

Климатические продукты для Кыргызстана: разработка, анализ и прогноз

*М.В. Георгиевский*¹⁾ *, *А.О. Подрезов*²⁾, *К.К. Суйналиева*³⁾,
*А.А. Ключарева*⁴⁾

¹⁾ Государственный гидрологический институт,
Россия, 199053, г. Санкт-Петербург, 2-я линия В.О., д. 23

²⁾ Центрально-Азиатский институт исследования Земли,
Кыргызская Республика, 720027, г. Бишкек, ул. Тимура Фрунзе, 73/2

³⁾ ПРООН в Кыргызстане,
Кыргызская Республика, 720001, г. Бишкек, ул. Киевская, д. 195

⁴⁾ Гидрометеорологическая служба при Министерстве чрезвычайных ситуаций
Кыргызской Республики,
Кыргызская Республика, 720017, г. Бишкек, ул. Керимбекова, д. 1

*Адрес для переписки: *mgeorgievsky@hotmail.com*

Реферат. Представлен научный анализ климатических продуктов (индексов), разработанных для территории Кыргызской Республики. Представлены результаты расчета и статистический анализ климатических продуктов за период 1980-2022 гг., выполненные на основе данных 13-ти метеорологических станций, расположенных в различных физико-географических зонах Кыргызстана. Предложена методика оценки возможных изменений значений климатических продуктов в будущем на основе данных проекта CMIP6. Результаты выполненных расчетов значений климатических продуктов позволяют сделать вывод о тенденциях изменений климата в Кыргызской Республике, которые, с большой вероятностью, продолжатся в будущем. Наиболее существенные и статистически значимые изменения связаны с вегетационным периодом.

Ключевые слова. Климатические продукты, климатические индексы, изменение климата, Кыргызская Республика, методика, прогноз.

Climate products for Kyrgyzstan: development, analysis and forecast

*M.V. Georgievsky*¹⁾ *, *A.O. Podrezov*²⁾, *K.K. Suinalieva*³⁾,
*A.A. Klyucharyova*⁴⁾

¹⁾ State Hydrological Institute,
23, 2nd line, Vasilyevsky Island, 199053, Saint Petersburg, Russian Federation

²⁾ Central-Asian Institute for Applied Geosciences,
73/2, Timur Frunze st., 720027, Bishkek, Kyrgyz Republic

³⁾ UNDP Kyrgyzstan,
195, Kyiv st., 720001, Bishkek, Kyrgyz Republic

⁴⁾ Hydrometeorological Service under the Ministry of Emergency Situations
of the Kyrgyz Republic,
1, Kerimbekova st., 720017, Bishkek, Kyrgyz Republic

*Correspondence address: *mgeorgievsky@hotmail.com*

Abstract. The article presents a scientific analysis of climate products (indices) developed for the territory of the Kyrgyz Republic. The calculation results and statistical analysis of the climate products for the period 1980-2022 are presented, based on data from 13 meteorological stations located in various physical and geographical zones of Kyrgyzstan. A methodology for assessing possible changes in the values of climate products in the future based on data from the CMIP6 project is proposed and the obtained results are presented. The estimated values of the climate products allow to draw a conclusion about the observed trends of climate change in the Kyrgyz Republic, which are likely to continue in the future. The most noteworthy and statistically significant changes are associated with the growing season.

Keywords. Climate products, climate indices, climate change, the Kyrgyz Republic, methodology, forecast.

Введение

В 2021 г. Программой развития, разработанной Организацией Объединённых Наций в Кыргызской Республике и Зелёным климатическим фондом (ПРООН-ЗКФ Кыргызстана), был инициирован национальный проект «Продвижение процесса разработки Национального адаптационного плана (НАП) для среднесрочного и долгосрочного планирования и реализации адаптационных мер к изменению климата в Кыргызской Республике», направленный на оказание поддержки Кабинету Министров Кыргызской Республики в создании и реализации процесса планирования адаптации к изменению климата (ПРООН в Кыргызстане ..., 2021). Целью институционального укрепления и улучшения вертикальной и горизонтальной координации является планирование мер и разработка программы приоритетных инвестиций по адаптации к изменению климата, обеспечение учета климатических рисков на отраслевом и субнациональном уровнях (Министерство природных ресурсов ..., 2025). Для реализации проекта по линии ПРООН-ЗКФ Кыргызстана привлекались эксперты из Российской Федерации. Одним из важных компонентов проекта была разработка климатических продуктов, ориентированных на конкретные потребности как четырех приоритетных секторов Кыргызстана (управление стихийными бедствиями и чрезвычайными ситуациями, здравоохранение, лес и сохранение биоразнообразия, сельское хозяйство и ирригация), так и частных производителей.

Климатические продукты – термин, получивший широкое распростра-

нение в последнее время в контексте происходящих климатических изменений, в то же время имеющий довольно широкий спектр интерпретаций. В данной статье представлены результаты научного анализа климатических продуктов, разработанных для территории Республики Кыргызстан. Основой для разработки послужили климатические индексы, на базе которых в результате совместной работы международных (российских) и национальных экспертов, специалистов ПРООН-ЗКФ Кыргызстана и Гидрометеорологической службы при Министерстве чрезвычайных ситуаций Кыргызской Республики (МЧС КР), а также представителей приоритетных секторов Кыргызстана был сформирован список из одиннадцати климатических продуктов. Расчет климатических продуктов был выполнен за период 1980-2022 гг., по данным 13-ти метеорологических станций, расположенных в различных физико-географических зонах Кыргызстана. Результаты расчета выявляли текущие тенденции изменений климатических продуктов. В статье также описана методика оценки возможных изменений значений климатических продуктов в будущем на основе данных проекта CMIP6 и приведены полученные по ней результаты.

Описанные в статье климатические продукты в 2024 г. были включены Национальным статистическим комитетом Кыргызской Республики в национальный набор статистических показателей изменения климата.

Климатические продукты

На начальном этапе проекта в ходе консультаций национальных экспертов и экспертов ПРООН-ЗКФ Кыргызстана со специалистами Гидрометеорологической службы при МЧС КР (Кыргызгидромет) и представителями приоритетных секторов был сформирован перечень климатических продуктов, включающий набор климатических индексов, рекомендованных группой экспертов по отраслевым климатическим индексам Всемирной метеорологической организацией (Alexander et al., 2013; Alexander, Herold, 2016). Предполагалось, что большинство индексов будет рассчитываться с помощью программы Climpact (<https://climpact-sci.org/>) (Акентьева, Тюсов, 2015). В дальнейшем в результате расчётов климатических продуктов на основе метеорологических данных, предоставленных Гидрометеорологической службой при МЧС КР, было выявлено, что в расчётные схемы некоторых из них необходимо внести изменения, так как полученные результаты были нерепрезентативны для территории Кыргызской Республики. Также анализ рассчитанных значений показал, что помимо изменения схем расчета необходимо увеличить количество климатических продуктов с целью предоставления пользователям более полной и качественной климатической информации.

В табл. 1 представлен принятый перечень климатических продуктов Кыргызстана, включая схемы расчета и необходимые исходные данные.

Таблица 1. Климатические продукты (индексы) для территории Кыргызстана и их схемы расчета
Table 1. Climate products of Kyrgyzstan and their calculation schemes

Название климатического продукта	Исходные данные	Схема расчета
Число дней с заморозками	Tmin	Количество дней в течение года, когда Tmin < 0°C
Число морозных дней	Tmax	Количество дней в течение года, когда Tmax < 0°C
Начало вегетационного периода	Tсут	Дата начала вегетационного периода определяется как последнее появление 6 дней подряд со среднесуточной температурой воздуха больше 5°C в первой половине года
Окончание вегетационного периода	Tсут	Дата окончания вегетационного периода определяется как первое наблюдение отрицательной температуры воздуха во второй половине года
Продолжительность вегетационного периода	Tсут	Количество дней в течение года между датой окончания вегетационного периода и датой начала вегетационного периода
Сумма температур вегетационного периода	Tсут	Рассчитывается как сумма суточных температур воздуха выше порогового значения 10°C
Число дней с волнами жары	Tmax	Ежегодное количество дней, когда Tmax не менее 6 дней подряд > 90%-го процентиля
Число дней с волнами холода	Tmin	Ежегодное количество дней, когда Tmin не менее 6 дней подряд < 10%-го процентиля
Засуха атмосферная	Tmax, P	Отсутствие эффективных осадков (более 5 мм в сутки) в период вегетации в течение 30 дней подряд и более при максимальной температуре воздуха выше 30°C (количество дней)
Число переходов температуры через 0°C	Tmax, Tmin	Количество дней, когда максимальная суточная температура воздуха положительная, а минимальная – отрицательная
Индекс горимости лесов	Tсут, P, Rh	Рассчитывается по формуле Нестерова. В зависимости от рассчитанного значения индекса определяется класс пожарной опасности (Шерстюков, 2012).

Примечание. Tmin – минимальная суточная температура воздуха (°C), Tmax – максимальная суточная температура воздуха (°C), Tсут = (Tmax+Tmin)/2 (°C), P – суточные осадки (мм), Rh – относительная влажность (%)

Исходные данные и методика исследований

Для расчета и анализа климатических продуктов Кыргызгидрометом были предоставлены данные по максимальным и минимальным суточным температурам воздуха ($^{\circ}\text{C}$), атмосферным осадкам (мм) и относительной влажности (%) по 13 метеорологическим станциям, расположенным в различных физико-географических зонах Республики Кыргызстан. Данные по температуре воздуха и осадкам были подготовлены за период 1980-2022 гг., а данные по влажности воздуха – за 2013-2020 гг. В табл. 2 представлен список метеорологических станций, на основе информации по которым рассчитывались климатические продукты, а также физико-географические зоны их месторасположения.

Таблица 2. Список метеорологических станций, на основе информации по которым рассчитывались климатические продукты для территории Кыргызстана

Table 2. List of meteorological stations used to calculate climate products for the territory of Kyrgyzstan

Название	Широта	Долгота	Высота (м)	Расположение
Бишкек	42.85	74.53	760	Долинная зона Чуйской области
Байтик	42.65	74.50	1580	Предгорный район Чуйской области
Талас	42.52	72.22	1207	Долинная зона Таласской области
Кызыл-Адыр	42.65	71.63	920	Долинная зона Таласской области
Жалал-Абад	40.93	72.97	763	Долинная зона Жалал-Абадской области
Ак-Терек	41.28	72.83	1748	Предгорный район Жалал-Абадской области
Узген	40.77	73.30	1014	Долинная зона Ошской области
Ноокат	40.27	72.65	1325	Предгорный район Ошской области
Нарын	41.43	75.98	2040	Зона земледелия Нарынской области
Чаяк	41.92	74.50	1652	Зона земледелия Нарынской области
Баткен	40.05	70.87	1050	Долинная зона Баткенской области
Исфана	39.80	69.52	1300	Предгорный район Баткенской области
Чолпон-Ата	42.60	77.07	1640	Иссык-Кульская котловина

После подготовки исходных данных была разработана концепция расчета климатических продуктов и анализа полученных результатов с целью предоставления пользователям (частному сектору и представителям приоритетных секторов) наглядной климатической информации, необходимой для их нужд. В результате дискуссий и обсуждений была принята методика расчета и анализа климатических продуктов, которую условно можно разбить на следующие этапы:

- расчет и анализ на основе исторических данных за период 1980-2022 гг.;
- текущий мониторинг;
- прогнозные оценки возможных будущих изменений на основе данных проекта CMIP6.

Расчет и анализ значений климатических продуктов за период 1980-2022 гг.

За исторический период был выполнен статистический анализ полученных рядов климатических продуктов (годовые значения), анализ тенденций и статистической значимости трендов, а также особенностей региональных изменений.

В табл. 3 и на рис. 1 показаны характеристики линейных трендов значений климатических продуктов Кыргызстана, рассчитанных, по данным 13 метеорологических станций, за период 1980-2022 гг. На основании представленных результатов можно сделать следующие выводы:

- связанные с холодным периодом и отрицательными температурами воздуха климатические продукты (число дней с заморозками, число морозных дней, число дней с волнами холода, начало вегетационного периода) имеют отрицательную тенденцию, причем она характерна для всех метеорологических станций, расположенных на рассматриваемой территории; при этом все тренды статистически не значимы;
- все тренды, связанные с положительными температурами и теплым периодом года (продолжительность вегетационного периода, сумма температур вегетационного периода, число дней с волнами жары), имеют положительные тенденции, которые характерны для всех метеорологических станций; большинство этих трендов статистически значимы;
- на территории Кыргызской Республики в течение 1980-2022 годов произошли существенные климатические изменения, связанные с потеплением климата, из которых можно выделить статистически значимое потепление в течение вегетационного периода;
- выявленные тенденции могут иметь негативный эффект для приоритетных секторов Кыргызстана в будущем, поэтому требуют дальнейшего мониторинга и детального изучения.

Полученные выводы сделаны на основе результатов расчета первых девяти климатических продуктов, представленных в табл. 3. Отдельно осуществлялся анализ климатического продукта «Засуха атмосферная», так как

его расчет показал, что за исследуемый период засухи наблюдались только на шести из тринадцати метеорологических станций. Наибольшее количество засух за 1980-2022 гг. отмечалось на станции Жалал-Абад – 25 засух (тенденция положительная) и на станции Баткен – 7 засух (тенденция отрицательная). На остальных метеостанциях наблюдалось не более 5 засух за анализируемый период.

Что касается «Индекса горимости лесов», то из-за короткого периода наблюдений за относительной влажностью воздуха (2013-2022 гг.) выполнить статистический анализ не представляется возможным. Основная цель разработки климатических продуктов «Засуха атмосферная» и «Индекс горимости лесов» – осуществление оперативного мониторинга значений продуктов.

Текущий мониторинг значений климатических продуктов

Как было отмечено выше, некоторые климатические продукты разрабатывались с целью текущего (оперативного) мониторинга. Для этого в рамках проекта было разработано специализированное программное обеспечение «Климатические продукты Кыргызстана», позволяющее рассчитать шесть из одиннадцати климатических продуктов (начало, окончание и продолжительность вегетационного периода, засуха атмосферная, индекс горимости лесов и количество переходов температуры воздуха через 0°C) и включающее функцию оперативного мониторинга значений климатического продукта. Прежде всего это было сделано для климатических продуктов «Засуха атмосферная» и «Индекс горимости лесов», а также продуктов, связанных с вегетационным периодом (климатические продукты «Начало вегетационного периода», «Окончание вегетационного периода» и «Продолжительность вегетационного периода»).

Расчет климатического продукта «Засуха атмосферная» осуществляется на основе классификации чрезвычайных ситуаций и критериев их оценки в Кыргызской Республике (описание схемы расчета см. в табл. 1), опубликованной в постановлении Правительства Кыргызской Республики от 22 ноября 2018 года № 550 (Постановление Правительства Кыргызской Республики ..., 2018). Этот мониторинг очень важен для таких приоритетных секторов, как сельское хозяйство и ирригация, здравоохранение, сохранение биоразнообразия, а также управления стихийными бедствиями и чрезвычайными ситуациями.

«Индекс горимости лесов» рассчитывается на основе формулы Нестерова (Шерстюков, 2012; ГОСТ Р 22.1.09-99, 1999; Методические указания ..., 1975). В зависимости от полученного накопленного значения индекса определяется класс пожарной опасности. В случае чрезвычайной пожарной опасности выдается предупреждение, в первую очередь, для лесного хозяйства и управления стихийными бедствиями и чрезвычайными ситуациями.

Таблица 3. Основные характеристики линейных трендов климатических продуктов за период 1980-2022 гг.
Table 3. Main characteristics of climate products' linear trends for the period 1980-2022

№	Климатический продукт	Метеорологические станции												Среднее по 13 метеостанциям		
		Байтвик долиновая зона, Чукотка	Биткек прем. район Чукотки	Талас долиновая зона	Кызыл-Адыр долиновая зона	Кызыл-Адыр таежная зона	Жалал-Абад долиновая зона, Кавказ	Ак-Трек прем. район Чукотки	Уткен долиновая зона (Чукотка)	Ноокат прем. район Чукотки	Нарын долиновая зона, Чукотка	Чаек долиновая зона	Баткен долиновая зона		Исфана прем. район Чукотки	Чолпон-Ата Исфана, Кавказ
1	Число дней с заморозками	146 12.4* -2.4**	110 131 -3.6	141 136 -4.3	144 146 -3.3	77 153 -5.8	105 140 -3.5	85 150 -3.8	110 125 -1.9	163 89 -1.3	167 91 -3.6	89 157 -1.5	104 137 -2.2	113 13 -1.1	121 10.9 -3.5	
2	Число морозных дней	39 12.4 -0.9	26 116 -1.8	29 115 -2.3	35 120 -2.3	12 90 -1.5	23 103 -2.4	16 110 -2.4	22 122 -2.3	97 142 -5.0	89 140 -5.2	13 100 -1.2	20 97 -2.4	9 83 -1.8	33 93 -2.4	
3	Начало вегетационного периода	104 16.2 -6.0	83 14.2 -6.0	91 13.0 -5.0	90 11.7 -3.5	68 12.9 -4.6	89 12.8 -3.2	73 13.4 -4.9	83 13.3 -4.3	100 10.1 -2.3	96 9.2 -2.7	75 14.4 -6.3	84 14.0 -4.9	98 9.1 -2.7	87 9.8 -4.4	
4	Окончание вегетационного периода	281 13.2 1.8	295 12.5 -0.5	279 14.1 2.9	273 15.9 3.9	319 14.3 1.8	297 13.8 0.9	311 14.2 -0.3	300 11.2 0.8	281 10.5 0.4	279 9.8 0.2	310 14.9 -0.9	293 12.0 0.4	308 15.7 -2.1	294 7.7 0.9	
5	Продолжительность вегетационного периода	177 22.0 7.8	212 19.1 5.4	188 22.0 7.9	183 23.0 7.4	251 20.1 6.5	208 20.0 4.1	238 19.4 4.7	217 18.9 5.2	181 15.4 2.7	183 14.5 2.9	235 21.1 5.4	209 19.7 5.3	211 17.7 0.5	206 13.8 5.3	
6	Сумма температур вегетационного периода	940 110 36.9	2033 180 105	1392 154 86.6	1436 102 50.4	2496 192 112	1426 137 40.9	2151 200 104	1655 112 32.0	910 112 35.9	1104 106 21.5	2223 148 44.7	1527 152 71.5	994 92.0 26.4	1555 127 60.3	
7	Число дней с волнами жары	2.2 3.9 1.3	2.1 4.4 1.6	2.9 6.0 1.8	2.0 4.0 1.3	4.2 6.2 1.9	3.3 5.4 0.7	4.6 7.9 3.5	4.1 7.4 2.2	4.5 7.7 2.7	6.7 11.0 2.7	4.7 7.6 3.6	4.8 9.9 3.6	3.7 6.5 0.8	3.9 4.9 2.1	
8	Число дней с волнами холода	3.0 6.5 -1.2	5.4 8.4 -2.0	5.3 7.1 -0.8	6.0 9.5 -2.0	4.9 7.9 -3.0	4.8 6.2 -1.3	5.8 8.3 -3.6	4.1 7.1 -1.8	4.5 6.8 -0.7	5.0 6.8 -1.4	5.6 8.0 -1.5	5.7 6.9 -2.3	3.2 5.8 -1.3	4.9 5.7 -1.8	
9	Число переходов температуры через 0°С	105 16.1 -1.5	83 12.8 -1.4	112 15.1 -2.2	107 12.8 -0.5	64 13.6 -4.5	81 13.2 -1.5	68 11.8 -1.4	86 14.0 0.4	65 13.1 3.8	78 13.6 -1.1	74 16.2 -0.3	82 13.6 0.3	103 12.9 0.7	86 9.6 -1.0	
10	Индекс горимости лесов по формуле Нестерова	231***	939	715	832	986	486	836	776	402	471	1412	682	0	711	
11	Засуха атмосферы	0***	4	0	1	25	0	5	2	0	0	7	0	0	3	

* - первое значение (выделено жирным шрифтом) - среднее значение за период 1980-2022 гг., второе значение - среднеквадратическое отклонение.

** - коэффициент линейного тренда а (в 10 лет).

*** - количество дней за период 2013-2022 гг., за которые рассматривался индекс горимости лесов по формуле Нестерова.

**** - количество атмосферных засух за период 1980-2022 гг.

■ - отрицательный тренд ■ - положительный тренд ■ - статистически значимый тренд

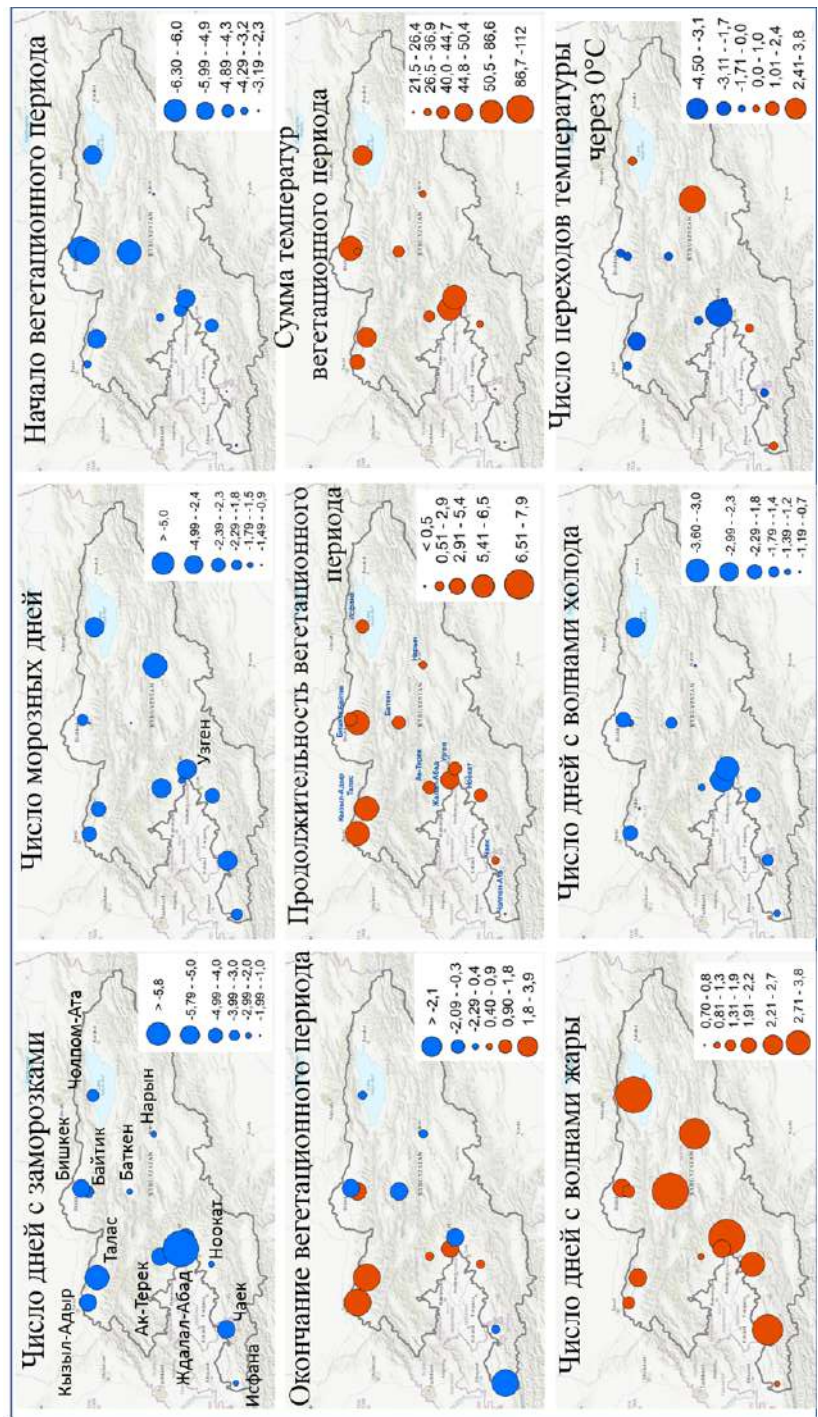


Рисунок 1. Значения коэффициентов линейных трендов климатических продуктов Кыргызстана за период 1980-2022 гг.

Figure 1. Values of linear trend coefficients of Kyrgyzstan climate products for the period 1980-2022

Изначально предполагалось, что продолжительность вегетационного периода будет оцениваться посредством индекса GSL (growing season length) и рассчитываться с помощью программы Climpact (<https://climpact-sci.org/indices/#index-GSL>). Однако результаты расчета данного индекса продемонстрировали, что эта схема расчета не подходит для территории Кыргызской Республики. Результаты значений дат начала и окончания вегетационного периода и, соответственно, его продолжительности не соответствовали фактическим датам начала и окончания вегетационного периода на исследуемой территории. Вследствие этого в схему расчёта были внесены изменения (см. в табл. 1) и вместо одного климатического продукта было решено рассчитывать три, включая начало и окончание вегетационного периода. Временные характеристики вегетационного периода и их текущий мониторинг важны практически для всех приоритетных секторов Кыргызстана, а также для представителей частного сектора и фермерских хозяйств.

Прогнозные оценки изменения значений климатических продуктов в будущем на основе данных CMIP6

Наряду с историческим анализом и анализом текущих тенденций, наиболее важным направлением любых климатических исследований является прогноз возможных будущих изменений на краткосрочную и долгосрочную перспективу. Краткосрочное прогнозирование климатических продуктов на перспективу 1-5 лет задача, по мнению авторов, трудновыполнимая прежде всего из-за отсутствия утверждённых и научно обоснованных методик. Что касается долгосрочного прогнозирования, то в последние десятилетия наибольшее распространение получили прогнозные оценки изменения климата, выполненные для различных климатических сценариев на основе данных проектов CMIP (Coupled Model Intercomparison Project) (Meehl et al., 1997).

Для расчета прогнозных оценок изменения значений климатических продуктов в будущем на перспективу до 2080 г. авторами была предложена методика, основанная на данных последней шестой фазы проекта CMIP – CMIP6 (Добровольский и др., 2023; Eyring et al., 2016). Она предполагала использование суточных данных по минимальной и максимальной температурам воздуха, а также суточным суммам атмосферных осадков для расчета десяти климатических продуктов (все климатические продукты за исключением «Индекса горимости лесов», где необходимы данные по влажности воздуха) и их возможных будущих изменений с использованием данных двух климатических сценариев умеренно-агрессивного SSP2-4.5 и агрессивного SSP5-8.5 за период 2021-2080 гг. по сравнению с историческим периодом 1980-2014 гг. для всей территории Кыргызской Республики. Оценки производились по данным ансамблевого осреднения результатов расчетов климатических моделей проекта CMIP6. Для формирования ансамбля моделей использовался метод мягкой дискриминации климатических моделей, т.е. в ансамбль включались данные по всем моделям, для которых была доступна

исходная информация по всем климатическим переменным и всем сценариям за все периоды. В итоге был сформирован ансамбль из 23 моделей. После формирования многолетних рядов осадков и температуры воздуха, последние использовались как исходные данные для расчета будущих изменений климатических продуктов с помощью программного обеспечения Climpract и «Климатические продукты Кыргызстана». На рис. 2 представлены полученные значения вероятных изменений девяти климатических продуктов до 2080 г.

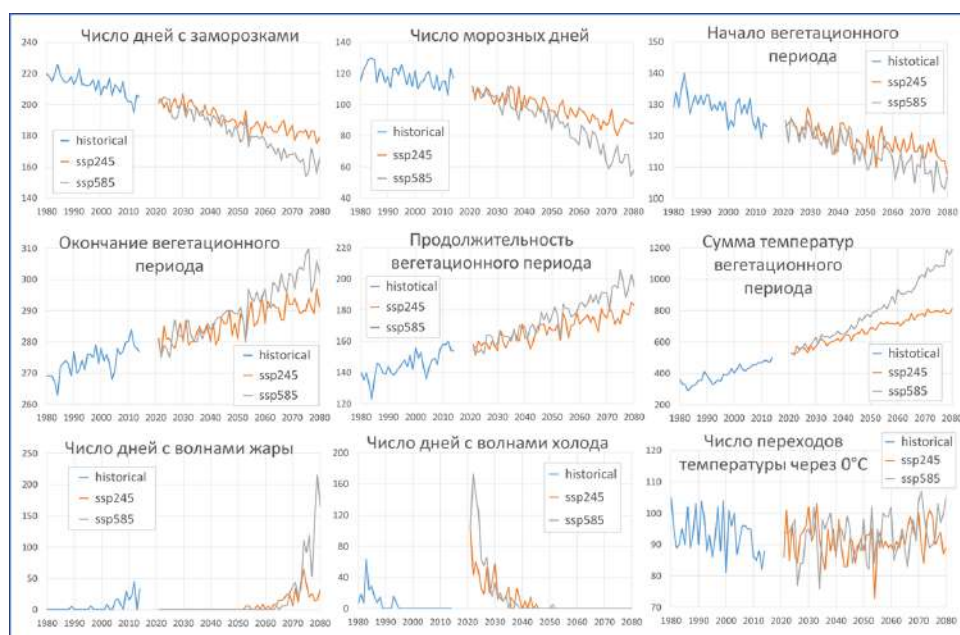


Рисунок 2. Вероятные изменения значений климатических продуктов в будущем до 2080 г., рассчитанные на основе умеренно-агрессивного SSP2-4.5 и агрессивного SSP5-8.5 сценариев по сравнению с историческим периодом 1980-2014 гг.

Figure 2. Probable changes in climate product values in the future up to 2080, calculated based on the moderately aggressive SSP2-4.5 and aggressive SSP5-8.5 scenarios compared to the historical period of 1980-2014

Дополнительно был выполнен анализ на основе месячных данных по температуре воздуха и атмосферным осадкам проекта СМIP6. Также использовался метод ансамблевого осреднения (30 моделей) для территории Кыргызской Республики. Анализ осуществлялся путем сравнения осредненных значений климатических переменных за периоды 2021-2040, 2041-2060 и 2061-2080 гг. по трем прогнозным сценариям (SSP1-2.6 (умеренный сценарий), SSP2-4.5 и SSP5-8.5) по сравнению с историческим сценарием (historical) за 1981-2000 гг. (рис. 3). Основной целью анализа месячных данных являлась проверка полученных результатов по прогнозным оценкам климатических продуктов и тенденциям изменения климата.

Существенным недостатком вышеописанной методики, который дает повод для обоснованных критических замечаний, является то, что территория Кыргызской Республики слишком мала относительно пространственного раз-

решения исходных модельных данных проекта CMIP6. Авторами был выполнен аналогичный представленному на рис. 3 анализу расчет для территории пяти республик Средней Азии: Кыргызстана, Таджикистана, Туркменистана, Узбекистана и Казахстана, который показал схожие тенденции изменения температуры воздуха и осадков в данном регионе.

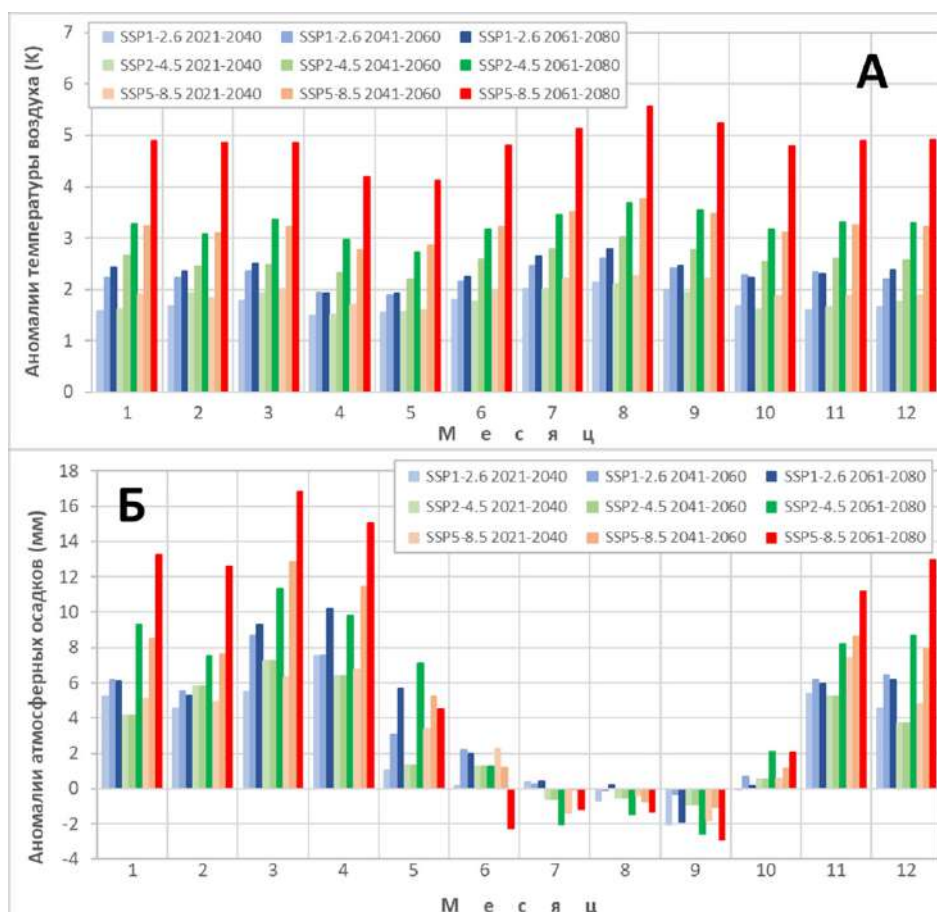


Рисунок 3. Внутригодовые аномалии средней месячной температуры воздуха (А) и месячных сумм атмосферных осадков (Б) в Кыргызской Республике, рассчитанные на основе ансамбля из 30-ти моделей проекта CMIP6 по трем прогнозированным сценариям (SSP1-2.6, SSP2-4.5 и SSP5-8.5) за периоды 2021-2040, 2041-2060 и 2061-2080 гг. по сравнению с историческим сценарием (historical) за период 1981-2000 гг.

Figure 3. Intra-annual anomalies of average monthly air temperature (A) and monthly precipitation (B) in the Kyrgyz Republic calculated based on an ensemble of 30 CMIP6 project models under three forecast scenarios (SSP1-2.6, SSP2-4.5 and SSP5-8.5) for the periods 2021-2040, 2041-2060 and 2061-2080 compared to the historical scenario for the period 1981-2000

Анализируя показанные на рис. 2 и 3 результаты, можно сделать вывод о том, что все тенденции в изменениях климатических продуктов, происходящие в настоящее время, будут наблюдаться и в будущем, причем степень этих изменений будет зависеть от того, по какому климатическому сценарию они

будут развиваться. Что касается непосредственно самих будущих изменений климата на территории Кыргызстана, то авторам кажется маловероятным развитие климата по агрессивному сценарию SSP5-8.5, который дает слишком существенное потепление в ближайшие 40-50 лет (около 5°C). В прогнозных оценках целесообразно ориентироваться на значения в диапазоне рассчитанных данных по сценариям SSP2-4.5 и SSP5-8.5.

Также стоит отметить, что при анализе суточных данных CMIP6 по температуре воздуха было установлено (анализировались данные по историческому сценарию), что для территории Кыргызской Республики они дают значительно более низкие значения по сравнению с наблюдаемыми данными. По всей видимости это объясняется тем, что из-за грубого пространственного разрешения климатических моделей проекта CMIP6 преобладающая территория республики определяется как высотные горные регионы. Такие низкие значения температуры воздуха не позволили выполнить анализ атмосферных засух.

В заключение хотелось бы отметить, что представленная выше методика и полученные по ней результаты не являются окончательными, а в большей степени служат отправной точкой для дискуссии о возможных будущих изменениях в исследуемом районе.

Заключение

Представленный в статье научный анализ рассчитанных значений климатических продуктов за исторический и прогнозный периоды позволяет сделать вывод о наблюдающихся тенденциях изменения климата в Кыргызской Республике, связанных, в первую очередь, со значимым потеплением, которое, с большой вероятностью, продолжится в будущем. Климатические изменения влияют на значения климатических продуктов (индексов) и тенденцию их изменений. Наиболее существенные и статистически значимые изменения отмечаются в вегетационный период.

В настоящее время климатические продукты приняты Национальным статистическим комитетом Кыргызской Республики в национальный набор показателей в области статистики изменения климата. Ответственной организацией за подготовку и распространение климатических продуктов, а также контакты с потенциальными пользователями продуктов является Гидрометеорологическая служба при МЧС КР.

Стоит отметить, что помимо разработки и научного анализа климатических продуктов очень важной составляющей проекта является работа с потенциальными их пользователями: представителями приоритетных секторов и частными предпринимателями. Обоснование необходимости и важности климатических продуктов, а также демонстрация их практической пользы для конечного потребителя – важнейшее направление проекта. Для этого в настоящий момент ПРООН-ЗКФ Кыргызстана привлекаются консалтинговые и дизайнерские агентства.

Тем не менее в заключение необходимо отметить, что, по мнению авторов, научная работа по разработке и поддержке климатических продуктов для территории Кыргызстана должна быть продолжена и стать систематической. В настоящий момент для этого сделан первый важный шаг. В дальнейшем должны быть проведены более детальные научные исследования по каждому из климатических продуктов с привлечением профильных специалистов. Следует проводить систематические обсуждения с участием всех заинтересованных лиц. Необходим постоянный оперативный мониторинг существующих рядов климатических продуктов на основе поступающей метеорологической информации.

Разработка климатических продуктов для территории Кыргызстана – результат плодотворной совместной работы российских и кыргызских специалистов.

Список литературы

Акентьева, Е.М., Тюсов, Г.А. (2015) Использование программного продукта ClimPACT для оценок воздействия климатических факторов на производство электроэнергии (на примере функционирования ТЭС и АЭС), *Труды ГГО*, № 578, с. 86-100.

ГОСТ Р 22.1.09-99 (1999) *Безопасность в чрезвычайных ситуациях. Мониторинг и прогнозирование лесных пожаров. Общие требования*, М., 13 с.

Добровольский, С.Г., Юшков, В.П., Соломонова, И.В. (2023) Модели общей циркуляции атмосферы проекта SMIP-6 для диагноза изменения климатических параметров глобального водообмена, *Системы контроля окружающей среды*, № 3 (53), с. 16-26, doi:10.33075/2220-5861-2023-3-16-26.

Методические указания по прогнозированию пожарной опасности в лесах по условиям погоды (1975) М., Гидрометеиздат, 15 с.

Министерство природных ресурсов, экологии и технического надзора Кыргызской Республики: НАП (2025) Электронный ресурс, URL: <https://mnr.gov.kg/ru/page/nar> (дата обращения: 27.01.2025).

Постановление Правительства Кыргызской Республики от 22 ноября 2018 года № 550 «Об утверждении Классификации чрезвычайных ситуаций и критериев их оценки в Кыргызской Республике» (2018) Электронный ресурс, URL: <https://cbd.minjust.gov.kg/12747/edition/1178558/ru?ysclid=luh60tmnn2695669787> (дата обращения: 27.01.2025).

ПРООН в Кыргызстане: В Кыргызской Республике запущен процесс национального планирования адаптации к изменению климата (2021) Электронный ресурс, URL: <https://www.undp.org/ru/kyrgyzstan/press-releases/v-kyrgyzskoy-respublike-zapuschen-process-nacionalnogo-planirovaniya-adaptacii-k-izmeneniyu-klimata> (дата обращения: 27.01.2025).

Шерстюков, Б.Г. (2012) Глава 7. Лесные пожары, *Методы оценки последствий изменения климата для физических и биологических систем*, М., Росгидромет, с. 266-300.

Alexander, L., Herold, N. (2016) ClimPACT2. Indices and software, *World Climate Programme, New South Wales University of Technology*, 46 p.

Alexander, L., Yang, H., Perkins, S. (2013) ClimPact. Indices and software, *World Climate Programme, New South Wales University of Technology*, 52 p.

Eyring, V., Bony, S., Meehl, G.A. et al. (2016) Overview of the Coupled Model Intercomparison Project Phase 6 (CMIP6) experimental design and organization, *Geoscientific Model Development*, vol. 9, pp. 1937-1958, doi:10.5194/gmd-9-1937-2016.

Meehl, G.A., Boer, G.J., Covey, C. et al. (1997) Intercomparison makes for a better climate model, *Eos, Transactions American Geophysical Union*, vol. 78, no. 41, pp. 445-446, 451.

References

Akentieva, E.M., Tyusov, G.A. (2015) Ispol'zovanie programmno produkta ClimPACT dlya ocenok vozdeystviya klimaticheskikh faktorov na proizvodstvo elektroenergii (na primere funkcionirovaniya TES i AES) [Using the ClimPACT software product to assess the impact of climatic factors on electricity production (using the example of the operation of thermal power plants and nuclear power plants)], *Trudy GGO*, no. 578, pp. 86-100.

GOST R 22.1.09-99 (1999) *Bezopasnost' v chrezvychajnykh situatsiyah. Monitoring i prognozirovaniye lesnykh pozharov. Obshchie trebovaniya* [GOST R 22.1.09-99. Safety in emergency situations. Monitoring and forecasting forest fires. General requirements], Moscow, Russia, 13 p.

Dobrovol'skij, S.G., Yushkov, V.P., Solomonova, I.V. (2023) Modeli obshchej cirkulyatsii atmosfery proekta CMIP-6 dlya diagnoza izmeneniya klimaticheskikh parametrov global'nogo vodoobmena [CMIP-6 general atmospheric circulation models for the diagnosis of changes in the climatic parameters of global water exchange], *Sistemy kontrolya okruzhayushchej sredy* [Environmental control systems], no. 3 (53), pp. 16-26, doi:10.33075/2220-5861-2023-3-16-26.

Metodicheskie ukazaniya po prognozirovaniyu pozharnoj opasnosti v lesah po usloviyam pogody [Guidelines for forecasting fire hazard in forests based on weather conditions] (1975) Hydrometeoizdat, Moscow, Russia, 15 p.

Ministerstvo prirodnih resursov, ekologii i tekhnicheskogo nadzora Kyrgyzskoj Respubliki: NAP [Ministry of Natural Resources, Ecology and Technical Supervision of the Kyrgyz Republic: NAP] (2025) Available at: <https://mnr.gov.kg/ru/page/nap> (accessed 27 January 2025).

Postanovlenii Pravitel'stva Kyrgyzskoj Respubliki ot 22 noyabrya 2018 goda № 550 «Ob utverzhdenii Klassifikatsii chrezvychajnykh situatsij i kriteriev ih ocenki v

Kyrgyzskoj Respublike» [Resolution of the Government of the Kyrgyz Republic dated November 22, 2018, no. 550 "On approval of the Classification of emergency situations and criteria for their assessment in the Kyrgyz Republic"] (2018) Available at: <https://cbd.minjust.gov.kg/12747/edition/1178558/ru?ysclid=luh60-tmn2695669787> (accessed 27 January 2025).

PROON v Kyrgyzstane: V Kyrgyzskoj Respublike zapushchen process nacional'nogo planirovaniya adaptacii k izmeneniyu klimata [UNDP in Kyrgyzstan: National Climate Change Adaptation Planning Process Launched in the Kyrgyz Republic] (2021) Available at: <https://www.undp.org/ru/kyrgyzstan/press-releases/v-kyrgyzskoy-respublike-zapuschen-process-nacionalnogo-planirovaniya-adaptacii-k-izmeneniyu-klimata> (accessed 27 January 2025).

Sherstyukov, B.G. (2012) Glava 7. Lesnye pozhary [Chapter 7. Forest Fires], *Metody ocenki posledstvij izmeneniya klimata dlya fizicheskikh i biologicheskikh system* [Methods for assessing the impacts of climate change on physical and biological systems], Moscow, Roshydromet, pp. 266-300.

Alexander, L., Herold, N. (2016) ClimPACT2. Indices and software, *World Climate Programme, New South Wales University of Technology*, 46 p.

Alexander, L., Yang, H., Perkins, S. (2013) ClimPact. Indices and software, *World Climate Programme, New South Wales University of Technology*, 52 p.

Eyring, V., Bony, S., Meehl, G.A. et al. (2016) Overview of the Coupled Model Intercomparison Project Phase 6 (CMIP6) experimental design and organization, *Geoscientific Model Development*, vol. 9, pp. 1937-1958, doi: 10.5194/gmd-9-1937-2016.

Meehl, G.A., Boer, G.J., Covey, C. et al. (1997) Intercomparison makes for a better climate model, *Eos, Transactions American Geophysical Union*, vol. 78, no. 41, pp. 445-446, 451.

Статья поступила в редакцию (Received): 04.02.2025.

Статья доработана после рецензирования (Revised): 20.03.2025.

Принята к публикации (Accepted): 09.04.2025.

Для цитирования / For citation:

Георгиевский, М.В., Подрезов, А.О., Суйналиева, К.К., Ключарева, А.А. (2025) Климатические продукты для Кыргызстана: разработка, анализ и прогноз, *Фундаментальная и прикладная климатология*, т. 11, № 2, с. 162-177, doi: 10.21513/2410-8758-2025-2-162-177.

Georgievsky, M.V., Podrezov, A.O., Suinalieva, K.K., Klyucharyova, A.A. (2025) Climate products for Kyrgyzstan: development, analysis and forecast, *Fundamental and Applied Climatology*, vol. 11, no. 2, pp. 162-177, doi:10.21513/2410-8758-2025-2-162-177.