

УДК 551.583

## АНАЛИЗ КЛИМАТИЧЕСКИХ УСЛОВИЙ В РЕСПУБЛИКЕ КАЛМЫКИЯ ЗА 1966-2017 ГГ.<sup>1</sup>

© 2020 г. Н.А. Шумова

*Институт водных проблем РАН*

*Россия, 119333, г. Москва, ул. Губкина, д. 3. E-mail: shumova\_aqua@rambler.ru*

Поступила в редакцию 20.12.2019. После доработки 01.03.2020. Принята к публикации 01.03.2020

В основе работы лежит анализ динамики температуры воздуха, атмосферных осадков и гидротермического коэффициента Селянинова за период с 1966 по 2017 год на основе данных метеорологической станции Яшкуль (Республика Калмыкия). Построение и анализ разностных интегральных кривых позволил выявить периоды с повышенными (по сравнению со средним) и пониженными значениями исследуемых величин. Сделан вывод о ведущей роли осадков в формировании гидротермических условий территории за исследуемый временной интервал и гумидном потеплении.

*Ключевые слова:* температура воздуха, атмосферные осадки, гидротермический коэффициент Селянинова, гумидное потепление, Республика Калмыкия.

**DOI: 10.24411/1993-3916-2020-10103**

Ведущими факторами природной среды, определяющими состояние и развитие наземных экосистем, является соотношение ресурсов тепла и влаги (гидротермические условия). Оценка гидротермических условий и их возможных изменений в применении к анализу состояния и развития наземных экосистем является чрезвычайно важной задачей. Для оценки гидротермических условий территории обычно используются условные показатели увлажнения, которые представляют собой отношение ресурсов влаги (осадки) к потребности во влаге, рассчитанной через испаряемость, или фактору, её заменяющему. Среди условных показателей увлажнения одним из наиболее распространенных в нашей стране является гидротермический коэффициент увлажнения Г.Т. Селянинова (1958). В настоящей работе в основе оценки гидротермических условий территории лежит анализ динамики температуры воздуха, атмосферных осадков и гидротермического коэффициента. Выявление однородных периодов, то есть групп лет с повышенными и пониженными значениями исследуемых величин, выполнено на основе анализа разностных интегральных кривых.

### Информационное обеспечение

Исходными данными для оценки гидротермических условий послужили временные ряды температуры воздуха и осадков метеорологической станции Яшкуль (46° 11' с.ш., 45° 21' в.д., абсолютная высота – 7 м н.у.м. БС), расположенной на полупустынной аккумулятивно-морской преимущественно глинистой равнине Прикаспийской низменности с резко континентальным климатом, за последний полувековой период, а именно за 1966-2017 гг. (Булыгина и др., 2019а, 2019б). Метеорологическая станция Яшкуль, наряду с метеорологической станцией Элиста (46° 22' с.ш., 44° 20' в.д., абсолютная высота – 151 м н.у.м. БС), является одной из двух метеорологических станций на территории Республики Калмыкия, включенных в Глобальную сеть наблюдений за климатом; наблюдения на этих станциях проводятся с 1928 года. Однако публикуемая версия массива данных месячных сумм осадков (Булыгина и др., 2019а) содержит информацию только с 1966 года. Это связано с тем, что до 1966 года имело место нарушение однородности рядов сумм осадков из-за изменений в методиках измерений и обработки данных, а именно переноса

<sup>1</sup> Работа выполнена в рамках темы № 0147-2019-0002 (№ государственной регистрации АААА-А18-118022090104-8) Государственного задания Института водных проблем РАН по разделу 2.6 «Эволюция наземных экосистем в изменяющихся природных условиях» темы НИР ИВП РАН «Моделирование и прогнозирование процессов восстановления качества вод и экосистем при различных сценариях изменений климата и антропогенной деятельности».

станций на открытое место (репрезентативное для ряда элементов, но не для осадков), смены прибора (установка осадкомера с защитой Третьякова) и введения с января 1966 года поправки на смачивание стенок водосборного сосуда непосредственно на метеорологической станции. После 1966 года ряды сумм осадков принято считать однородными (Булыгина и др., 2019а). Необходимо отметить, что метеорологическая станция Элиста после ее открытия дважды переносилась к северо-востоку – на 5 км в 1944 году и на 7 км в 1970 году; метеорологическая станция Яшкуль не переносилась со дня ее основания. Что касается температуры воздуха, публикуемая версия массива содержит информацию по рядам данных с начала наблюдений на метеорологической станции (Булыгина и др., 2019б).

### Результаты и обсуждение

*Температура воздуха.* Анализ динамики среднегодовой температуры воздуха  $T_{cp. год}$  на метеостанции Яшкуль (рис. 1) показал, что за период 1966-2017 гг. отмечено её увеличение. Значение среднегодовой температуры воздуха  $T_{cp. год}$  за исследуемый период изменяется в пределах от 8.4°C (1987 г.) до 12.6°C (2010 г.) при средней многолетней величине среднегодовой температуры воздуха  $T_{cp. год}$ , равной 10.7°C.

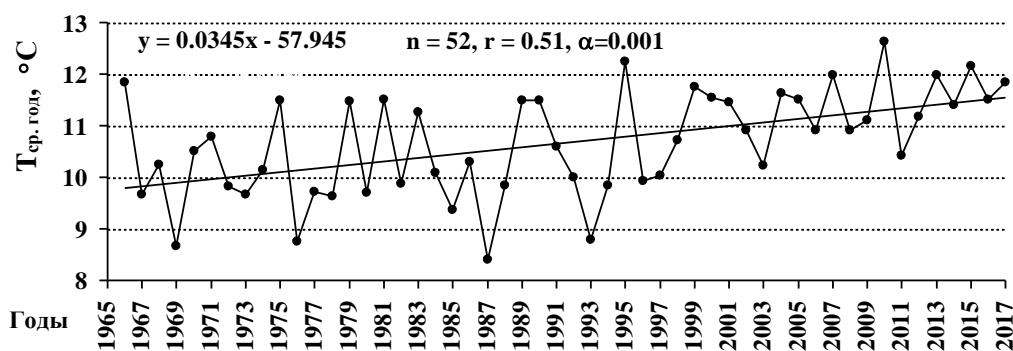


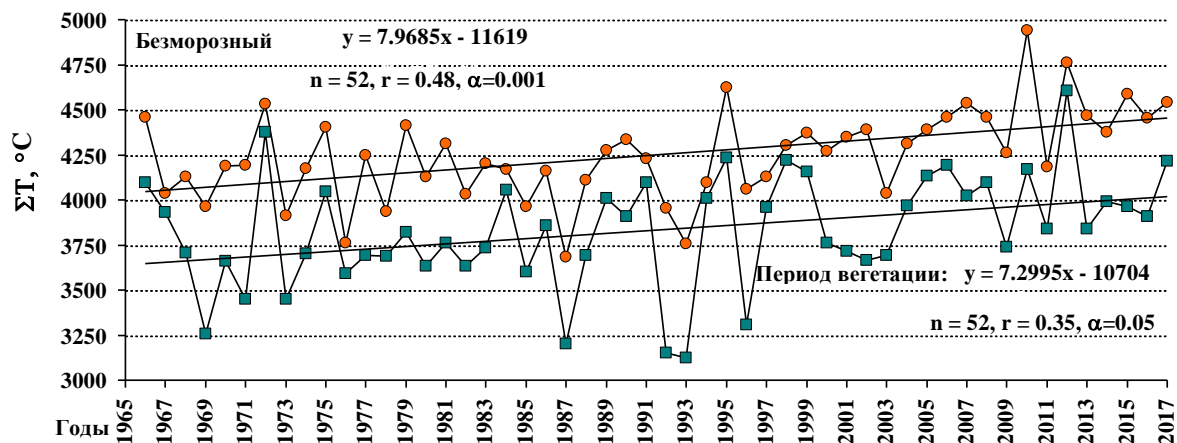
Рис. 1. Динамика среднегодовой температуры воздуха  $T_{cp. год}$ .

Важным показателем температурного режима территории являются суммы среднесуточных температур воздуха. Так, например, потребность в тепле растений выражается в суммах активных температур воздуха (сумма среднесуточных температур воздуха за период с устойчивой температурой воздуха выше 10°C, условно говоря, за период вегетации); в агрометеорологии накоплен опыт определения дат наступления основных фаз развития растений по суммам активных температур воздуха. Поэтому в настоящей работе анализируется динамика сумм активных температур воздуха  $\Sigma T_{>10}$  (период вегетации) и сумм среднесуточных положительных температур воздуха  $\Sigma T_{>0}$  (безморозный период), которые, наряду с данными об атмосферных осадках, являются информационным обеспечением для приводимой далее зависимости для расчета условного показателя увлажнения, а именно гидротермического коэффициента (ГТК).

На рисунке 2 показана динамика сумм среднесуточных температур воздуха за период вегетации  $\Sigma T_{>10}$  и за безморозный период  $\Sigma T_{>0}$ . Представленные на рисунке 2 линии трендов свидетельствуют о возрастании  $\Sigma T_{>10}$  и  $\Sigma T_{>0}$  за 1966-2017 гг. Значения сумм среднесуточных температур воздуха за период вегетации  $\Sigma T_{>10}$  изменяются в пределах от 3122 (1993 г.) до 3837°C (2013 г.), за безморозный период значения  $\Sigma T_{>0}$  изменяются от 3681 (1987 г.) до 4939°C (2010 г.); средние многолетние значения  $\overline{\Sigma T_{>10}}$  и  $\overline{\Sigma T_{>0}}$  равны 3833 и 4250°C соответственно.

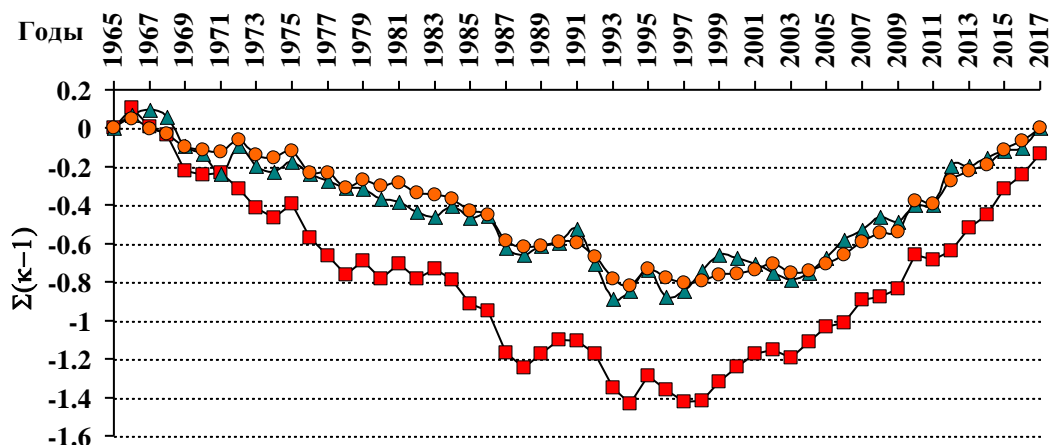
Между среднегодовой температурой воздуха  $T_{cp. год}$  и суммами среднесуточных температур воздуха за период вегетации  $\Sigma T_{>10}$  и за безморозный период  $\Sigma T_{>0}$  существует довольно тесная связь с коэффициентами корреляции – 0.61 и 0.86 соответственно. Коэффициент корреляции между суммами среднесуточных температур воздуха за период вегетации  $\Sigma T_{>10}$  и за безморозный период  $\Sigma T_{>0}$  равен 0.78.

Исследование температурных характеристик изучаемой территории показало, что в динамике среднегодовой температуры воздуха  $T_{cp. год}$  (рис. 1), сумм среднесуточных температур воздуха (рис. 2) за период вегетации  $\Sigma T_{>10}$  и безморозный период  $\Sigma T_{>0}$  выявлена достоверная тенденция потепления.



**Рис. 2.** Динамика сумм среднесуточных температур воздуха за период вегетации  $\Sigma T_{>10}$  (квадраты) и безморозный период  $\Sigma T_{>0}$  (круги).

Построение и анализ нормированных разностных интегральных кривых среднегодовой температуры воздуха  $T_{cp. год}$ , сумм среднесуточных температур воздуха за период вегетации  $\Sigma T_{>10}$  и за безморозный период  $\Sigma T_{>0}$  по данным метеостанции Яшкуль позволил выявить группы лет с повышенными (по сравнению со средним) и пониженными значениями исследуемых величин (рис. 3). На фоне общего тренда увеличения  $T_{cp. год}$  за временной интервал 1966-2017 гг. прослеживается продолжающийся до 1994 года холодный период, когда среднегодовая температура воздуха  $T_{cp. год}$  была ниже нормы, после чего наступил период потепления, продолжающийся до 2017 года.



**Рис. 3.** Нормированные разностные интегральные кривые среднегодовой температуры воздуха  $T_{cp. год}$  (квадраты,  $k = T_{cp. год} / \overline{T_{cp. год}}$ ), сумм среднесуточных температур воздуха за период вегетации  $\Sigma T_{>10}$  (треугольники,  $k = \Sigma T_{>10} / \overline{\Sigma T_{>10}}$ ) и сумм среднесуточных температур воздуха за безморозный период  $\Sigma T_{>0}$  (круги,  $k = \Sigma T_{>0} / \overline{\Sigma T_{>0}}$ ).

В ходе нормированной разностной интегральной кривой сумм среднесуточных температур воздуха за безморозный период  $\Sigma T_{>0}$ , как и в ходе среднесуточной годовой температуры воздуха  $T_{cp. год}$ , до 1994 года отмечается период пониженных значений  $\Sigma T_{>0}$ , после 1994 года – повышенных. Периоды пониженных (до 1994 года) и повышенных (после 1994 года) значений характерны и для сумм среднесуточных температур воздуха за период вегетации  $\Sigma T_{>10}$ . Можно также отметить

<sup>2</sup> В подписях к рисункам 3 и 6 – k – это модульный коэффициент.

практически полное совпадение конфигурации разностных интегральных кривых среднегодовой температуры воздуха за период вегетации  $\Sigma T_{>10}$  и за безморозный период  $\Sigma T_{>0}$ .

Конфигурации разностных интегральных кривых температурных характеристик, представленных на рисунке 3, свидетельствуют о том, что для исследуемых характеристик температуры воздуха  $T_{cp. год}$ ,  $\Sigma T_{>10}$  и  $\Sigma T_{>0}$  временные интервалы лет повышенных и пониженных значений практически полностью совпадают.

*Атмосферные осадки.* При исследовании динамики атмосферных осадков рассматривались суммы осадков за год  $P_{год}$ , за период вегетации  $P_{>10}$ , теплый период  $P_{IV-X}$  и холодный период  $P_{XI-III}$ . Суммы осадков, за период вегетации  $P_{>10}$ , наряду с суммами среднесуточных температур воздуха за период вегетации  $\Sigma T_{>10}$ , являются составляющими информационного обеспечения для расчетов гидротермического коэффициента (ГТК). В климатологии принято разделять годовые суммы осадков на два периода – это осадки теплого периода  $P_{IV-X}$  (апрель-октябрь) и осадки холодного периода  $P_{XI-III}$  (ноябрь-март), поэтому для сопоставимости полученных данных с данными других исследователей выполнен анализ осадков по общепринятым периодам.

На рисунке 4 показана динамика сумм осадков за год  $P_{год}$  и за период вегетации  $P_{>10}$ . Показанные на рисунке 4 линии трендов свидетельствуют о том, что за период 1966-2017 гг. произошло увеличение как годовых сумм осадков  $P_{год}$ , так и осадков за период вегетации  $P_{>10}$ . За период 1966-2017 гг. суммы осадков за год  $P_{год}$  изменялись в пределах от 151 мм (1986 г.) до 392 мм (2005, 2013 гг.) при среднем многолетнем значении  $\bar{P}_{год}$ , равном 267 мм. Среднее многолетнее значение сумм осадков за период вегетации  $\bar{P}_{>10}$  равно 167 мм при диапазоне изменения  $P_{>10}$  от 46 мм (1975 г.) до 291 мм (1991 г.).

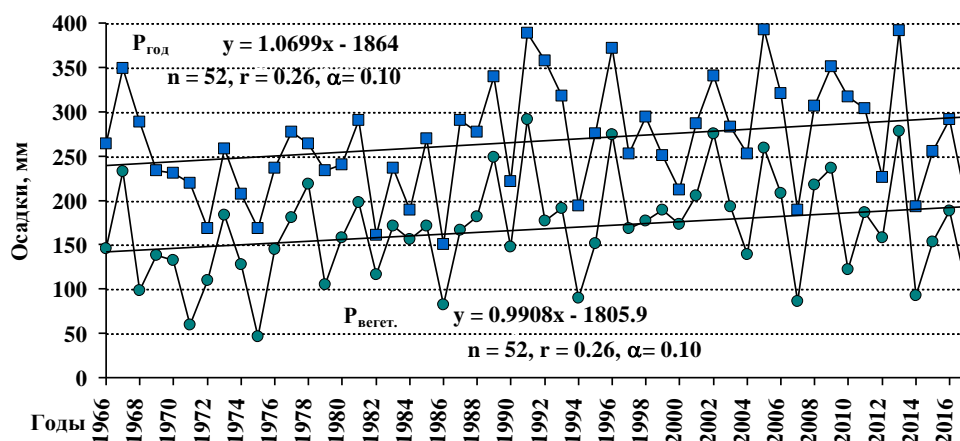


Рис. 4. Динамика сумм осадков за год  $P_{год}$  (квадраты) и за период вегетации  $P_{>10}$  (круги).

На рисунке 5 представлена динамика сумм осадков за теплый  $P_{IV-X}$  и холодный  $P_{XI-III}$  периоды. Осадки теплого периода  $P_{IV-X}$  за временной интервал 1966-2017 гг. имеют значимую тенденцию к увеличению (рис. 4, 5). Среднее многолетнее значение суммы осадков за теплый период  $\bar{P}_{IV-X}$  равно 183 мм при диапазоне их изменения от 65 мм (1975 г.) до 291 мм (1991, 2013 гг.). Осадки холодного периода  $P_{XI-III}$  практически оставались на одном уровне, изменяясь в пределах от 33 мм (1984, 2000 гг.) до 133 мм (2005 г.) при среднем многолетнем значении  $\bar{P}_{XI-III}$  равном 83 мм.

Анализ нормированных разностных интегральных кривых сумм осадков за различные временные интервалы (рис. 6), а именно за год  $P_{год}$ , за теплый период (апрель-октябрь)  $P_{IV-X}$ , за холодный период (ноябрь-март)  $P_{XI-III}$  и за период вегетации  $P_{>10}$ , для всего массива данных 1966-2017 гг. показал, что точка перехода от пониженных значений исследуемых величин к повышенным приходится на 1986 г. При этом в первые несколько лет исследуемого периода (1966-2017 гг.) прослеживается некоторое увеличение сумм осадков по всем изучаемым временным интервалам –  $P_{год}$ ,  $P_{IV-X}$ ,  $P_{XI-III}$ ,  $P_{>10}$ ; в последние несколько лет исследуемого периода можно говорить о некоторой стабилизации осадков.

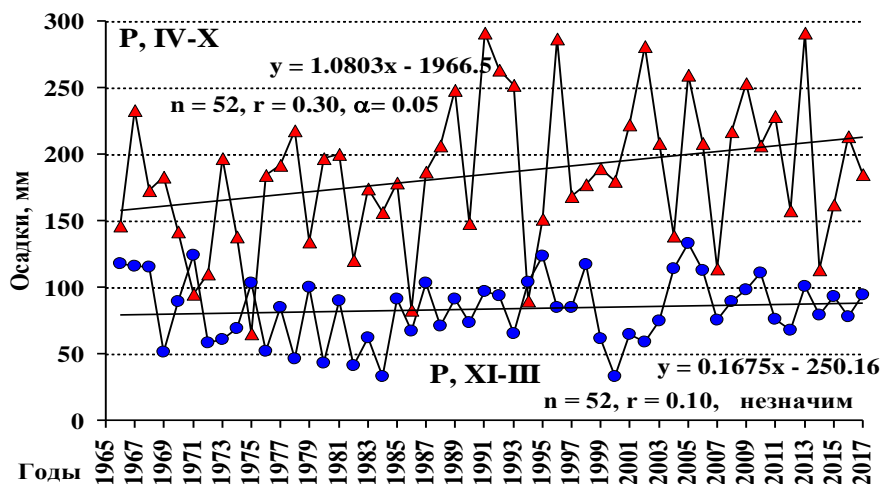


Рис. 5. Динамика сумм осадков за теплый  $P_{IV-X}$  (треугольники) и холодный  $P_{XI-III}$  (голубой) периоды.

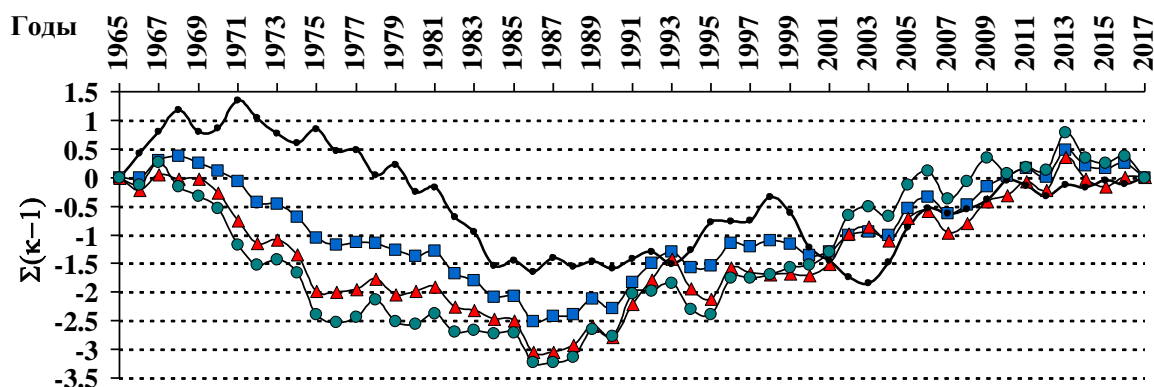


Рис. 6. Нормированные разностные интегральные кривые сумм осадков за год  $P_{год}$  (квадраты,  $k = P_{год} / \bar{P}_{год}$ ), за теплый период апрель-октябрь  $P_{IV-X}$  (треугольники,  $k = P_{IV-X} / \bar{P}_{IV-X}$ ), за холодный период ноябрь-март  $P_{XI-III}$  (точки,  $k = P_{XI-III} / \bar{P}_{XI-III}$ ) и за период вегетации  $P_{>10}$  (круги,  $k = P_{>10} / \bar{P}_{>10}$ ).

Выполненные исследования температурных характеристик ( $T_{cp.год}$ ,  $\Sigma T_{>10}$ , и  $\Sigma T_{>0}$ ) и сумм атмосферных осадков по различным временным интервалам ( $P_{год}$ ,  $P_{IV-X}$ ,  $P_{XI-III}$ ,  $P_{>10}$ ) показали, что за период 1966-2017 гг. наблюдается два крупных цикла – цикл пониженных значений изучаемых величин и повышенных значений. Время перехода от пониженных значений к повышенным для величин температуры воздуха и сумм атмосферных осадков не совпадает – атмосферные осадки начинают увеличиваться после 1986 года, температура воздуха начинает повышаться после 1994 года.

*Гидротермический коэффициент.* Предложенный Г.Т.Селяниновым гидротермический коэффициент используется для исследования периода вегетации (периода со среднесуточными температурами воздуха выше 10°C. Гидротермический коэффициент Г.Т. Селянинова определяется по отношению суммы осадков за период с температурой выше 10°C к сумме среднесуточных температур воздуха за тот же период (Селянинов, 1958):

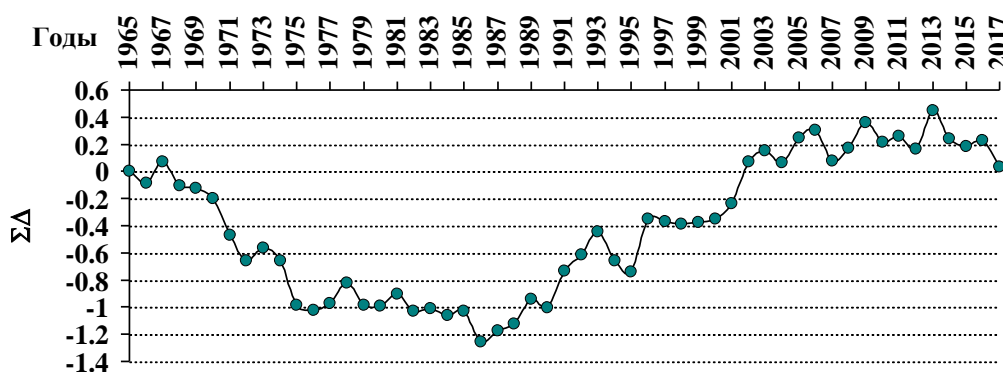
$$ГТК = \frac{10P_{>10}}{\sum T_{>10}} \quad (1),$$

где ГТК – гидротермический коэффициент,  $P_{>10}$  – сумма осадков в миллиметрах за период со

среднесуточными температурами воздуха выше  $10^{\circ}\text{C}$ , мм;  $\Sigma T_{>10}$  – сумма среднесуточных температур воздуха за тот же период,  $^{\circ}\text{C}$ .

Динамика гидротермического коэффициента (ГТК), рассчитанного по зависимости (1), свидетельствует об увеличении увлажненности вегетационного периода за временной интервал 1966-2017 гг. Среднее многолетнее значение гидротермического коэффициента  $\overline{ГТК}$  составило 0.44 при диапазоне его изменения от 0.11 (1975 г.) до 0.83 (1996 г.), что свидетельствует о высокой межгодовой изменчивости гидротермического коэффициента. По классификации Г.Т. Селянинова (1958) данный диапазон изменения ГТК соответствует географической зональности от пустыни ( $ГТК > 0.2$ ) до типичной степи ( $ГТК = 1.0/0.7$ ) соответственно. Можно отметить, что в течение временного интервала 1966-2017 гг. (52 года) гидротермические условия, соответствующие зоне пустынь, отмечены в 4% случаев, зоне полупустынь – 38%, зоне степей на южных черноземных и каштановых почвах – 50%, зоне типичных степей – в 8% случаев.

Анализ разностной интегральной кривой ГТК, представленной на рисунке 7, показал, что в межгодовом распределении ГТК точкой перехода от периода низких значений к значениям выше среднего, является 1986 год.



**Рис. 7.** Разностная интегральная кривая гидротермического коэффициента ГТК ( $\Delta = ГТК - \overline{ГТК}$ ).

Сравнение конфигураций разностных интегральных кривых гидротермического коэффициента (ГТК; рис. 7) и нормированных разностных интегральных кривых сумм атмосферных осадков по различным временным интервалам (рис. 6), а именно за год  $P_{год}$ , теплый период  $P_{IV-X}$ , холодный период  $P_{XI-III}$ , период вегетации  $P_{>10}$ , показало, что переход от пониженных значений исследуемых параметров к повышенным во всех случаях приходится на 1986 год, что свидетельствует о ведущей роли естественного увлажнения (атмосферные осадки) в формировании гидротермических условий территории.

### Выводы

Исследование динамики температурных характеристик на метеорологической станции Яшкуль за временной интервал 1966-2017 гг. показало, что средняя годовая температура воздуха, сумма среднесуточных положительных температур воздуха за год и сумма среднесуточных температур воздуха за период вегетации имеют достоверную стабильную тенденцию повышения; в межгодовом распределении указанных температурных характеристик выделяются два периода: период пониженных значений температур воздуха, который продолжался с 1966 по 1994 год, и период повышенных температур, наблюдавшихся с 1994 по 2017 год.

В динамике сумм осадков за год, за теплый период, за холодный период и за период вегетации за временной интервал 1966-2017 гг. также отмечается общая тенденция их увеличения; при этом в межгодовом распределении пониженные осадки наблюдались в период до 1986 года, с 1986 по 2013 год осадки превышали средние многолетние значения, с 2013 года наметилась тенденция к относительному уменьшению осадков на фоне их общей достоверной тенденции к увеличению в теплый период и за год.

Значения гидротермического коэффициента, описывающие гидротермические условия периода

вегетации, имеют тенденцию увеличения за временной интервал 1966-2017 гг.; переход от низких значений исследуемого параметра к повышенным приходится, как и в случае с осадками, на 1986 год. Это позволяет сделать вывод о том, что ведущим фактором формирования гидротермических условий исследуемой территории за период 1966-2017 гг. являются атмосферные осадки.

Среднее значение гидротермического коэффициента за временной интервал 1966-2017 гг. (52 года) составляет ГТК=0.44, что по классификации Г.Т. Селянинова соответствует южной границе степи на южных черноземных и каштановых почвах (ГТК=0.7-0.4). В течение исследуемого временного интервала гидротермический коэффициент при положительном тренде изменялся в диапазоне от ГТК=0.11 (что соответствует зоне пустынь) до ГТК=0.83 (типичная степь); в 58% случаев гидротермический коэффициент превышал значение ГТК=0.4, соответствующая условиям степной зоны. Анализ динамики гидротермического коэффициента позволяет сделать вывод о гумидном потеплении территории за временной интервал 1966-2017 гг.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Булыгина О.Н., Разуваев В.Н., Кориунова Н.Н., Швец Н.В.* 2019а. Описание массива данных месячных сумм осадков на станциях России. Свидетельство о государственной регистрации базы данных № 2015620394 [Электронный ресурс <http://meteo.ru/data/158-total-precipitation#описание-массива-данных> (дата обращения 04.09.2019)].
- Булыгина О.Н., Разуваев В.Н., Трофименко Л.Т., Швец Н.В.* 2019б. Описание массива данных среднемесячной температуры воздуха на станциях России. Свидетельство о государственной регистрации базы данных № 2014621485 [Электронный ресурс <http://meteo.ru/data/156-temperature#описание-массива-данных> (дата обращения 04.09.2019)].
- Селянинов Г.Т.* 1958. Принципы агроклиматического районирования СССР // Вопросы агроклиматического районирования СССР. М.: МСХ СССР. С. 7-14.
- Хромов С.П., Мамонтова Л.И.* 1974. Метеорологический словарь. Л.: Гидрометеиздат. 568 с.
- Экологическая энциклопедия. 2010. Т. 3. М.: Энциклопедия. 448 с.