Сухой	< 10	Засушливый	< 30
Полусухой	10-20	Полузасушливый	30-50
Средиземноморский	20-24	Субгумидный	50-90
Полувлажный	24-28	Влажный	> 90
Влажный	28-35		
Очень влажный	$\geq 35$		

### Результаты и обсуждение

Для калибровки и проверки модели SDSM мы использовали суточные данные о температуре и осадках, полученные за период 1961-1990 гг. со станции Горган. Значения среднеквадратичной ошибки составили 0.11 и 1 соответственно, что является удовлетворительным результатом. Также ошибка при уменьшении масштаба осадков гораздо выше, чем для температуры. Это может быть связано с тем, что предикторы регионального масштаба довольно плохо определяют суточное количества осадков на отдельных участках. Кроме того, для выбранных временных периодов осадки являются условным процессом (Wilby, Dawson, 2007). Корреляция между уменьшенными и наблюдаемыми осадками (0.77) и температурой (0.99) является приемлемой. В целом, результаты различных статистических погрешностей при измерениях показали, что SDSM хорошо моделирует среднемесячные осадки и температуру на станции Горган как при калибровке (1961-1982 гг.), так и при проверке (1982-1990 гг.).

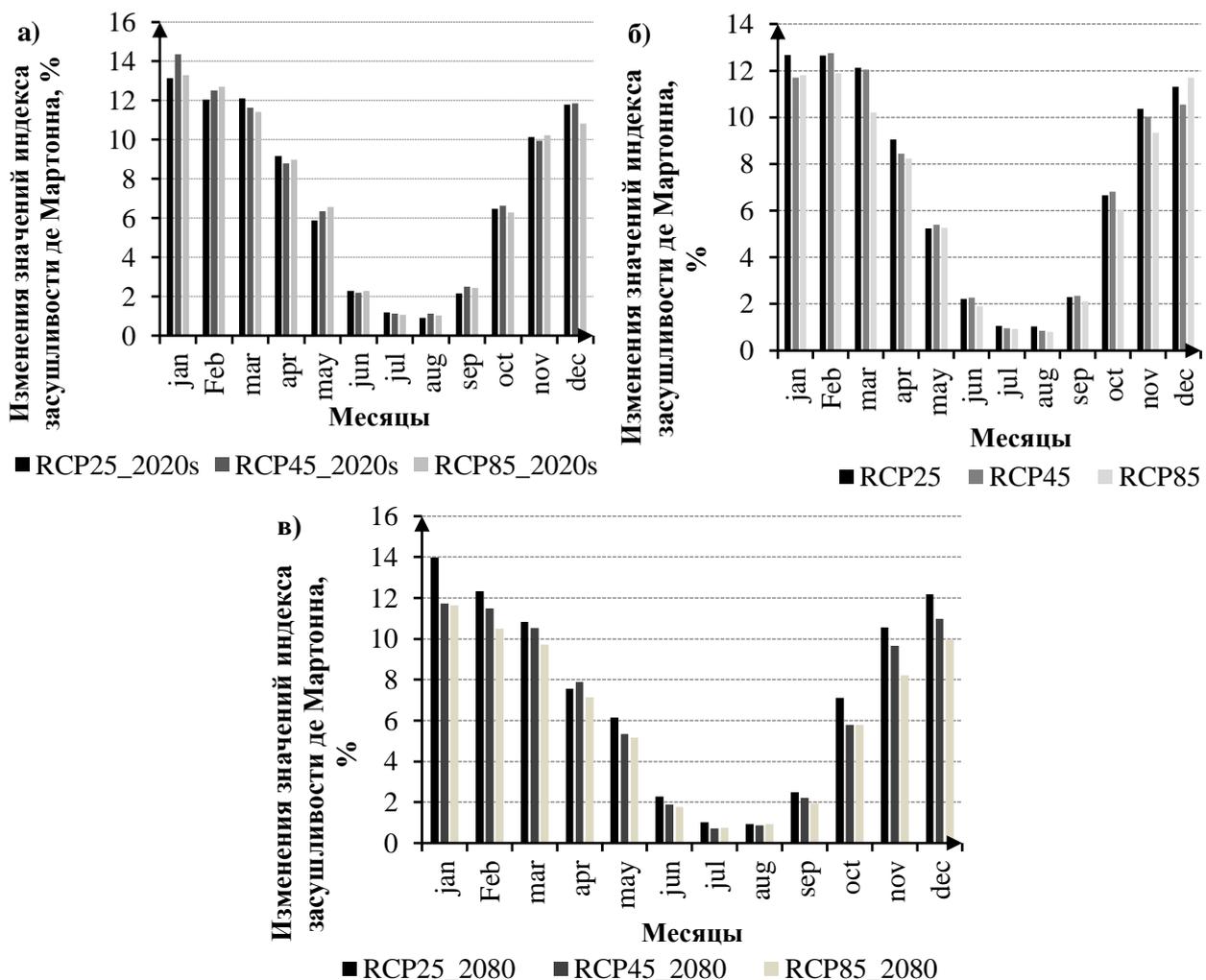
В нашем исследовании после выяснения пригодности модели SDSM для использования масштаб суточного количества осадков и температуры с иранской станции был уменьшен для сценариев выбросов RCP 26, RCP 45 и RCP 85 для модели CanESM2. Температура показывает тенденцию к увеличению во всех будущих периодах для всех сценариев; она увеличивается по мере увеличения концентрации  $CO_2$  во всех перечисленных сценариях. Прогнозируемое повышение среднегодовой температуры в 2020-х годах составляет около 1.9, 1.7 и 2°C для RCP 26, RCP 45 и RCP 85 соответственно. Ожидается, что среднегодовая температура повысится на 2.3, 2.7 и 3.7°C в 2050-х годах, а в 2080-х гг. повышение составит около 2.2, 3.4 и 5.5°C.

В отличие от температуры прогноз осадков показывает увеличение месячной суммы для всех будущих сезонов, кроме лета и сентября, по всем трем сценариям RCP. Годовое количество осадков

на станции Горган по сценариям RCP 26, RCP 45 и RCP 85 увеличится на 17,8, 19 и 18,6% соответственно в 2020-х гг., на 18,5, 17,8 и 14,7% в 2050-х гг., на 19, 12,4 и 12,4% в 2080-х гг. Среднее количество осадков несколько уменьшится летом во всех трех будущих периодах для всех сценариев выбросов по модели CanESM2. Максимальное снижение приходится на август; для всех сценариев оно может составить 35,5, 43,3 и 40,7% в 2020-х гг., 41,5, 34,4 и 32,9% в 2050-х гг. и 36,8, 36 и 41,5% в 2080-х гг.

Индексы засушливости де Мартона и Эмбергера мы рассчитали, используя уменьшенные в масштабе данные об осадках и температуре, а также данные наблюдений за исходный (наблюдаемый) период и за три будущих периода для сценариев RCP 26, RCP 45 и RCP 85. Результат вычисления индекса де Мартона показывает, что исследованный район – сухой и полусухой для всех периодов и всех сценариев RCP по модели CanESM2. Значения индекса немного увеличатся в 2020-х и 2050-х гг. для всех перечисленных сценариев, поскольку в будущем температура продолжит повышаться на их основе. В 2080-х годах значение индекса засушливости де Мартона снизится при RCP 85, останется без изменений при RCP 45 и несильно увеличится при RCP 26.

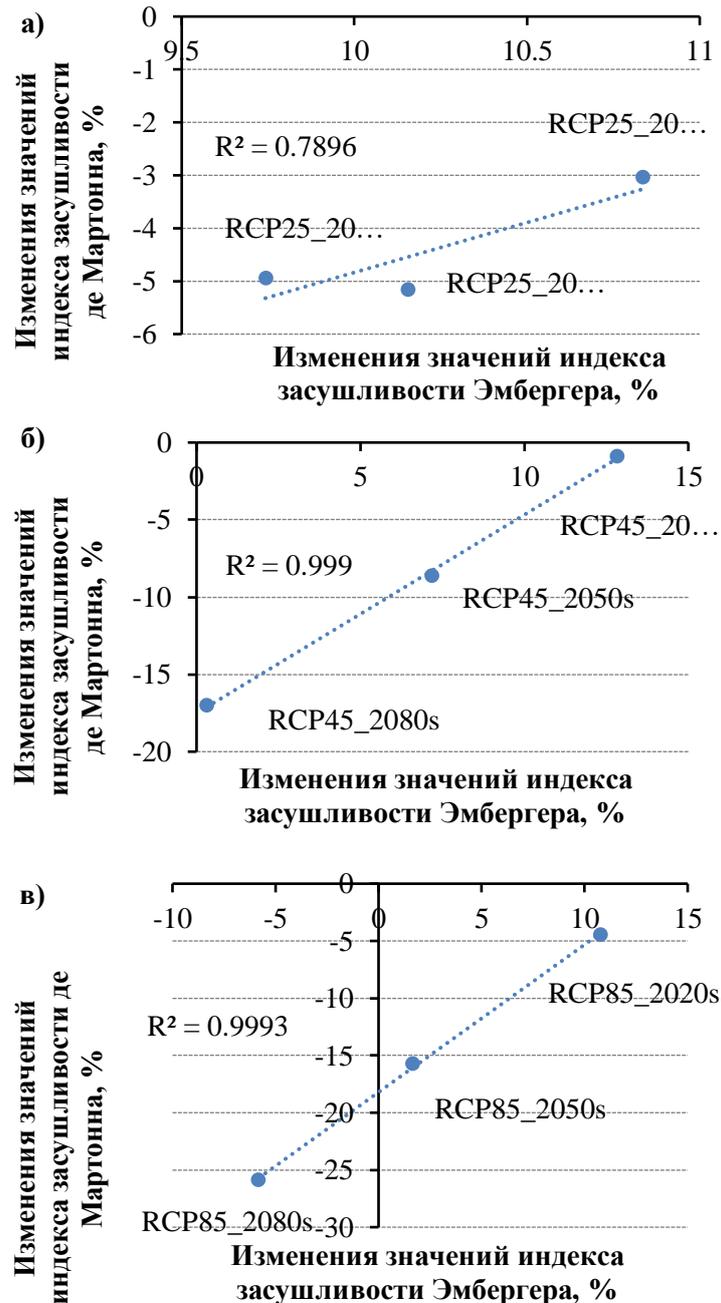
Судя по ежемесячному диапазону значений индекса засушливости де Мартона, период с апреля по октябрь является засушливым, а остальные месяцы – полузасушливыми для всех сценариев выброса газов. Частично это может быть связано с уменьшением количества осадков и повышением температуры с апреля по октябрь, а значит, именно в этот период земля наиболее нуждается в орошении. Самое высокое значение индекса засушливости де Мартона ожидается в январе, а самое низкое – в августе для всех трех сценариев RCP. Результаты представлены на рисунке 2.



**Рис. 2.** Процентные изменения индекса засушливости де Мартона для будущих периодов: а) 2020-е годы, б) 2050-е годы, в) 2080-е годы для трех сценариев выбросов RCP 26, RCP 45 и RCP 85.

В летний сезон каждого из трех выбранных периодов влажность уменьшится при сценариях RCP 26 и RCP 45. То же произойдет и для сценария RCP 85, но только не в июне 2020-х гг., значения которого, предположительно, останутся стабильными. Самые высокие значения влажности установлены для января 2020-х для сценария RCP 45 за счет обильных осадков. Наибольшее снижение влажности прогнозируется для лета 2050-х при сценарии RCP 45, поскольку будет наблюдаться резкое повышение средних температур.

Прогнозируемый индекс засушливости Эмбергера показывает тенденцию, почти аналогичную тенденции индекса де Маргонна. На рисунке 3 значения  $R^2$  указывают на высокую корреляцию между обоими индексами, что подтверждает их сходную тенденцию для всех будущих изменений и периодов, что также соответствует результатам, полученным М.А. Gebremedhin с соавторами (2018).



**Рис. 3.** Корреляция между изменениями индексов засушливости де Маргонна и Эмбергера для сценариев выбросов парниковых газов: а) RCP 25, б) RCP 45, в) RCP 85.

Поскольку индекс засушливости Эмбергера основан на разнице между средними температурами самого жаркого и самого холодного месяцев, он подходит для выбранной нами территории, где эта разница крайне велика.

### Выводы

В данной работе мы изучили классификацию будущего климата западной части Горганской равнины в Иране, среднесуточные значения температуры и осадков которого были уменьшены с использованием статистической модели снижения масштаба (SDSM). Результаты показали, что при уменьшении масштаба осадков ошибка гораздо выше, чем при уменьшении температуры. Это может быть связано с тем, что суточное количество осадков на отдельных участках устанавливается предикторами регионального масштаба относительно плохо. Для климатической модели CanESM2 мы смоделировали сценарии климатических изменений в соответствии со сценариями выбросов RCP 26, RCP 45 и RCP 85 для трех периодов: 2020-е, 2050-е и 2080-е гг. Были использованы индексы засушливости де Мартонна и Эмбергера. Спрогнозированная температура имеет тенденцию к повышению для всех трех периодов и всех сценариев RCP. И действительно, продолжающиеся выбросы парниковых газов спровоцируют дальнейшее потепление и долгосрочные изменения в мире, а также окажут серьезное воздействие на человечество и экосистемы. Ограничение процессов глобального потепления требует стабильного управления, которое поможет снизить выбросы парниковых газов. Прогноз осадков в отличие от температуры показывает прирост месячных значений для всех трех сценариев RCP для всех сезонов года кроме лета и сентября. Соответственно ежемесячному диапазону значений индекса засушливости де Мартонна, период с апреля по октябрь является засушливым, а остальные месяцы – полузасушливыми для всех трех сценариев выбросов.

Спрогнозированный индекс засушливости Эмбергера демонстрирует схожие результаты. Значения  $R^2$  указывают на высокую корреляцию между обоими индексами, что свидетельствует об их одинаковой тенденции для всех будущих периодов и климатических изменений в них.

Поскольку более трети изученной площади отдано под орошаемое земледелие, большая часть доходов сельских жителей зависит от урожая, и, как следствие, сокращение количества осадков и усиление засухи в прогнозируемые месяцы приведет к снижению урожая, вынужденной миграции жителей и бедности в регионе, т.е. такие изменения критичны для устойчивого развития региона. Поэтому для сохранения урожая в данной местности необходимы ирригационные мероприятия. С другой стороны, некоторые хозяйственные культуры, потребляющие мало воды, можно рассмотреть в качестве альтернативы для выращивания в таких условиях. Одна из мер по экономии воды в регионе – это современные методы орошения и выращивание хлопчатника, но также стоит учитывать соответствующие схемы культивирования. Таким образом, в целях сохранения водных ресурсов, необходимо информировать население в целом и фермеров в частности о засухе и водном кризисе в регионе.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Barnston A.G. 1992. Correspondence Among the Correlation, RMSE, and Heidke Forecast Verification Measures; Refinement of the Heidke Score // *Weather And Forecasting*. Vol. 7. No. 4. Pp. 699-709.
- Chu P.S., Zhao X. 2011. Bayesian Analysis for Extreme Climatic Events: A Review // *Atmospheric Research*. Vol. 102. No. 3. Pp. 243-262.
- Emberger L. 1932. Sur une formule climatique et ses applications en botanique // *La Météorologie*. No. 92. Pp.1-10.
- Garcia R.A., Cabeza M., Rahbek C., Araújo M.B. 2014. Multiple Dimensions of Climate Change and Their Implications for Biodiversity // *Science*. Vol. 344. No. 6183. Pp. 1247-1259.
- Gebremedhin M.A., Abraha A.Z., Fenta A.A. 2018. Changes in Future Climate Indices Using Statistical Downscaling Model in the Upper Baro Basin of Ethiopia // *Theoretical and Applied Climatology*. Vol. 133. No. 1-2. Pp. 39-46.
- Gent P.R., Bryan F.O., Danabasoglu G., Doney S.C., Holland W.R., Large W.G., McWilliams J.C. 1998. The NCAR Climate System Model Global Ocean Component // *Journal of Climate*. Vol. 11. No. 6. Pp. 1287-1306.
- Subimal G., Mujumdar P.P. 2005. Future Rainfall Scenario Over Orissa with GCM Projections by Statistical Downscaling, India // *Journal of Current Science*. Vol. 90. No. 3. Pp. 396-404.
- Hrnjak I., Lukić T., Gavrilov M.B., Marković S.B., Unkašević M., Tošić I. 2014. Aridity in Vojvodina, Serbia // *Theoretical and Applied Climatology*. Vol. 115. No. 1-2. Pp. 323-332.
- Huang H., Han Y., Cao M., Song J., Xiao H. 2016. Spatial-Temporal Variation of Aridity Index of China during 1960-2013 // *Advances in Meteorology*. Vol. 2016. 10 p.

- Hyndman R.J., Koehler A.B.* 2006. Another Look at Measures of Forecast Accuracy // *International Journal of Forecasting*. Vol. 22. No. 4. Pp. 679-688.
- Field C.B., Barros V., Stocker T.F., Dahe Q.* 2012. Managing the Risks of Extreme Events and Disasters to Advance Climate Change Adaptation: Special Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge University Press. 582 p.
- Karamouz M., Falahi M., Nazif S., Rahimi F.M.* 2009. Long Lead Rainfall Prediction Using Statistical Downscaling and Artificial Neural Network Modeling // *Scientia Iranica*. Vol. 16. No. 2. Pp. 165-172.
- Kim K., Park J., Baik J., Choi M.* 2017. Evaluation of Topographical and Seasonal Feature Using GPM IMERG and TRMM 3B42 over Far-East Asia // *Atmospheric Research*. No. 187. Pp. 95-105.
- Mareuil A., Leconte R., Brissette F., Minville M.* 2007. Impacts of Climate Change on the Frequency and Severity of Floods in the Châteauguay River Basin, Canada // *Canadian Journal of Civil Engineering*. Vol. 34. No. 9. Pp. 1048-1060.
- Martinez C.J., Baigorria G.A., Jones J.W.* 2009. Use of Climate Indices to Predict Corn Yields in Southeast USA // *International Journal of Climatology: A Journal of the Royal Meteorological Society*. Vol. 29. No. 11. Pp. 1680-1691.
- Montazerolghaem M., Vervoort W., Minasny B., McBratney A.* 2016. Spatiotemporal Monthly Rainfall Forecasts for South-Eastern and Eastern Australia Using Climatic Indices // *Theoretical and Applied Climatology*. Vol. 124. No. 3-4. Pp. 1045-1063.
- Moral F.J., Rebollo F.J., Paniagua L.L., García-Martín A., Honorio F.* 2016. Spatial Distribution and Comparison of Aridity Indices in Extremadura, Southwestern Spain // *Theoretical and Applied Climatology*. Vol. 126. No. 3-4. Pp. 801-814.
- Niroshinie M.A.C., Babel M.S.* 2011. Analysis of Extreme Flooding under Future Climate Change Scenarios for Colombo // *Annual Research Journal of SLSAJ*. Vol. 11. Pp. 26-34.
- Peña-Angulo D., Trigo R.M., Cortesi N., González-Hidalgo J.C.* 2016. The Influence of Weather Types on the Monthly Average Maximum and Minimum Temperatures in the Iberian Peninsula // *Atmospheric Research*. No. 178. Pp. 217-230.
- Prentice K.C.* 1990. Bioclimatic Distribution of Vegetation for General Circulation Model Studies // *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*. No. 95 (D8). Pp. 11811-11830.
- Rahimi J., Ebrahimpour M., Khalili A.* 2013. Spatial Changes of Extended De Martonne Climatic Zones Affected by Climate Change in Iran // *Theoretical and Applied Climatology*. Vol. 112. No. 3-4. Pp. 409-418.
- Sharifi E., Steinacker R., Saghafian B.* 2018. Multi Time-Scale Evaluation of High-Resolution Satellite-Based Precipitation Products over Northeast of Austria // *Atmospheric Research*. No. 206. Pp. 46-63.
- Statistical Downscaling Model. 2022. [Электронный ресурс <https://sdsms.org.uk/sdsmsmain.html> (дата обращения 03.01.2022).]
- Stenseth N.C., Ottersen G., Hurrell J.W., Mysterud A., Lima M., Chan K.S., Yoccoz N.G., Ådlandsvik B.* 2003. Studying Climate Effects on Ecology Through the Use of Climate Indices: The North Atlantic Oscillation, El Niño Southern Oscillation and Beyond // *Proceedings of the Royal Society of London. Series B: Biological Sciences*. Vol. 270. No. 1529. Pp. 2087-2096.
- Tapiador F.J., Moreno R., Navarro A.* 2019a. Consensus in Climate Classifications for Present Climate and Global Warming Scenarios // *Atmospheric Research*. No. 216. Pp. 26-36.
- Tapiador F.J., Navarro A., Moreno R., Sánchez J.L., García-Ortega E.* 2019b. Regional Climate Models: 30 Years of Dynamical Downscaling // *Atmospheric Research*. P. 104785.
- Tapiador F.J., Moreno R., Navarro A., Sánchez J.L., García-Ortega E.* 2019c. Climate Classifications from Regional and Global Climate Models: Performances for Present Climate Estimates and Expected Changes in the Future at High Spatial Resolution // *Atmospheric research*. No. 228. Pp. 107-121.
- Tramblay Y., Hertig E.* 2018. Modeling Extreme Dry Spells in the Mediterranean Region in Connection with Atmospheric Circulation // *Atmospheric Research*. No. 202. Pp. 40-48.
- Wan K.K., Li D.H., Yang L., Lam J.C.* 2010. Climate Classifications and Building Energy Use Implications in China // *Energy and Buildings*. Vol. 42. No. 9. Pp. 1463-1471.
- Wen G., Xiao H., Yang H., Bi Y., Xu W.* 2017. Characteristics of Summer and Winter Precipitation over Northern China // *Atmospheric Research*. No. 197. Pp. 390-406.
- Wilby R.L., Dawson C.W., Barrow E.M.* 2007. Statistical Downscaling Model (SDSM), Version 4.2 // *A Decision Support Tool for the Assessment of Regional Climate Change Impacts*. UK. 6 p.
- Wilby R.L., Dawson C.W., Barrow E.M.* 2002. SDSM – A Decision Support Tool for the Assessment of Regional Climate Change Impacts // *Environmental Modelling & Software*. Vol. 17. No. 2. Pp. 145-157.
- Yin C., Li Y., Ulrich P.* 2013. SimCLIM 2013 Data Manual – *ClimSystems*. 35 p.