

Оригинальная статья / Original article
УДК 332:142.4: 591.543.4
DOI: 10.18470/1992-1098-2021-1-117-127

Оценка современных климатических изменений на территории Предкавказья для целей прогнозирования урожайности озимой пшеницы

Сергей Н. Волков¹, Светлана В. Савинова¹, Елена В. Черкашина¹,
Дмитрий А. Шаповалов¹, Виталий В. Братков², Павел В. Ключин¹

¹Государственный университет по землеустройству, Москва, Россия,

²Московский государственный университет геодезии и картографии, Москва, Россия

Контактное лицо

Павел В. Ключин, доктор сельскохозяйственных наук, профессор кафедры экономики недвижимости, ФГБОУ ВО «Государственный университет по землеустройству»; 105064 Россия, Москва, ул. Казакова, 15.
Тел. +79647989844
Email klyushinpv@gmail.com
ORCID <https://orcid.org/0000-0002-4221-036X>

Формат цитирования

Волков С.Н., Савинова С.В., Черкашина Е.В., Шаповалов Д.А., Братков В.В., Ключин П.В. Оценка современных климатических изменений на территории Предкавказья для целей прогнозирования урожайности озимой пшеницы // Юг России: экология, развитие. 2021. Т.16, N 1. С. 117-127. DOI: 10.18470/1992-1098-2021-1-117-127

Получена 17 август 2020 г.

Прошла рецензирование 5 октября 2020 г.

Принята 5 ноября 2020 г.

Резюме

Цель. Оценка современных климатических изменений на территории Предкавказья с целью прогнозирования урожайности озимой пшеницы.

Методы. Интегральные показатели климатических условий для ведения сельскохозяйственного производства. Для исследований выбрали пятилетия, для которых осреднялись метеорологические параметры, а для выявления тенденций данных конкретных пятилетий сравнивались со средним значением за весь ряд наблюдений (1960-2020 гг.).

Результаты. Отклонение осадков в апреле была максимальным в 2011-2015 гг., когда они увеличились на 22 мм, а также в 1986-1990 и 1991-1995 гг., когда они сократились на 15 и 10 мм соответственно. В Восточном Предкавказье, где условия более засушливые по сравнению с Западным и Центральным, в XXI в. улучшились как для всего периода активной вегетации, как роста температуры воздуха, так и количества выпадающих осадков, особенно в апреле и мае.

Заключение. Установлено, что величина гидротермического коэффициента на протяжении 1960-2020 гг. практически не изменяется. В конце 1990-х – начале 2000-х гг. отмечается рост продуктивности на фоне относительно высокого уровня годовой суммы осадков, и эта стабильность подтверждается и в настоящее время. Существует очень тесная связь между природно-климатическими факторами и уровнем урожайности озимой пшеницы.

Ключевые слова

Россия, Предкавказье, климат, температура, осадки, ГТК, озимая пшеница, рекомендации.

Assessment of current climate conditions changes in the territory of Ciscaucasia for the purposes of forecasting winter wheat yield

Sergey N. Volkov¹, Svetlana V. Savinova¹, Elena V. Cherkashina¹,
Dmitry A. Shapovalov¹, Vitaly V. Bratkov² and Pavel V. Klyushin¹

¹State University of Land Management, Moscow, Russia,

²Moscow State University of Geodesy and Cartography, Moscow, Russia

Principal contact

Pavel V. Klyushin, Doctor of Agricultural Sciences,
Professor, Department of Real Estate Economics,
State University of Land Use Planning; 15 Kazakova
St, Moscow, Russia 105064.

Tel. +79647989844

Email klyushinpv@gmail.com

ORCID <https://orcid.org/0000-0002-4221-036X>

How to cite this article

Volkov S.N., Savinova S.V., Cherkashina E.V.,
Shapovalov D.A., Bratkov V.V., Klyushin P.V.

Assessment of current climate conditions changes
in the territory of Ciscaucasia for the purposes of
forecasting winter wheat yield. *South of Russia:
ecology, development*. 2021, vol. 16, no. 1, pp. 117-
127. (In Russian) DOI: 10.18470/1992-1098-2021-1-
117-127

Received 17 August 2020

Revised 5 October 2020

Accepted 5 November 2020

Abstract

Aim. Assessment of current climate changes in the territory of Ciscaucasia in order to predict the yield of winter wheat.

Methods. Integral indicators of climatic conditions for agricultural production were employed. For the investigations, we selected five-year periods for which the meteorological parameters were averaged, and to identify trends the data of specific five-year periods were compared with the average value for the entire series of observations (1960-2020).

Results. The deviation of precipitation in April was highest in 2011-2015, when it increased by 22 mm, and in 1986-1990 and 1991-1995, when it decreased by 15 and 10 mm respectively. In Eastern Ciscaucasia, where conditions are more arid than in the Western and Central regions, in both the rise in air temperature and the amount of precipitation, especially in April and May, increased in the 21st century for the entire period of active vegetation.

Conclusion. It was established that the value of the hydrothermal coefficient practically did not change during the 1960-2020 period. In the late 1990s and early 2000s, there was an increase in productivity against the background of a relatively high level of annual precipitation and this stability is confirmed at the present time. There is a very close relationship between natural and climatic factors and the level of winter wheat yield.

Key Words

Russia, Ciscaucasia, climate, temperature, precipitation, HTC, winter wheat, recommendations.

ВВЕДЕНИЕ

Правительство Российской Федерации от 09.08.2013 г. №681 утвердило положение о государственном экологическом мониторинге (государственном мониторинге окружающей среды) и государственном фонде данных государственного экологического мониторинга (государственного мониторинга окружающей среды). Так, по данным Всемирной метеорологической организации, 2018 год в мире стал четвертым из самых теплых за всю историю всемирных наблюдений, а последние четыре года – с 2015 по 2018 г. – с начала регистрации наблюдений за глобальной температурой были самыми теплыми. Глобальная средняя температура в 2018 г. была на $0,99 \pm 0,13^{\circ}\text{C}$ выше показателя доиндустриального базового уровня (1850-1900 гг.). Тепло в 2018 г. отличалось своей пространственной протяженностью, на всех континентах были зафиксированы температурные аномалии. По данным Росгидромета 2019 г. стал четвертым среди самых теплых с 1936 г.: осредненная по территории Российской Федерации среднегодовая аномалия температуры воздуха (отклонение от среднего за 1961-1990 гг.) составила $+2,07^{\circ}\text{C}$, в том числе в Северо-Кавказском федеральном округе ($+1,89^{\circ}\text{C}$). В 2019 г. средняя по Российской Федерации годовая сумма осадков составила 108% нормы (шестая величина в ряду). Доля площади с избытком осадков (более 80-го процентиля) составила 25%, с дефицитом осадков (менее 20-го процентиля) – 12%. В тоже время сильный дефицит осадков наблюдался в Северо-Кавказском федеральном округе (выпало 84% нормы – среди четырех «самых сухих») [1-3].

Многими учеными, в том числе и нами, установлено, что климат существенно влияет на формирование урожая всех сельскохозяйственных культур. Особенно это отмечается к засушливым и неустойчивого увлажнения зонам, к которым относятся основная территория Предкавказья. При этом необходимо отметить, что долговременные изменения температуры или осадков менее важны для сельского хозяйства, чем такие экстремальные явления, как засухи, сильные морозы, переувлажнение почвы, пыльные бури, но без знания и прогнозирования этих основных показателей невозможно интенсивное сельскохозяйственное производство.

Степные ландшафты, распространённые ранее в равнинной части Северного Кавказа, в Предкавказье, на протяжении как минимум с конца XIX в. являются одним из наиболее успешных сельскохозяйственных регионов страны. Этому способствуют как благоприятные природные факторы, прежде всего – климат, так и сложившаяся хозяйственная специализация региона. Так, здесь имеются крупные научно-исследовательские организации, занимающиеся селекцией в области посадочного материала, предприятия сельскохозяйственного машиностроения («Ростсельмаш»), химические предприятия, специализирующиеся на выпуске минеральных удобрений (Невинномысский «Азот»), сложившаяся логистическая сеть и возможности хранения (элеваторная сеть) и первичной переработки урожая.

Результатом благоприятных природных условий стала специализация этого региона на продукции

растениеводства, которая складывалась еще с дореволюционного времени. В советское время она дополнилась также системой мелиорации земель, что позволило выйти на высокие устойчивые сборы и урожаи зерновых сельскохозяйственных культур. В постсоветское время отмечалось снижение валовых сборов за счет перехода к другой экономической модели и ухудшения материально-технической базы сельского хозяйства. Однако в последние годы валовые сборы зерна, прежде всего, на территориях Краснодарского и Ставропольского краев, сравнились с советским периодом. Частично это можно объяснить с адаптацией хозяйства к новым условиям хозяйствования и достижениями сельскохозяйственной науки.

Помимо сугубо экономических причин, в увеличении валового сбора зерновых культур и их урожайности, на наш взгляд, внес вклад также процесс изменения глобального климата, который в каждом регионе имеет свои особенности. Так, на территории Северного Кавказа, начиная с конца XX века, отмечается в разной степени рост средней годовой температуры, сопровождающийся в целом некоторым увеличением количества осадков. Повышение температуры воздуха увеличивает продолжительность периода активной вегетации и сдвигает во времени как агротехнические мероприятия, так и условия произрастания сельскохозяйственных культур. Наряду с изменениями термических условий происходит изменение количества годовых осадков, чаще всего в сторону их увеличения, однако они, в отличие от температуры, изменяются не столь выражено [4-7].

МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Для выявления и оценки климатических условий на прогнозирования урожайности озимой пшеницы нами использовались данные метеостанций «Краснодар», «Ставрополь», «Минеральные Воды» и «Грозный» за 1960-2020 гг., имеющиеся в свободном доступе на портале Всероссийского научно-исследовательского института гидрометеорологической информации – Мирового центра данных (ВНИИГМИ-МЦД) (www.meteo.ru). Для их обработки применялись статистические методы. Так, были определены средние температуры и количество осадков за этот период, которые позволили вычислить погодичные значения ГТК для выявления общих условий вегетационного периода и тенденций их изменения от одного временного отрезка к другому (рис. 1).

Интегральным показателем климатических условий для ведения сельскохозяйственного производства традиционно выступают различные климатические коэффициенты и индексы, среди которых традиционным является гидротермический коэффициент Г.Т. Селянинова (ГТК), представляющий собой соотношение осадков к испаряемости. Он позволяет оценить условия вегетационного периода в целом, но при этом не дает представления, во-первых, об условиях холодного периода, и, во-вторых, о вкладе отдельных месяцев в общую его величину в течение отдельных лет. Для расчета показателей увлажненности ИС (индекс сухости), ГТК и КУ (коэффициент увлажнения) определяли по формулам необходим

минимальный объем гидрометеорологической информации – среднесуточные значения температуры воздуха и суточные суммы осадков. В качестве таких отрезков выбрали пятилетия, для которых осреднялись метеорологические параметры, а для выявления тенденций данных конкретных пятилетий сравнивались со средним значением за весь ряд наблюдений (1960-2020 гг.). В дальнейшем мы исключили метеостанцию «Ставрополь», потому что достоверность этих

показателей более или менее подтверждались только на территории Ставропольской возвышенности на высотах от 350 до 800 м над уровнем моря или менее 10% от площади Предкавказья (его площадь приблизительно равна 1,2 млн га). При этом проанализировали метеостанцию «Минеральные Воды», результаты которых более приближены к Центральному Предкавказью [5-9].



Рисунок 1. Метеостанции исследований на территории Предкавказья
Figure 1. Meteorological research stations in the territory of Ciscaucasia

ПОЛУЧЕННЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

В результате обработки данных в качестве основного показателя для оценки влияния климатических условий на ведение сельскохозяйственного производства зернового типа были выбраны такие параметры, как ГТК, температуры и осадки начала и разгара периода активной вегетации, которые оказывают влияние на формирование колоса (апрель, май, июнь), а также сумма осадков холодного периода. Изменение климатических условий за 1960-2020 гг. для метеостанции «Краснодар» (Западное Предкавказье) иллюстрируют рис. 2 и табл. 1.

Как следует из представленных данных, несмотря на современные климатические изменения, условия тепло- и влагообеспечения вегетационного периода характеризуются определенной стабильностью. Величина ГТК составляет 1,01, что соответствует нижнему пределу недостаточного увлажнения (1,0-1,3), в условиях которого формируется лесостепь. Однако за это время довольно часто отмечались условия увлажнения, которых были характерны как для зоны избыточного увлажнения (лесной, 1,3-1,6), так и для засушливой зоны (степной, 1,0-0,7), а в экстремальные годы увлажнение выходила даже за указанные интервалы. Еще одной особенностью, на которую обращали внимание и

другие исследователи, является то, что этого временного отрезка отмечаются разнонаправленные тенденции. Так, например, с 1966 по 1969 гг. отмечалось устойчивое снижение величины ГТК, а с 1981 по 1988 гг., наоборот, его повышение. Поэтому в целом аппроксимация посредством полинома 4-ой степени указывает на цикличность процесса изменения условий тепло- и влагообеспечения вегетационного периода, а также то, что современные климатические изменения не отразились на этом периоде. Что касается его изменчивости по пятилетним отрезкам, то можно выделить периоды, когда отклонения его величины от средней были существенно выше или ниже. Так, до 1980 г. его колебания были минимальны и не превышали 0,05. Далее существенно возросла межгодовая изменчивость ГТК, что привело к его изменению на 0,11-0,16 в 1986-1990 гг. Максимальный его прирост в последнем пятилетии XX был обусловлен абсолютным максимумом 1997 г. (1,92). Далее условия вегетационного периода существенно ухудшились лишь в 2006-2010 гг., когда ГТК опустился ниже 1,0, что соответствует степным условиям и именно такие условия благоприятны для произрастания коренных степных растительных ассоциаций, а также злаковых культур на их месте в агроценозах.

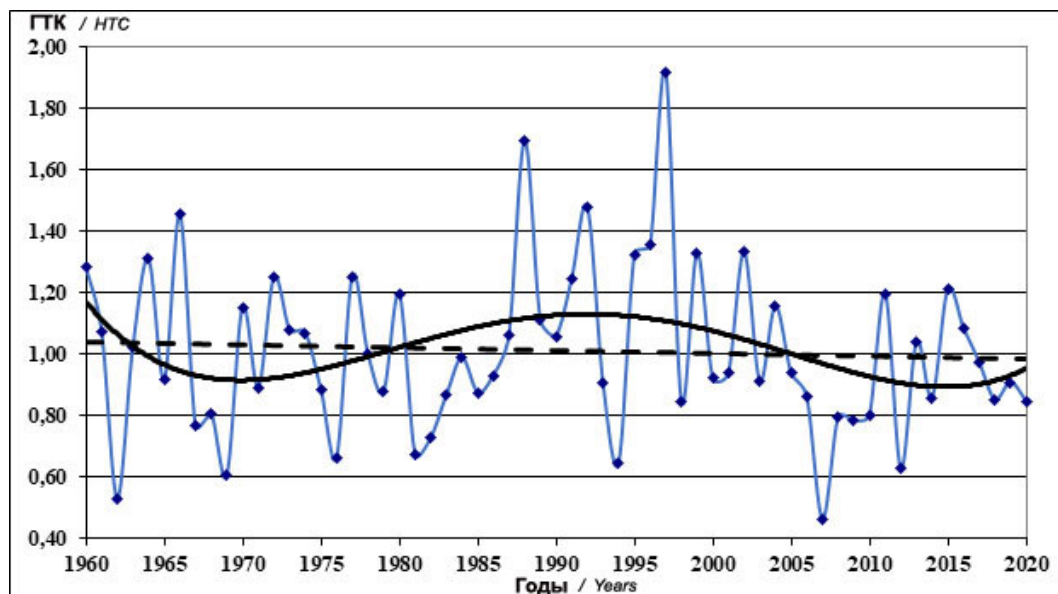


Рисунок 2. Изменение величины ГТК за 1960-2020 гг. по данным метеостанции «Краснодар» [здесь и далее (рисунки 3 и 4) пунктиром представлена линейная аппроксимация, сплошной – полиномиальная 4-ой степени]
Figure 2. Change in the value of the HTC for 1960-2020 according to data of the Krasnodar Meteorological Research Station [here and further below (Figures 3 and 4), the dotted line is a linear approximation, while the solid line is a polynomial of the 4th degree]

Таблица 1. Изменение ГТК, температур и осадков начала – разгара активной вегетации (апрель-июнь) и осадков холодного периода по данным метеостанции «Краснодар» за 1960-2020 гг. по пятилетним отрезкам
Table 1. Changes in the HTC, temperatures and precipitation at the beginning and height of the active vegetation period (April-June) and precipitation of the cold period according to the Krasnodar Meteorological Research Station for 1960-2020 by five-year segments

Пятилетия Five-year segments	$\Delta ГТК$ $\Delta НТС$	ΔT_{04}	ΔT_{05}	ΔT_{06}	ΔR_{04}	ΔR_{05}	ΔR_{06}	$\Delta R_{<0}$
1961-1965	-0,04	-1,1	-0,6	0,4	29	-15	0	58
1966-1970	-0,05	0,6	0,4	-1,2	-5	5	5	-32
1971-1975	0,02	0,4	-0,1	0,1	3	-12	-14	-17
1976-1980	-0,01	-0,4	-0,5	-1,0	2	-12	-30	-5
1981-1985	-0,18	-0,4	0,4	-0,9	2	-20	-25	21
1986-1990	0,16	0,4	-1,6	-0,9	-8	41	47	21
1991-1995	0,11	-0,4	-1,3	-0,7	9	14	6	13
1996-1999	0,26	0,8	0,0	0,1	3	10	21	-36
2001-2005	0,05	-0,6	0,4	-1,0	-7	-11	3	13
2006-2010	-0,27	-0,1	0,3	1,8	-6	-13	-18	3
2011-2015	-0,02	0,7	2,3	1,6	5	-2	6	9
2016-2020	-0,08	0,4	0,5	1,9	-23	8	-16	-37
Средние значения Average values	1,01	12,2	17,5	21,5	55	62	80	51

Примечание здесь, а также для 2 и 3 таблиц: здесь и далее: $\Delta ГТК$ – отклонение величины ГТК от среднего значения; $\Delta T_{04}-\Delta T_{06}$ – отклонение температур апреля-июня от среднего значения в °C; $\Delta R_{04}-\Delta R_{06}$ – отклонение количества осадков апреля-июня от среднего значения в мм; $\Delta R_{<0}$ – отклонение количества осадков холодного периода (температуры ниже 0 °C) от среднего значения.

Note here, as well as for 2 and 3 tables: here and further: $\Delta НТС$ – deviation of HTC from the mean value; $\Delta T_{04}-\Delta T_{06}$ – deviation of temperature of April-June from the average value in °C; $\Delta R_{04}-\Delta R_{06}$ deviation in precipitation April-June from the mean value in mm; $\Delta R_{<0}$ deviation in precipitation of the cold period (temperature below 0 °C) of the average.

Изменения произошли в термическом режиме начала и разгара периода активной вегетации. Что касается начала периода вегетации, то в целом в конце апреля

температура воздуха переходит через 10°C, а в результате повышения температуры процесс перехода температуры через это значение стал проходить в 2011-

2020 гг. немного раньше. Что касается мая месяца, то устойчивый рост температуры этого месяца начался с 2000 г. и достиг максимума в 2011-2015 гг. (2,3°C). Аналогичная ситуация характерна и для разгара вегетации, когда окончательно формируется сельскохозяйственные культуры: начиная с 2006 г. отмечается рост температуры воздуха на 1,6-1,9°C.

Наряду с изменениями термических условий, также отмечаются изменения в количестве осадков во время начала и разгара активной вегетации. Так, наиболее существенное сокращение осадков в начале вегетационного периода произошло в последнее рассматриваемое пятилетие, когда они сократились на 23 мм. За исключением 1961-1965 гг., когда, наоборот, отмечалось сопоставимое увеличение количества осадков в апреле (29 мм), в остальные годы колебания осадков были незначительны. Что касается майских осадков, то они характеризуются существенной изменчивостью, при этом в последнее рассматриваемое десятилетие их количество было близко к норме, тогда как наиболее влажными были 1986-1990 гг. (+41 мм). В изменении июньских осадков также нет выраженных тенденций, обусловленных современными климатическими изменениями: наибольшие колебания июньских осадков, отмечались в середине рассматриваемого периода (+47 мм в 1986-1990 гг. и -30 мм в 1976-1980 гг.).

Осадки холодного периода, когда температура воздуха опускается ниже 0°C, также иллюстрируют довольно слабую связь с современными климатическими тенденциями. Отмечаемое их максимальное сокращение в последнее рассматриваемое пятилетие (-37 мм) не является уникальным, а сопоставимое по величине сокращение было также в 1996-2000 гг., при этом в первое рассматриваемое пятилетие фиксировался их максимальный прирост (+58 мм). В целом в Западном Предкавказье в последние годы отмечаются

гидротермические условия, в большей степени соответствующие степной зоне, при этом отмечается в разной степени рост температура в начале и разгаре периода активной вегетации при некотором снижении количества осадков в это время года. Изменение климатических условий за 1960-2020 гг. для метеостанции «Минеральные Воды» (Центральное Предкавказье) иллюстрирует рис. 3 и табл. 2.

Средняя величина ГТК здесь составляет 1,02, что также соответствует нижней границе зоны недостаточного увлажнения. Линейный тренд указывает на общую стабильность гидротермических условий, однако довольно существенно изменяется от одного года к другому. Так, минимальные его значения отмечались в 1965 и 1979 гг. (0,46 и 0,50 соответственно), а в 1973 г. он достигал 1,70. В 1970-1980 гг. отмечалась максимальная амплитуда колебаний, а с 2005 г. значения ГТК преимущественно находятся в интервале 0,8-1,2. Устойчивые тенденции роста или уменьшения ГТК на протяжении 5-7 лет практически не выявляются, представлены преимущественно 2-3-летние отрезки, когда условия теплолагообеспечения улучшаются или ухудшаются. Например, в 2002 г. отмечались условия, характерные для лесной зоны (ГТК=1,46), которые постепенно изменялись до 2007 г., года они соответствовали засушливой (степной зоне). Что касается изменчивости ГТК по пятилетиям, то наиболее влажные условия отмечались в 1981-1985 гг., когда ГТК была на 0,21 выше нормы, а ранее, в 1976-1980 году отмечались его значения на такую же величину ниже среднего значения. Также улучшение условий увлажнения отмечалось в 2001-2005 гг. (+0,17), тогда как в остальные пятилетия величина отклонения редко превышала 0,1. Начиная с 2006 г. условия увлажнения соответствуют преимущественно степной зоне, и эти условия являются наиболее благоприятными для произрастания озимой пшеницы.

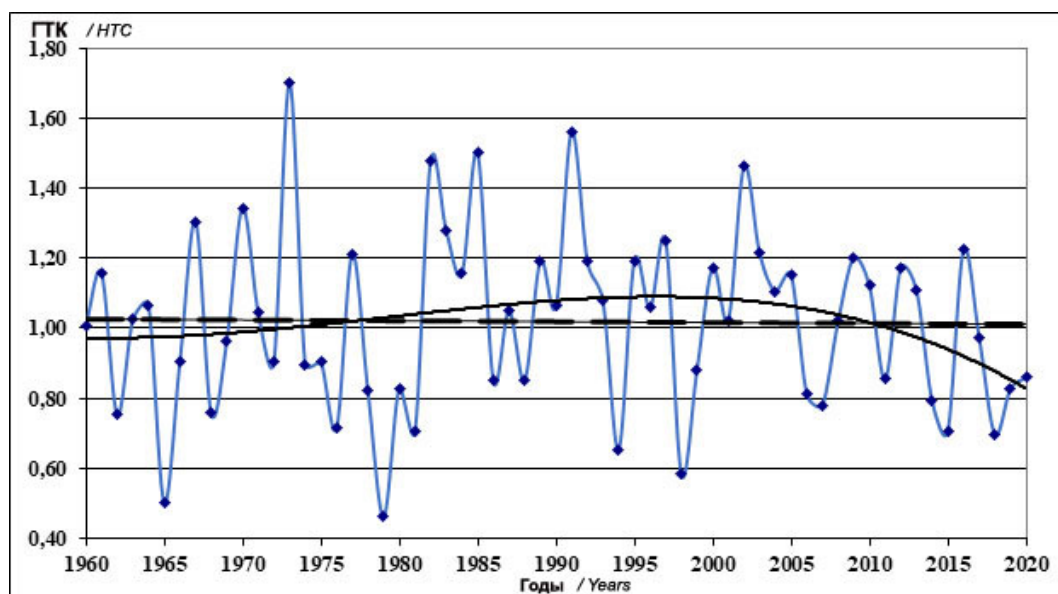


Рисунок 3. Изменение величины ГТК за 1960-2020 гг. по данным метеостанции «Минеральные Воды»

Figure 3. Change in the value of the HTC for 1960-2020 according to data of the Mineralnye Vody Meteorological Research Station

Таблица 2. Изменение ГТК, температур и осадков начала – разгара активной вегетации (апрель-июнь) и осадков холодного периода по данным метеостанции «Минеральные Воды» за 1960-2020 гг. по пятилетним отрезкам

Table 2. Changes in the HTC, temperatures and precipitation at the beginning and height of the active vegetation period (April-June) and precipitation of the cold period according to data of the Mineralnye Vody Meteorological Research Station for 1960-2020 by five-year segments

Пятилетия Five-year segments	ΔГТК ΔНТС	ΔT ₀₄	ΔT ₀₅	ΔT ₀₆	ΔR ₀₄	ΔR ₀₅	ΔR ₀₆	ΔR<0
1961-1965	-0,12	-1,2	0,3	0,6	-7	8	-28	-17
1966-1970	0,04	0,6	0,7	-0,9	5	-7	11	8
1971-1975	0,07	0,4	0,1	0,0	5	-14	6	3
1976-1980	-0,21	-0,1	-0,4	-0,9	-1	-19	-31	7
1981-1985	0,21	0,1	-0,3	-1,2	1	23	24	-14
1986-1990	-0,02	0,4	-1,3	-0,2	-20	8	4	20
1991-1995	0,12	-0,3	-1,2	-0,9	42	-4	3	17
1996-1999	-0,03	0,5	-0,4	0,1	0	-18	-10	-13
2001-2005	0,17	-1,0	0,0	-1,0	6	-16	27	-7
2006-2010	-0,03	-0,2	-0,3	1,2	1	2	-11	2
2011-2015	-0,09	0,6	1,9	1,2	0	9	8	2
2016-2020	-0,10	0,6	1,1	2,0	-25	29	-3	-17
Средние значения Average values	1,02	10,1	15,7	19,9	49	67	79	53

Изменчивость в Центральном Предкавказье характеризуются также условия начала вегетационного периода. Наиболее холодным был апрель в 1961-1965 и 2001-2005 гг., когда температура опускалась до 1,0°C и более. До 2011 г. лишь в 1966-1970 гг. температура в этом месяце была выше нормы на 0,6°C, а в остальные годы ниже этой величины. поэтому ее устойчивое увеличение в последнее рассматриваемое десятилетие можно считать благоприятным условием для вегетации озимой пшеницы. Аналогичная тенденция, то есть существенное увеличение температуры воздуха на 1,2 и 2,0°C в 2011-2015 и 2016-2020 гг. соответственно, выявляется в мае месяце. По этому же сценарию произошли изменения термических условий и в разгар периода активной вегетации, в июне: начиная с 2006 г. рост температуры составил 1,2°C в 2006-2010 и 2011-2015 гг., и 2,0°C в последнее рассматриваемое пятилетие. С учетом того, что ранее отмечались температуры преимущественно ниже средней, можно констатировать, что термические условия начала и разгара периода активной вегетации стали более благоприятными для произрастания озимой пшеницы.

Изменчивость выпадения осадков в начале и разгаре периода активной вегетации более значительная, чем изменчивость температур. В апреле преимущественно отмечается относительная стабильность в выпадении осадков, которая наиболее сильно нарушалась в 1991-1995 гг., когда количество осадков было на 42 мм выше нормы, а также в 1986-1990 и 2016-2020 гг., когда отмечалось их сокращение на 20 и 25 мм соответственно. В целом в последние пятилетия активная вегетация начинается в условиях, близких к многолетним, или при дефиците осадков. Несколько другая картина выпадения осадков характера для мая. На начало рассматриваемого периода приходится в разной степени сокращение

осадков (от 7 мм в 1966-1970 гг. до 19 мм в 1976-1980 гг.). В начале 1980-х годов отмечается рост осадков в мае (+23 мм), которых замедлился в конце этого десятилетия. Далее на протяжении 15 лет вновь количество осадков сокращается, после чего, с 2006 года они сначала близки к норме, а в последнее рассматриваемое пятилетие увеличились на 29 мм, что является максимальной величиной за весь рассматриваемый период. Изменение июньских осадков менее упорядочено во времени по сравнению с майскими, так как они чаще изменяются на протяжении более коротких промежутков времени. Так их наибольшее сокращение произошло в 1976-1980 гг. (31 мм), а затем, в 1981-1985 гг. последовал рост на 24 мм, а максимальное увеличение произошло в 2001-2005 гг. (на 27 мм). Что касается последнего десятилетия, то их количество было близко к норме.

Осадки холодного периода также характеризуются периодами их в разной степени сокращения и увеличения, при этом они слабо коррелируют с глобальным изменением термических условий, поскольку их минимальное количество отмечалось как в 1961-1965, так и в 2016-2020 гг. Наибольший прирост зимних осадков отмечался в 1986-1990 и 1991-1995 гг. (на 20 и 17 мм соответственно). Сокращение осадков холодного периода в последние пятилетие объясняется ростом температуры в это время и, соответственно, сокращением этого периода года. В целом это явление следует отнести к неблагоприятным с точки зрения условий перезимовки озимой пшеницы.

В целом в Центральном Предкавказье за последние 10-15 лет гидротермические условия вегетационного периода изменились в сторону остепнения, при этом отмечается рост температуры воздуха в начале и разгаре активной вегетации, который сопровождается увеличением количества

осадков в мае месяце. Изменение климатических условий за 1960-2020 гг. для метеостанции «Грозный»

(Восточное Предкавказье) иллюстрирует рис. 4 и табл. 3.

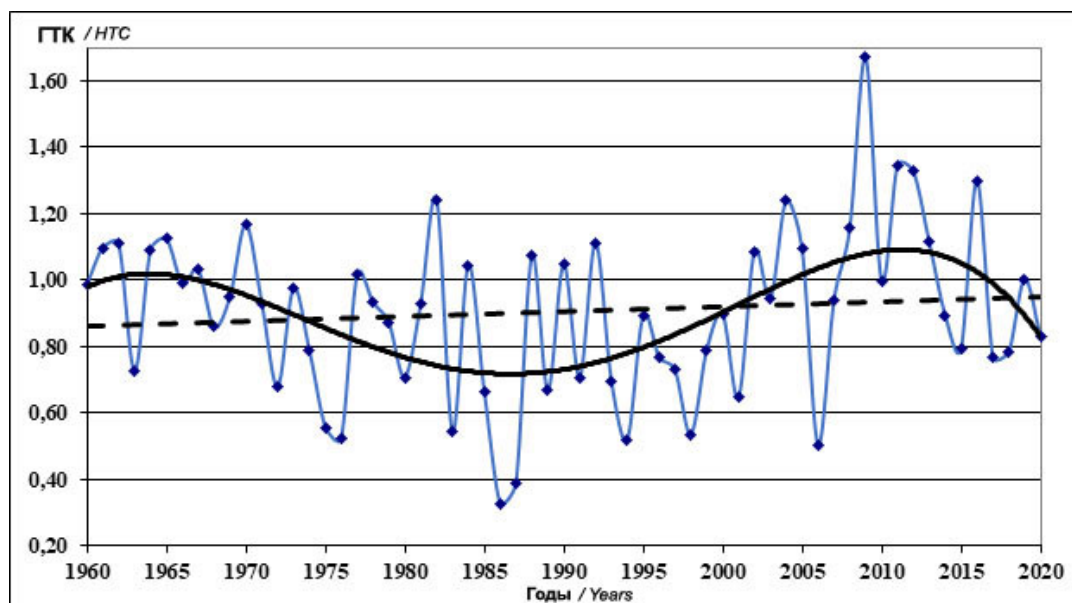


Рисунок 4. Изменение величины ГТК за 1960-2020 гг. по данным метеостанции «Грозный»

Figure 4. Change in the value of the HTC for 1960-2020 according to data of the Grozny Meteorological Research Station

Таблица 3. Изменение ГТК, температур и осадков начала – разгара активной вегетации (апрель-июнь) и осадков холодного периода по данным метеостанции «Грозный» за 1960-2020 гг. по пятилетним отрезкам
Table 3. Changes in HTC, temperatures and precipitation of the beginning and height of active vegetation (April-June) and precipitation of the cold period according to data of the Grozny Meteorological Research Station for 1960-2020 by five-year segments

Пятилетия Five-year segments	$\Delta ГТК$ $\Delta НТС$	ΔT_{04}	ΔT_{05}	ΔT_{06}	ΔR_{04}	ΔR_{05}	ΔR_{06}	$\Delta R < 0$
1961-1965	0,13	-1,2	0,0	0,4	-6	7	4	2
1966-1970	0,10	0,3	0,7	-0,3	-4	5	13	-4
1971-1975	-0,12	0,4	0,6	0,6	5	-13	4	1
1976-1980	-0,09	0,0	-0,3	-0,4	1	-15	-3	-15
1981-1985	-0,02	0,3	-0,2	-0,7	-3	7	-2	-2
1986-1990	-0,20	0,3	-1,2	0,6	-15	-9	-20	15
1991-1995	-0,12	-0,2	-1,2	-4,5	-10	-4	-25	34
1996-1999	-0,16	1,0	0,7	1,2	-7	-11	-12	-18
2001-2005	0,10	0,0	0,7	0,4	8	-23	50	-33
2006-2010	0,15	-0,6	-0,6	1,0	4	10	-10	0
2011-2015	0,19	0,0	0,7	0,7	22	8	9	23
2016-2020	0,03	-0,1	0,3	1,0	7	41	-2	-19
Средние значения Average values	0,90	10,9	16,9	21,1	37	61	74	48

Средняя величина ГТК в этом ареале степных ландшафтов Предкавказья составляет 0,9, что соответствует именно засушливой зоне, при этом линейный тренд иллюстрирует незначительный рост при выраженной циклической составляющей процесса изменения данного параметра во времени. Минимальные значения ГТК опускались ниже 0,4 в 1986-1987 гг., а максимальные превышали 1,6 в 2009 г. До середины 1970-х годов изменчивость условий

периода активной вегетации была минимальной. Первый контрастный период отмечался в 1980-е годы, когда условия изменялись от сухостепных до лесостепных, а максимальное разнообразие условий наблюдалось, начиная с 2006 г., когда происходил рост ГТК от 0,50 до 1,67 в 2009 г., то есть от сухостепных до избыточно влажных. Что касается изменения данного показателя по пятилетним отрезкам, то хорошо выделяется периоды, когда величина ГТК была

устойчиво ниже в разной степени средней величины в середине рассматриваемого временного отрезка (с 1971-1975 по 1996-2000 гг.), а также выше нее в первое рассматриваемое десятилетие, а также в XXI веке. Превышение ГТК в это время в условиях типичной степной зоны в целом свидетельствует об улучшении условий активной вегетации для произрастания озимой пшеницы.

Тенденции изменения температуры воздуха в период начала и разгара активной вегетации отличаются. Наиболее холодный апрель отмечался в первое рассматриваемое пятилетие, когда температура воздуха была ниже средней на 1,2°C; несколько ниже средней она была в 2006-2010 гг. (на 0,6°C). Наибольшее положительное отклонение отмечалось в 1996-2000 г. (+1,0°C). Что касается последних лет, то она была близка к норме. Майская температура в разной степени ниже нормы отмечалась с 1976-1980 гг. до 1991-1995 гг., при этом в последнее десятилетие она была ниже на 1,2°C. Положительное отклонения температуры отмечались как в начале, так и в конце рассматриваемого временного отрезка, а температура в это время поднималась незначительно – на 0,3-0,7°C. Что касается июньской температуры, начиная с 1996 г. отмечается ее в разной степени положительные отклонения, которые чаще всего были выше предшествующих периодов. Минимальные температуры июня были в 1991-1995 гг., когда температура опустилась на 4,5°C. В целом в последнее десятилетие отмечается устойчивое повышение температуры воздуха в мае и июне при ее близости к норме в апреле.

Отклонение осадков в апреле была максимальным в 2011-2015 гг., когда они увеличились на 22 мм, а также в 1986-1990 и 1991-1995 гг., когда они сократились на 15 и 10 мм соответственно. В остальные годы их отклонения от нормы были гораздо ниже, но при этом начиная с 2001-2005 гг. отмечается их положительно отклонение от нормы. Анализ изменения майских осадков показывает, что до начала XX века чаще отмечалась условия чаще всего с небольшим недостатком осадков: от 4 мм в 1991-1995 гг. до 15 мм в 1976-1980 гг. Наибольший дефицит майских осадков был в 2001-2005 гг. (23 мм), после чего их количество стабильно увеличивалось и достигла максимума в последнее пятилетие, когда прирост составил 41 мм. Июньские осадки изменяются в гораздо большем количестве по сравнению с апрелем и маем. Так, в 2001-2005 гг. их прирост составил 50 мм, или 68%. Перед этим на протяжении 15 лет отмечался их существенный дефицит. Что касается последних лет, то количество осадков в июне довольно близко к норме. В целом прирост осадков в апреле-мае, который отмечается на протяжении последних 15-лет, следует считать благоприятным фактором для произрастания озимой пшеницы, особенно в сочетании с увеличением температуры воздуха в этот же период.

Изменение количества осадков холодного периода, как в и других районах, характеризуется слабой связью с глобальным трендом изменения температуры. Так, в течение первых 15 лет в холодное время года количество осадков было близко норме. Первое существенное их сокращение отмечалось в

1976-1980 гг. (на 15 мм), а максимальное уменьшение произошло в 1996-2000 и 2001-2005 гг. (на 18 и 33 мм), при этом в последнее пятилетие осадков также выпало на 19 мм меньше нормы. Значительный прирост зимних осадков отмечался в 1991-1995 гг. (34 мм), а также в 2011-2015 гг. (23 мм). В целом, в Восточном Предкавказье, где условия немногим более засушливые по сравнению с Западным и Центральным, в XXI в. в течение всего периода активной вегетации климатические условия улучшились, как температура воздуха, так и количества выпадающих осадков, особенно в апреле и мае [10-12].

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Установлено, что рост температуры воздуха в Предкавказье, который обусловлен глобальными климатическими процессами, осложняется разнонаправленными изменениями количества атмосферных осадков, которые в совокупности формируют условия тепло-, и влагообеспечения периода активной вегетации, от которых зависит продуктивность естественных растительных группировок и урожайность культурных растений. В целом, как показали наши исследования, величина гидротермического коэффициента на протяжении 1960-2020 гг. практически не изменяется, но испытывает существенные колебания от одного года к другому, при этом относительно хорошо выражены 2-3-летние однонаправленные изменения, а более длительные встречаются реже.

На фоне общего роста температуры воздуха отмечается его в разной степени рост во время начала и разгара активной вегетации, от которых при прочих равных условия значительно зависит урожайность озимой пшеницы. Так, в последние десятилетия во всех районах Предкавказья, специализирующихся на выращивании озимой пшеницы, отмечается общее улучшение условий периода активной вегетации. Оно выражается в том, что в Западном и Центральном Предкавказье, где ГТК=1,0 отмечается его некоторое снижение, тогда как в Восточном Предкавказье, где ГТК=0,9, наоборот, величины этого показателя незначительно возрастают. Схожие тенденции выявляются также в начале и разгаре периода активной вегетации. Они проявляются в том, что в последние 10-15 лет в это время отмечается рост средней температуры воздуха в апреле-июне, который сопровождается либо количеством осадков, близким к норме в Западном Предкавказье, либо их ростом, особенно в мае, в Центральном и Восточном. Эти факторы и их сочетание создают благоприятные природные условия и возможности при прочих равных условия (агротехника, агрохимия и т.п.) максимального сбора озимой пшеницы [13; 14].

БЛАГОДАРНОСТЬ

Статья подготовлена при поддержке гранта Минобрнауки (Соглашение от «10» декабря 2019 г. № 075-15-2019-1939. Уникальный идентификатор проекта RFMEFI60719X0302).

ACKNOWLEDGMENT

This article was prepared with the support of a grant from the Russian Ministry of Education and Science (Agreement of "10" December 2019 N 075-15-2019-1939. Unique project ID RFMEFI60719X0302).

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Государственный доклад «О состоянии и об охране окружающей среды Российской Федерации в 2018 году». М.: Минприроды России; НПП «Кадастр», 2019. 844 с.
2. О состоянии и об охране окружающей среды Российской Федерации в 2019 году. Государственный доклад. М.: Минприроды России; МГУ имени М.В. Ломоносова, 2020. 1000 с.
3. О деятельности Росгидромета в 2018 году и задачах на 2019 год (итоговый доклад). Министерство природных ресурсов и экологии РФ. Федеральная служба по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды. 2019. М.: Росгидромет. 63 с.
4. Темникова Н.С. Некоторые характеристики климата Северного Кавказа и прилежащих степей. Л., 1964. 175 с.
5. Заурбеков Ш.Ш., Джандубаева Т.З. Тенденции климатических изменений в степных ландшафтах Западного Предкавказья // Известия Дагестанского государственного педагогического университета. Естественные и точные науки. 2014. N 3. С. 76-84.
6. Братков В.В., Атаев З.В. Оценка влияния современных климатических условий на природно-территориальные комплексы Северо-Восточного Кавказа (по материалам дистанционного зондирования Земли) // Мониторинг. Наука и технологии. 2017. N 2 (31). С. 6-14.
7. Новые методы и результаты исследований ландшафтов в Европе, Центральной Азии и Сибири (в пяти томах). Том 3. Мониторинг и моделирование ландшафтов / под редакцией академика РАН В.Г. Сычева, Л. Мюллера. М.: изд-во ФГБНУ «ВНИИ агрохимии», 2018. Т. 3. 352 с.
8. Деградация земель и опустынивание в России: Новейшие подходы к анализу проблемы и поиску путей решения. М.: Издательство «Перо», 2019. 235 с.
9. Блюм И., Столбовой В.С. Оценка качества земель в Европе для устойчивой интенсификации сельского хозяйства // Достижения науки и техники АПК. 2016. Т. 30. N 7. С. 11-13.
10. Ключин П.В., Мурашева А.А., Широкова В.А., Хуторова А.О., Савинова С.В. Пути повышения эффективного использования сельскохозяйственных угодий на территории Северо-Кавказского федерального округа // Международный сельскохозяйственный журнал. 2018. N 1. С. 4-7.
11. Ключин П.В., Братков В.В., Шаповалов Д.А., Савинова С.В., Мусаев М.Р. Состояние землепользования равнинных и предгорно-холмистых ландшафтов Северного Кавказа // Материалы Международного научно-практического форума, посвященного 240-летию со дня основания Государственного университета по землеустройству «Землеустроительное образование и наука: из XVIII в XXI век». Т.1. ГУЗ. М., 2019. С. 199-207.

12. Chasek P., Safriel U., Shikongo S., Fuhrman V.F. Operationalizing Zero Net Land Degradation: The next stage in international efforts to combat desertification? // Journal of Arid Environments. 2015. V. 112. Part A. P. 5-13. DOI: 10.1016/j.jaridenv.2014.05.020
13. Shapovalov D., Klyushin P., Shirokova V., Khutorova A., Savinov S. Problems and efficiency of land use in the North Caucasian federal district // 18th International Multidisciplinary Scientific GeoConference SGEM 2018, 02-08 July, 2018. V. 18. N 5.1. P. 667-674. DOI: 10.5593/sgem2018/5.1/S20.086
14. Приказ Минсельхоза России от 02.04.2018 N 130 «О вводе в эксплуатацию Единой федеральной информационной системы о землях сельскохозяйственного назначения и землях, используемых или предоставленных для ведения сельского хозяйства в составе земель иных категорий».

REFERENCES

1. *Gosudarstvennyi doklad «O sostoyanii i ob okhrane okruzhayushchei sredy Rossiiskoi Federatsii v 2018 godu»* [State report "On the state and protection of the environment of the Russian Federation in 2018"]. Moscow, Ministry of Natural Resources of Russia; RPE "Cadastre" Publ., 2019, 844 p. (In Russian)
2. *O sostoyanii i ob okhrane okruzhayushchei sredy Rossiiskoi Federatsii v 2019 godu. Gos-udarstvennyi doklad* [On the state and environmental protection of the Russian Federation in 2019. State report]. Moscow, Ministry of Natural Resources of Russia; Moscow State University Publ., 2020, 1000 p. (In Russian)
3. *O deyatel'nosti Rosgidrometa v 2018 godu i zadachakh na 2019 god (itogovyi doklad)* [On the activities of Roshydromet in 2018 and the tasks for 2019 (final report)]. Moscow, Roshydromet Publ., 2019, 63 p. (In Russian)
4. Temnikova N.S. *Nekotorye kharakteristiki klimata Severnogo Kavkaza i prilozhashchikh stepei* [Some characteristics of the climate of the North Caucasus and adjacent steppes]. Leningrad, 1964, 175 p. (In Russian)
5. Zaurbekov Sh.Sh., Dzhandubaeva T.Z. Trends of the climate change in the steppe landscapes of the Western Ciscaucasia. *Izvestiya Dagestanskogo gosudarstvennogo pedagogicheskogo universiteta. Estestvennye i tochnye nauki* [Proceedings of the Dagestan State Pedagogical University. Natural and Exact Sciences]. 2014, no. 3, pp. 76-84. (In Russian)
6. Bratkov V.V., Ataev Z.V. Evaluation of the influence of current climatic conditions on the natural territorial complexes of the North-Eastern Caucasus (based on the Earth's remote sensing data). *Monitoring. Nauka i tekhnologii* [Monitoring. Science and Technologies]. 2017. N 2 (31). pp. 6-14.
7. Sychev V.G., Muller L., eds. [New methods and results of landscape research in Europe, Central Asia and Siberia]. In: *Monitoring i modelirovanie landshaftov* [Monitoring and modeling of landscapes]. Moscow, "Research Institute of Agrochemistry" Publ., 2018, vol. 3, 352 p. (In Russian)
8. *Degradatsiya zemel' i opustynivanie v Rossii: Noveishie podkhody k analizu problemy i poisku putei resheniya* [Land degradation and desertification in Russia: The latest approaches to the analysis of the problem and the search for solutions]. Moscow, Pero Publ., 2019, 235 p. (In Russian)

9. Blum W., Stolbovoy V.S. Assessment of land quality in Europe for sustainable intensification of agricultural. Dostizheniya nauki i tekhniki APK [Achievements of science and technology of the agro-industrial complex]. 2016, vol. 30, no. 7, pp. 11-13. (In Russian)

10. Klyushin P.V., Murasheva A.A., Shirokova V.A., Khutorova A.O., Savinova S.V. Ways to increase the effective use of agricultural land on the territory of the North Caucasus Federal District. Mezhdunarodnyi sel'skokhozyaistvennyi zhurnal [International Agricultural Journal]. 2018, no. 1, pp. 4-7. (In Russian)

11. Klyushin P.V., Bratkov V.V., Shapovalov D.A., Savinova S.V., Musaev M.R. Sostoyaniye zemlepol'zovaniya ravninnykh i predgorno-kholmistykh landshaftov Severnogo Kavkaza [The state of land use in plains and foothill-hilly landscapes of the North Caucasus]. *Materialy Mezhdunarodnogo nauchno-prakticheskogo foruma, posvyashchennogo 240-letiyu so dnya osnovaniya Gosudarstvennogo universiteta po zemleustroystvu «Zemleustroitel'noye obrazovanie i nauka: iz XVIII v XXI vek»*, Moscow, 2019 [Materials of the International Scientific and Practical Forum dedicated to the 240th anniversary of the founding of the State University for Land Management "Land management education and science: from the 18th

to the 21st century", Moscow, 2019]. Moscow, 2019, vol. 1, pp. 199-207. (In Russian)

12. Chasek P., Safriel U., Shikongo S., Fuhrman V.F. Operationalizing Zero Net Land Degradation: The next stage in international efforts to combat desertification? *Journal of Arid Environments*, 2015, vol. 112, part A, pp. 5-13. DOI: 10.1016/j.jaridenv.2014.05.020

13. Shapovalov D., Klyushin P., Shirokova V., Khutorova A., Savinov S. Problems and efficiency of land use in the North Caucasian federal district. *18th International Multidisciplinary Scientific GeoConference SGEM 2018*, 02-08 July, 2018, vol. 18, no. 5.1, pp. 667-674. DOI: 10.5593/sgem2018/5.1/S20.086

14. *Prikaz Minsel'khoza Rossii ot 02.04.2018 N 130 «O vvode v ekspluatatsiyu Edinoi federal'noi informatsionnoi sistemy o zemlyakh sel'skokhozyaistvennogo naznacheniya i zemlyakh, ispol'zuemykh ili predostavlennykh dlya vedeniya sel'skogo khozyaistva v sostave zemel' inykh kategorii»* [Order of the Ministry of Agriculture of the Russian Federation No. 130 of 02.04.2018 "On the commissioning of the Unified Federal Information System on Agricultural Land and Land used or provided for agriculture as part of other categories of land"]. (In Russian)

КРИТЕРИИ АВТОРСТВА

Сергей Н. Волков принимал участие в обработке данных и написании статьи. Светлана В. Савинова выполнила все полевые и лабораторные исследования. Елена В. Черкашина осуществляла статистическую обработку материала. Дмитрий А. Шаповалов участвовал в обработке и изготовлении графического материала статьи. Виталий В. Братков осуществил поиск исторических данных и литературный обзор. Павел В. Ключин анализировал и интерпретировал результаты исследований, подготовил рукопись. Все авторы в равной степени участвовали в написании рукописи, и несут ответственность за плагиат, самоплагиат и другие неэтические проблемы.

КОНФЛИКТ ИНТЕРЕСОВ

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

AUTHOR CONTRIBUTIONS

Sergey N. Volkov participated in data processing and writing the article. Svetlana V. Savinova carried out all field and laboratory studies. Elena V. Cherkashina carried out statistical processing of the material. Dmitry A. Shapovalov participated in the processing and production of the graphic material of the article. Vitaly V. Bratkov carried out a search for historical data and a literary review. Pavel V. Klyushin analysed and interpreted the research results and prepared the manuscript. All authors equally participated in the writing of the manuscript and are responsible for plagiarism, self-plagiarism and other ethical transgressions.

NO CONFLICT OF INTEREST DECLARATION

The authors declare no conflict of interest.

ORCID

Сергей Н. Волков / Sergey N. Volkov <https://orcid.org/0000-0002-0931-065X>
 Светлана В. Савинова / Svetlana V. Savinova <https://orcid.org/0000-0003-4433-2528>
 Елена В. Черкашина / Elena V. Cherkashina <https://orcid.org/0000-0002-1371-7778>
 Дмитрий А. Шаповалов / Dmitry A. Shapovalov <https://orcid.org/0000-0001-8268-911X>
 Виталий В. Братков / Vitaly V. Bratkov <https://orcid.org/0000-0001-5072-1859>
 Павел В. Ключин / Pavel V. Klyushin <https://orcid.org/0000-0002-4221-036X>