

УДК 57.045

**ОЦЕНКА ВЛАГООБЕСПЕЧЕННОСТИ АГРОФИТОЦЕНОЗОВ В  
МЕЖГОРНЫХ КОТЛОВИНАХ РЕСПУБЛИКИ ТЫВА**

Канзываа С.О., Куулар Э.А., Кужугетова Ш.К.

Тувинский государственный университет, г. Кызыл

**ASSESSMENT OF MOISTURE AVAILABILITY OF AGROPHYTOCENOSES IN  
INTERMOUNTAIN BASINS OF THE REPUBLIC OF TUVA**

Kanzyvaa S.O., Kuular E-S. A., Kuzhugetovna Sh.K.

Tuvan State University, Kyzyl

**Аннотация.** В статье представлены результаты детального анализа банка данных показателей метеоусловий для выявления степени влагообеспеченности агрофитоценозов межгорных котловин Республики Тыва. Представлены расчеты гидротермического коэффициента, испаряемости влаги и продуктивной влаги по данным шести метеостанций (Чадан, Шагонар, Кызыл, Турен, Сосновка, Эрзин), расположенных в южной, центральной и западной зонах республики. Отмечается потепление климата на 4,2 °C в центральной части республики, в целом изменение режима увлажнения в сторону увеличения до 2021 года, когда ГТК в среднем составлял 2,85 ед., что соответствует уровня достаточного увлажнения. Однако малое количество годовой суммы осадков 117-272 мм, наблюдавшихся в 2022-2024 гг., на фоне увеличения среднемесячной и годовой температуры воздуха, способствовало снижению влагообеспеченности южных и западных районов до уровня крайне засушливой зоны, где ГТК составил 0,46-0,99 ед., и центральных районов до уровня засушливой зоны ( $\text{ГТК}=1,37$ ).

**Ключевые слова:** котловина, среднемесячная температура, осадки, гидротермический коэффициент, динамика, вегетационный период, атмосферная засуха

**Abstract.** The article presents the results of a detailed analysis of the database of weather conditions indicators to identify the degree of moisture availability of agrophytocesenes in the intermountain basins of the Republic of Tuva. Calculations of the hydrothermal coefficient, moisture evaporation and productive moisture are presented based on data from six meteorological stations (Chadan, Shagonar, Kyzyl, Turan, Sosnovka, Erzin) located in the southern, central and western zones of the republic. There is a 4.2 °C warming of the climate in the central part of the republic, in general, a change in the humidification regime upward until 2021, when the GTC averaged 2.85 units, which corresponds to the level of sufficient

humidification. However, the low annual precipitation of 117-272 mm observed in 2022-2024, against the background of an increase in the average monthly and annual air temperature, contributed to a decrease in moisture availability in the southern and western regions to the level of the extremely arid zone, where the GTC was 0.46-0.99 units, and in the central regions to the level of the arid zone (GTC=1.37).

**Keywords:** basin, average monthly temperature, precipitation, hydrothermal coefficient, dynamics, growing season, atmospheric drought

\*- работа выполнена в рамках научной темы «Разработка адаптивной технологии возделывания зерновых бобовых кормовых культур в условиях Республики Тыва»

В аридной зоне лимитирующим фактором продуктивности агрофитоценозов является увлажнение почвы в зависимости от количества выпавших атмосферных осадков за годовой биоклиматический цикл и их распределение по сезонам года. Рациональное использование агрофитоценозов возможно только при изучении биоклиматического потенциала территории в течение года и складывающихся условий в зависимости от лимитирующего фактора, который и определяет состояние посевов [1]. В связи с этим, важным направлением исследований является оценка биоклиматического потенциала аридных территорий для определения возможности и эффективности возделывания различных сельскохозяйственных культур. Это включает в себя анализ многолетних данных по осадкам, температуре, испаряемости и другим климатическим параметрам, а также изучение их влияния на рост и развитие растений. Для агрофитоценозов в аридной зоне критически важны технологии влагосбережения и рационального использования водных ресурсов. Это может включать в себя применение засухоустойчивых сортов, использование мульчирования, внедрение капельного орошения и другие методы, направленные на уменьшение потерь влаги и повышение ее доступности для растений.

Целью настоящей работы является оценка влагообеспеченности территории Республики Тыва

Существует множество методов оценки влагообеспеченности местности, которые можно условно разделить на прямые и косвенные. Прямые методы основаны на непосредственном определении влажности почвы. Косвенные методы оценки влагообеспеченности основаны на использовании различных индикаторов, таких как метеорологические данные, данные дистанционного зондирования и физиологические показатели растений. Метеорологические данные, такие как количество осадков, температура воздуха и почвы, позволяют рассчитать различные гидротермические коэффициенты и индексы, характеризующие влагообеспеченность территории. В

большинстве случаев, наиболее эффективным является использование комплекса методов, сочетающих прямые измерения влажности почвы с косвенными оценками на основе метеорологических данных и данных дистанционного зондирования. Это позволяет получить наиболее полную и объективную информацию о влагообеспеченности агроценозов и принять обоснованные решения по управлению водным режимом сельскохозяйственных культур.

Для выявления влагообеспеченности агроценозов были использованы количественные показатели климата, данные о температуре воздуха и осадках, которые доступны в базах данных и широко используются в климатических моделях. Был собран банк данных показателей температуры воздуха и суммы осадков, влажности воздуха, скорости ветра с 1960-2024 годы по шести метеостанциям республики: Чадан, Шагонар, Кызыл, Туран, Сосновка, Эрзин.

Для оценки обеспеченности вегетационного периода осадками был рассчитан гидротермический коэффициент, испаряемость с поверхности почвы и продуктивная влага на основе водопотребления фитоценоза.

Расчет запасов продуктивной влаги осуществлялся уравнением водного баланса почвы в зависимости от суммы выпавших осадков за учетный период:

$$W_{\text{пр}} = r - (E_{\text{исп}} + E_{\text{водопот.ф}}),$$

где  $W_{\text{пр}}$  – запасы продуктивной влаги, мм;  $r$  – сумма осадков за учетный период (мм);  $E_{\text{исп.}}$  – испаряемость с поверхности почвы, мм;  $E_{\text{водопт.ф.}}$  – водопотребление фитоценоза, мм.

Для расчета испаряемости с поверхности почвы использовалось уравнение Иванова:

$$E_{\text{исп}} = 0,018[25 + T(100 - \alpha)],$$

где  $T$  – среднемесячная температура воздуха,  $^{\circ}\text{C}$ ;  $\alpha$  – среднемесячная влажность воздуха, %.

Для вычисления водопотребления поликомпонентного фитоценоза использовалось биофизическое уравнение Алпатьева. Оно характеризуется высокой точностью вычисления в зависимости от суммы дефицита влажности воздуха, представляющей разность между упругостью (давлением) насыщенного водяного пара, рассчитанную по уравнению Магнуса:

$$E = 4,6 \text{ мм. рт. см.} \cdot \frac{7,45t}{235+t}$$

и фактической упругостью (давлением) водяного пара, которую можно рассчитать

по относительной влажности воздуха:  $f = \frac{e}{E} \cdot 100$ ,

и биологического коэффициента, равного 0,65 и имеющего вид:

$$E_{\text{водоп.ф.}} = 0.65 \sum (E - e).$$

Гидротермический коэффициент определяли по уравнению Селянинова:

$$\Gamma\text{TK} = \frac{\sum t * 10}{\sum \text{осадков}}$$

#### Результаты и обсуждения.

Республика Тыва расположена в центре Азии между 50°11' – 53°46' северной широты и 88°49' – 98°56' восточной долготы. В республике выделено два макроклиматических типа местоположений: среднегорный и горный рельеф; межгорные депрессии (котловины, впадины) [2]. Климат республики – резкоконтинентальный, характеризуется большой амплитудой температуры, как в их суточном, так и в годовом ходе. В течение всего года над территорией преобладает антициклональная сухая и ясная погода. По показателям метеоданных самые низкие значения среднегодовой температуры воздуха отмечаются в середине прошлого столетия на МС Эрзин -6,2, затем МС Кызыл - 5,2 °C. Анализ годового хода полиномиального тренда температуры за 60-летний период показывает изменение температуры воздуха в сторону потепления [5]. Среднегодовая температура воздуха в Кызылском и Эрзинском районах повысилась на 4,1-4,2 °C, в Монгун-Тайгинском районе в 2 раза меньше на 2 °C (с -3,0 до -1,0 °C). Причем потепление происходит за счет потепления в переходный осенний и весенний периоды.

В своих исследованиях сотрудники Центра превосходства ТГУ «БиоКлимЛанд» также отмечают о возможных заметных изменениях экосистем в Туве, в том числе подобные тем, которые отмечаются в Арктике – «об озеленении». Подобное явление встречается и на некоторых участках степи. Хотя, согласно большинству прогнозов, аридные (сухие) территории должны становиться еще суще, но степные межгорные котловины в некоторых местах начинают покрываться молодым лесом. Этот феномен привел к появлению нового термина – «позеленение» степи (greening of the steppes)» [3]. По словам эксперта ТГУ С. Н. Карпухина причина появления растительности, нехарактерной для степной зоны, заключается в изменении режима увлажнения. Не только в Туве, но и в соседней Монголии случаются ливневые дожди, что ранее происходило крайне редко (рис. 1).

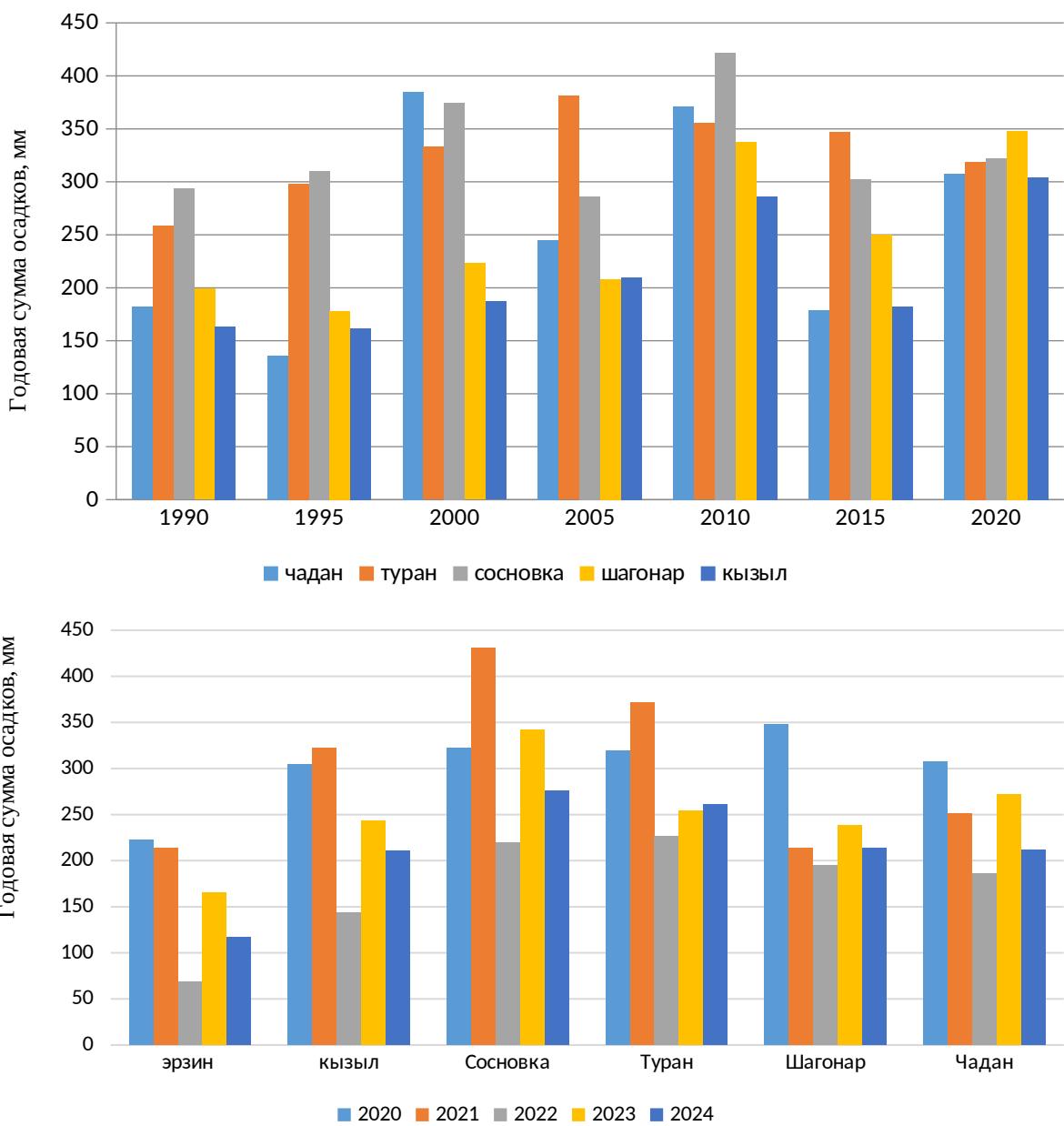


Рис. 1. Сумма осадков в год по метеорологическим станциям Республики Тыва в 1990-2020 гг и за последние 2020-2024 гг.

Сравнительный анализ суммы выпавших осадков по 5 летним периодам с 1990 по 2020 годы (рис. 1) показывает, что почти в 1,5-2 раза с 160-200 мм до 304-348 мм увеличились суммы осадков на территории Дзун-Хемчикского (МС Чадан), Улуг-Хемского (МС Шагонар) и Кызылского (МС Кызыл) районов, на 19 % или с 258 мм до 318 мм увеличилась сумма осадков в Пий-Хемском районе (МС Туран) и всего на 11% с 297 до 322 мм увеличилось количество выпавших осадков в год в Тандынском районе (МС Сосновка). Распределение осадков по сезонам года неодинаково: за летний период выпадает 59-70 % осадков, за осенне-весенний выпадает 16-40 %, в зимний – 7-22 %.

Анализ динамики режимов осадков за период с 1990 по 2020 г. указывает на повышение к 2011–2012 гг. их количества. Для конца XX в. характерен дефицит осадков в

1990-1995 гг. – 137-187 мм в Дзун-Хемчикском районе, 161-163 мм в Кызылском районе, 178-199 мм в Улуг-Хемском районе. Начиная с 2000-х гг. наблюдается тенденция к увеличению количества осадков, достигнув своего максимума в 2010 г. – 285-422 мм. В последующие пять лет наблюдается резкое снижение количества выпавших осадков до 178-182 мм (2015 г.), но к 2020 г. наблюдается увеличение в выпадении осадков – 304-348 мм. Однако отмечается, что температурный режим и количество выпадающих осадков в республике за последние 3 года возвращается к среднемноголетним показателям. За последние 3 года количество выпавших осадков составила в среднем 213 мм.

Характер выпадения осадков в течение года указывает на их неравномерность (рис.2). Максимум осадков приходится на июль месяц. В 2019-2020 гг. наблюдалось увеличения суммы осадков в июне месяце, что немаловажно для роста и развития полевых культур. Особенно для зерновых, когда критический период (фаза кущения) приходится на июнь месяц. Так сумма осадков с 14-48 мм в 2015-2018 годах увеличилась до 24-59 мм в 2019 году и до 54-73 мм в 2020 году.

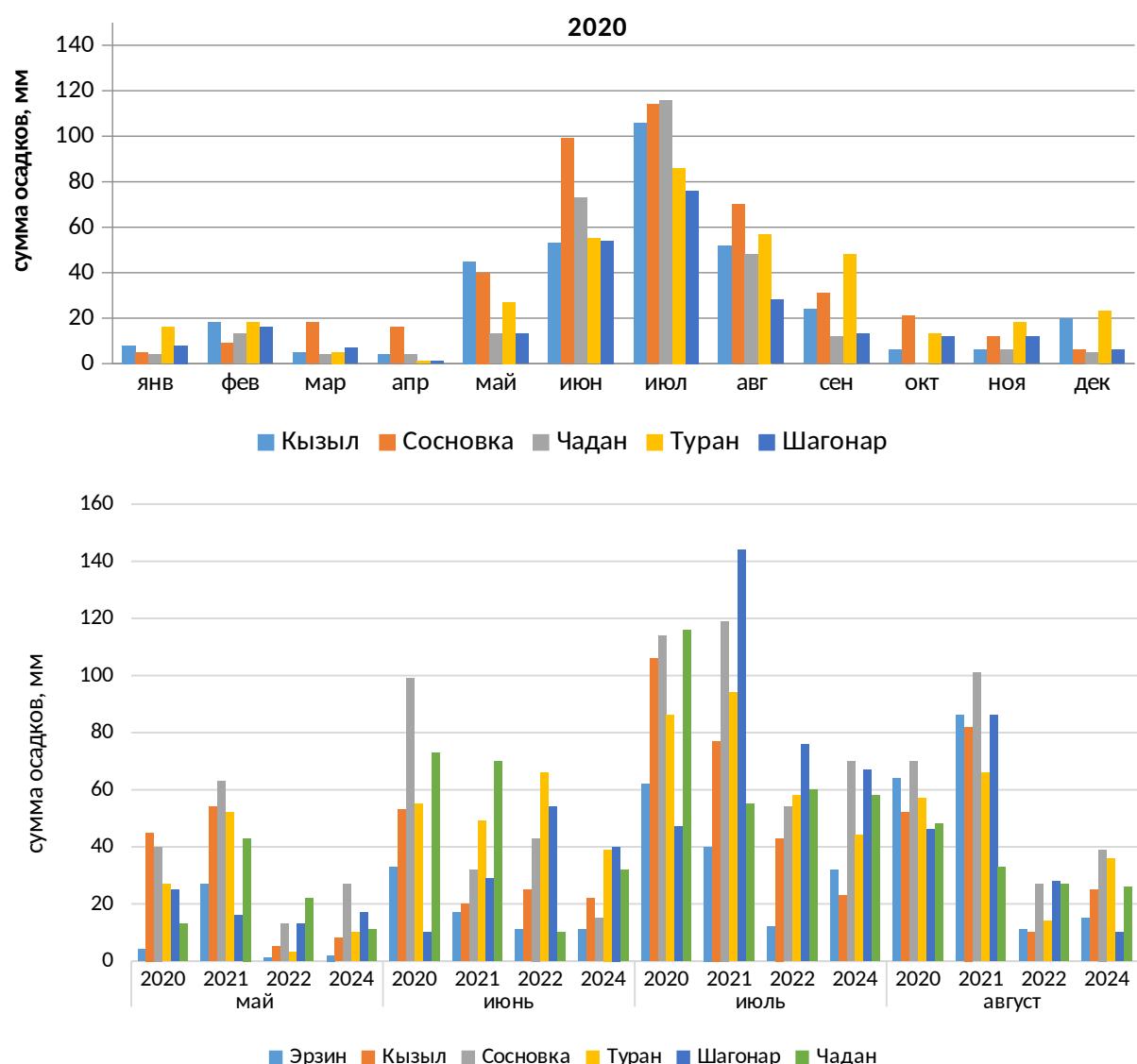


Рисунок 2. Сумма выпавших осадков по сезонам и в разные годы

Температурный режим воздуха трех, наиболее отличающихся по сумме осадков, районов показал, что ход температуры за теплый период года существенно не отличаются по районам (рис. 3). В наиболее засушливый и жаркий 2024 год максимальная среднемесячная температура воздуха отмечается в Кызыле  $24,1^{\circ}\text{C}$ , минимальное  $21,2^{\circ}\text{C}$  в Туране. В наиболее дождливое лето 2020 года и жарким 2024 годом разница среднемесячных температур в летние месяцы составила  $3-4^{\circ}\text{C}$ .

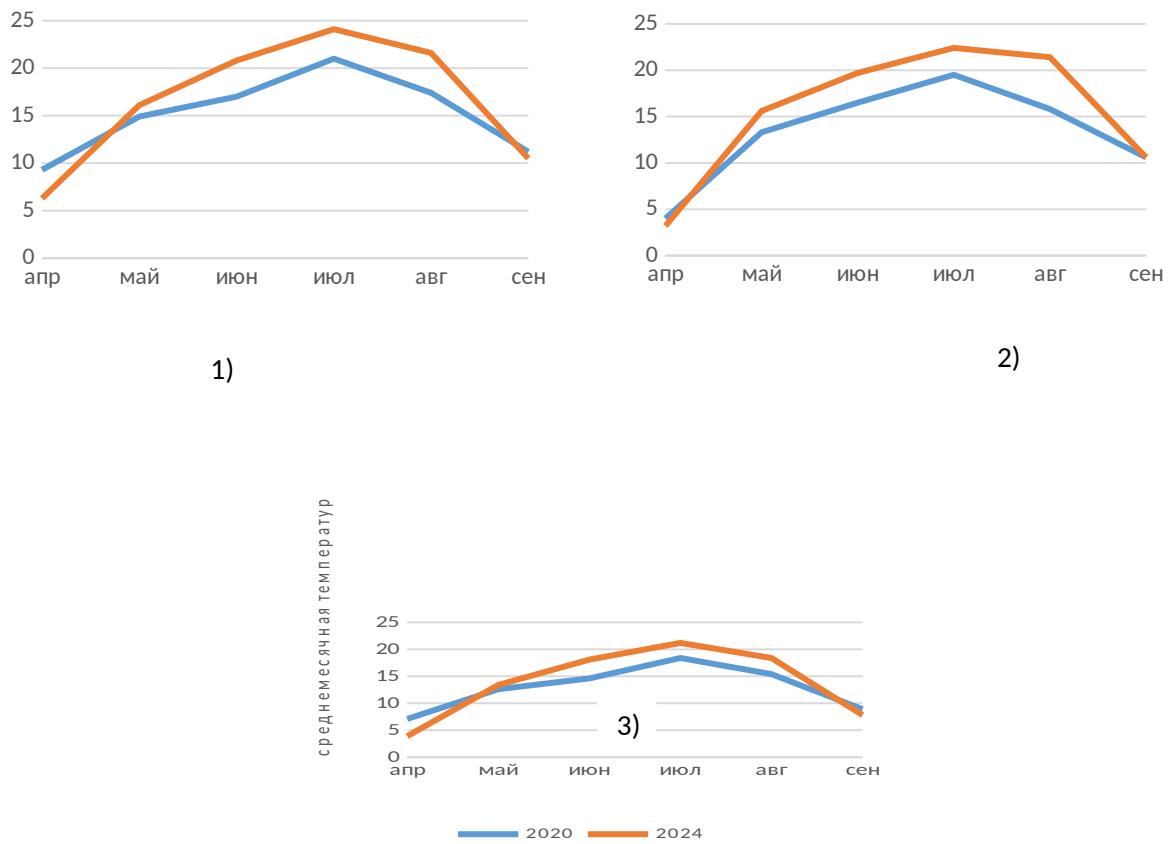


Рисунок 3. Температурный режим воздуха за теплый период 2020 и 2024 гг. (1 – МС Эрзин, 2 – МС Кызыл, 3 – МС – Туран).

Для оценки влагообеспеченности вегетационного периода был рассчитан гидротермический коэффициент, испаряемость с поверхности почвы, продуктивная влага агрофитоценозов. Значение среднемноголетних показателей ГТК были сопоставлены также из литературных источников [4, 5, 6]. Как видно из таблицы, среднемноголетние показатели гидротермического коэффициента в межгорных котловинах республики существенно 1,5-2 раза отличаются по шести районам. Благоприятными по влагообеспеченности являются Тандынский (МС Сосновка) ГТК и Кызылский районы,

уровень ГТК составили 1,52 и 1,42 ед., соответственно. Наиболее засушливыми являются Эрзинский и Дзун-Хемчикский районы, где показатели ГТК составили 0,73-0,83 ед., слабозасушливыми являются агроценозы Улуг-Хемского и Пий-Хемского районов с ГТК 1,02-1,15 ед. При достаточном количестве осадков, как отмечалось 2019-2021 гг., когда выпадало до 348-431 мм осадков вся территория республики относилась к зоне достаточным увлажнением, ГТК на территории всех районов составлял свыше 1,6 и даже достигал до 4,38. Однако с 2022 года ГТК в Эрзинском и Кызылском районах составил на уровне 0,4-0,69 ед., что соответствует сильной атмосферной засухе, в трех районах Дзун-Хемчикском, Улуг-Хемском и Пий-Хемском ГТК составил уровня засушливой – 0,85-1,20 и только в одном Тандынском районе количество выпавших осадков и температурный режим позволили отнести данный район к зоне достаточного увлажнения.

Таблица - Основные показатели влагообеспеченности региона

Метео- станция	Продуктивная влага, мм				Испаряемость с поверхности почвы, мм				ГТК				
	2020	2021	2022	2024	2020	2021	2022	2024	Ср.мн	2020	2021	2022	2024
Эрзин	114, 9	122,2	0,0	12,4	15	14	19	21	0,73	2,11	2,36	0,41	0,50
Кызыл	205, 0	181,7	34,8	28,8	14	13	17	20	1,42	1,98	2,20	0,69	0,51
Сосновка	264, 4	262,9	81,7	94,8	4	5	4	3,6	1,52	4,27	4,38	1,98	1,50
Турان	174, 7	210,1	92,3	114,0	12	10	13	15	1,15	3,48	4,66	1,20	1,15
Шагонар	121, 3	102,6	85,8	61,8	14	14	19	20	1,02	1,75	1,68	1,10	0,85
Чадан	199, 3	151,0	72,5	78,8	13	13	16	19	0,83	2,75	2,53	1,05	0,98

Таким образом, до 2021 года в республике отмечается положительный режим увлажнения котловин, где количество выпавших осадков увеличилось почти в 2 раза и достигает до 304-348 мм в год и до 73-99 мм в начале летнего периода, особенно это отмечается в тех районах, где был более сухой климат как Дзун-Хемчикский, Улуг-Хемский и Кызылский. С 2022 года отмечаются экстремально высокие температуры в летнее время и снижение количества осадков. При количестве выпавших годовой суммы осадков до 348-431 мм гидротермический коэффициент по республике достигал от 1,6 до

4,38, т.е. и территорию всей республики можно отнести к зоне достаточного увлажнения, однако с 2022 года в республике отмечается резкое снижение количества выпавших осадков, что вызывает сильные атмосферные засухи в вегетационный период.

### **Библиографический список**

1. Биоклиматический потенциал агроэкосистем Северо-Западного Прикаспия для адаптивно-ландшафтного земледелия / М. Ю. Пучков, М. А. Лысаков, Е. Г. Локтионова [и др.] Текст : непосредственный // Геология, география и глобальная энергия. 2018. № 1(68). С. 62-71.
2. Канзываа, С. О. Изменение климатических условий в разных эколого-территориальных зонах Республики Тыва / С. О. Канзываа, С. Д. Монгуш, Э. А. Куулар // Региональное сотрудничество БРИКС: современные проблемы экологии и природопользования : Материалы второй международной научно-практической конференции: тезисы докладов, Петрозаводск, 18–20 сентября 2024 года. – Петрозаводск: Федеральный исследовательский центр "Карельский научный центр РАН", 2024. С. 36-37. Текст : непосредственный.
- 3."Позеленение" степи: ученые выясняют, как изменение климата влияет на экосистемы Тувы - URL: <https://tayga.info/154027> (дата обращения 22.12.2024)
4. Андрейчик, М. Ф. Изменения климата в сухостепной зоне Тувинской горной области / М. Ф. Андрейчик // Вестник Балтийского федерального университета им. И. Канта. – 2012. – № 1. – С. 22-29. – EDN OPMUGH.
5. Андрейчик, М. Ф. Изменение температуры поверхности почвы на фоне потепления климата в Хемчикской котловине Республики Тыва / М. Ф. Андрейчик // Актуальные вопросы в научной работе и образовательной деятельности : сборник научных трудов по материалам Международной научно-практической конференции: в 11 частях, Тамбов, 30 апреля 2014 года. Том Часть 1. – Тамбов: ООО "Консалтинговая компания Юком", 2014. – С. 17-19. – EDN SUGZVT.
6. Андрейчик, М. Ф. Изменение климата в Турено-Уюкской котовине Тувинской горной области / М. Ф. Андрейчик // Вестник КрасГАУ. – 2011. – № 12(63). – С. 153-160. – EDN ONHHQR.
1. .

### **References**

- 1.Bioclimatic potential of agroecosystems of the Northwestern Caspian region for adaptive landscape agriculture / M. Y. Puchkov, M. A. Lysakov, E. G. Loktionova [et al.] // Geology,

- Geography and global energy. 2018. № 1(68). Pp. 62-71. (In Russian)
2. Kanzyvaa, S. O. Changes in climatic conditions in different ecological and territorial zones of the Republic of Tyva / S. O. Kanzvaa, S. D. Mongush, E. A. Kuular // BRICS regional cooperation: modern problems of ecology and nature management : Proceedings of the second international scientific and practical conference: abstracts, Petrozavodsk, September 18-20, 2024. Petrozavodsk: Federal Research Center "Karelian Scientific Center of the Russian Academy of Sciences", 2024. Pp. 36-37. (In Russian)
3. "Greening" the steppe: scientists will find out how climate change affects the ecosystems of Tuva. [online] Available at: <https://tayga.info/154027> (access date: 22.12.2024) (In Russian)
4. Andreychik, M. F. Climate changes in the dry-steppe zone of the Tuvan mountain region / M. F. Andreychik // Bulletin of the Baltic Federal University named after I. Kant. 2012. No. 1. PP. 22-29. (In Russian)
5. Andreychik, M. F. Changes in soil surface temperature against the background of climate warming in the Khemchik basin of the Republic of Tyva / M. F. Andreychik // Current issues in scientific work and educational activities : a collection of scientific papers based on the materials of the International Scientific and Practical Conference: in 11 parts, Tambov, April 30, 2014. Volume Part 1. Tambov: Yukom Consulting Company LLC, 2014. Pp. 17-19. (In Russian)
6. Andreychik, M. F. Climate change in the Turano-Uyuk Kotovin of the Tuvan mountain region / M. F. Andreychik // Bulletin of the KrasGAU. 2011. № 12(63). Pp. 153-160. (In Russian)

**Канзываа Светлана Отук-ооловна**, кандидат биологических наук, доцент кафедры агрономии, Тувинский государственный университет, г. Кызыл, Россия, эл. адрес: [kanzyvaa73@mail.ru](mailto:kanzyvaa73@mail.ru);

**Куулар Эне-Сай Айдашовна**, старший преподаватель кафедры агрономии, Тувинский государственный университет, г. Кызыл, Россия, эл. адрес: [enasai8688@mail.ru](mailto:enasai8688@mail.ru)

**Кужугетова Шончалай Кушкашовна**, аспирант кафедры агрономии, Тувинский государственный университет, г. Кызыл, Россия, эл. адрес: [shonia88@bk.ru](mailto:shonia88@bk.ru)

**Kanzyvaa Svetlana Otuk-oolovna**, Candidate of Biological Sciences, Associate Professor of the Department of Agronomy, Tuvan State University, Kyzyl, Russia, e-mail: kanzyvaa73@mail.ru;

**Kuular Ene-Sai Aydashovna**, Senior Lecturer at the Department of Agronomy, Tuvan State University, Kyzyl, Russia, e-mail: [enasai8688@mail.ru](mailto:enasai8688@mail.ru)

**Kuzhugetova Seanchalai Kushkashovna**, Postgraduate student of the Department of Agronomy, Tuvan State University, Kyzyl, Russia, e-mail: shonia88@bk.ru