**ПРИМЕНИМОСТЬ ДАННЫХ МОЦАО ДЛЯ ОЦЕНКИ
АГРОКЛИМАТИЧЕСКИХ УСЛОВИЙ ОТДЕЛЬНЫХ ТЕРРИТОРИЙ****Н.А. Лемешко¹, В.П. Евстигнеев^{2,3}, А.П. Морозов¹, В.А. Русаков¹**

¹Санкт-Петербургский государственный университет,
РФ, г. Санкт-Петербург, Университетская наб., 7

²ФГАОУ ВО «Севастопольский государственный университет»,
РФ, г. Севастополь, ул. Университетская, 33

³Институт природно-технических систем, РФ, г. Севастополь, ул. Ленина, 28
E-mail: natlem@mail.ru

Выполнен анализ достоверности и точности воспроизведения температуры воздуха, количества атмосферных осадков, относительной влажности воздуха 18 моделями общей циркуляции атмосферы и океана, входящими в CMIP6 (Coupled Model Intercomparison Project). На основе статистических критериев выбраны лучшие модели, наиболее точно воспроизводящие эмпирические данные, из которых составлен ансамбль моделей. Используя ансамблевый подход, выполнены расчеты некоторых агроклиматических показателей для Европейской территории России. Сопоставление агроклиматических показателей, рассчитанных на основе ансамбля моделей и на основе данных наблюдений, выполнено на примере территории Верхней Волги, включающей Ярославскую, Костромскую, Вологодскую, Новгородскую и Тверскую области. Показана целесообразность использования ансамбля моделей для оценки агроклиматических условий региона.

Ключевые слова: ансамбль моделей, GCMs, ранг модели, температура воздуха, атмосферные осадки, агроклиматические показатели.

Поступила в редакцию: 09.09.2021.

Введение. Современные изменения климата проявляются в повышении глобальной средней годовой температуры воздуха за последние четыре десятилетия [1, 2]. Прогресс глобального потепления возможно приведет к дальнейшему росту температуры воздуха и изменению агроклиматического режима. По этой причине важно определить районы, продуктивность агрокультур в котором наиболее зависима от метеорологического режима. Особенно важен поиск таких территорий в зоне умеренного климата, где локализовано наибольшее число высокопродуктивных аграрных районов. Наиболее перспективным современным методом прогноза и диагноза климата являются модели общей циркуляции атмосферы и океана (МОЦАО) [3, 4]. Важным ограничивающим аспектом использования МОЦАО является точности воспроизведения ею реального климата. Для сопоставления моделей друг с другом было организовано несколько международных проектов, в том числе проекты CMIP5 и CMIP6 (Coupled Model

Intercomparison Project) [5]. В 2020 г. завершена шестая фаза CMIP6 этого проекта, в которой были сопоставлены 108 моделей, отличавшихся пространственным разрешением, выбором переменных и параметризацией процессов, происходящих в климатической системе и многим другим. На всех этапах проекта CMIP отмечалось, что при значительном прогрессе в описании многих процессов в атмосфере, океане и на суше, достигнуты значительные успехи при воспроизведении термического режима [6]. В противоположность этому точность моделирования режима атмосферных осадков оказалась еще недостаточной. Согласно выводам экспертов IPCC и ВМО для прогнозирования климата рекомендуется использовать ансамбли моделей [7].

В данном исследовании выполнен анализ достоверности и точности воспроизведения температуры воздуха, количества атмосферных осадков, относительной влажности воздуха и агроклиматических показателей для Европейской

территории России (ЕТР). Сопоставление прогноза, полученного на основе моделей и наблюдаемых изменений некоторых агроклиматических показателей, выполнено на примере территории, включающей Ярославскую, Костромскую, Вологодскую, Новгородскую и Тверскую области.

Данные и методика оценки достоверности воспроизведения климата моделями. Для исследования выбраны 12 моделей общей циркуляции атмосферы и океана, входящие в CMIP6 (табл. 1). Данные по температуре и относительной влажности воздуха и атмосферным осадкам МОЦАиО находятся в

открытом доступе на портале ESGF (the Earth System Grid Federation) [5]. Данные моделей сравнивались с данными наблюдений для 175 метеорологических станций сети Росгидромета на ЕТР за 1984–2014 гг. [8].

Процедура сравнения выходных параметров моделей с данными наблюдений включает: интерполяцию модельных результатов в координаты ближайшей метеорологической станции [9]; осреднение метеорологических данных по климатическим зонам Кеппена и оценка точности воспроизведения атмосферных осадков, температуры и влажности воздуха МОЦАиО.

Таблица 1. Суммарный рейтинг МОЦАиО

Модель	Страна	Пространственное разрешение	Итоговый рейтинг модели
ACCESS-ESM1-5	Австралия	250 x 250 км	34
BCC-CSM2-MR	Китай	100 x 100 км	38
CanESM5	Канада	500 x 500 км	10
CESM2	США	100 x 100 км	16
CMCC-ESM2	Италия	100 x 100 км	27
CNRM-CM6-1-HR	Франция	50 x 50 км	7
EC-Earth3	(12 стран Европы)	100 x 100 км	10
FGOALS-g3	Китай	100 x 100 км	47
GFDL-ESM4	США	100 x 100 км	32
GISS-E2-1-G	США	250 x 250 км	36
ITM-ESM	Индия	250 x 250 км	45
INM-CM5-0	Россия	100 x 100 км	26
IPSL-CM6A-LR	Франция	250 x 250 км	37
KACE-1-0-G	Южная Корея	250 x 250 км	48
MIROC6	Япония	250 x 250 км	23
MRI-ESM2-0	Япония	100 x 100 км	31
NorESM2-MM	Норвегия	100 x 100 км	18
UKESM1-0-LL	Великобритания	250 x 250 км	28

Интерполяция значений средней месячной температуры воздуха и относительной влажности воздуха выполнена методом сплайновой поверхности [10], а атмосферных осадков – методом кригинга [11]. Современный этап развития МОЦАиО не позволяет интерпретиро-

вать модельные результаты отдельно в каждом узле сетки. Поэтому для уменьшения случайных ошибок и увеличения надежности результатов данные моделей, как правило, усредняются по пространству. Для сравнения была исполь-

зована классификация климатов В.П. Кёппена, широко используемая в мире.

Осредненные по климатическим зонам данные наблюдений и МОЦАиО были подвергнуты статистической обработке, которая заключалась в расчёте показателей уклонения для каждой пары «наблюдения – модель» по среднегодовым, среднемесячным, среднесезонным значениям для шести климатических зон ЕТР в соответствии с классификацией В.П. Кёппена.

Оценка точности воспроизведения атмосферных осадков в МОЦАиО выполнена по шести статистическим параметрам:

1. Средние абсолютные отклонения (MAE) эмпирических данных от расчетных значений модели

$$MAE = \frac{\sum_{i=1}^n |x_{mi} - x_{pi}|}{n}, \quad (1)$$

где x_{pi} – измеренное значение элемента; x_{mi} – соответствующее ему значение по модели, n – количество значений в каждом временном ряду.

2. Среднеквадратическое отклонение (RMSE)

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_{mi} - x_{pi})^2}{n}}. \quad (2)$$

3. Средние отклонения воспроизведенных по моделям значений от медианы эмпирических данных (MME)

$$MME = \frac{\sum_{i=1}^n |x_{mi} - \hat{x}_p|}{n}, \quad (3)$$

где $\hat{x}_p$ – медиана выборки наблюдений в точке p .

4. Относительные уклонения функций плотностей вероятностей эмпирических данных и воспроизведенных моделью данных или Евклидово расстояние между данными функциями (D_E)

$$D_E(P \parallel Q) = \sqrt{\int_x (p(x) - q(x))^2}, \quad (4)$$

где P , Q – распределения вероятностей по эмпирическим значениям климатических показателей и по модельно восста-

новленным данным соответственно, $P(x)$ и $Q(x)$ – соответствующие функции плотности распределения вероятности.

5. Значения относительной энтропии Кульбака-Лейблера (D_{KL}), позволяет определить степень потери информации при замене эмпирического распределения P климатической характеристики на модельно восстановленное распределение Q

$$D_{KL}(P \parallel Q) = \int_x p(x) \log_2 \frac{p(x)}{q(x)} dx, \quad (5)$$

где P , Q , $P(x)$ и $Q(x)$ в соответствии с формулой (4).

6. Дивергенция Джеффри (D_J), которая указывает на степень подобия распределений

$$D_J(P \parallel Q) = \int_x (p(x) - q(x)) (\ln p(x) - \ln q(x)) dx. \quad (6)$$

Расчёт статистических оценок и большинство других расчётов производились при помощи языка программирования R в графической среде «RStudio» [12]. Для расчётов использовались дополнительные пакеты: «ncdf4» – для работы с файлами формата netcdf4, «raster» – для работы с растрами, «ggplot2» – для построения графиков, «gstat» – для проведения интерполяции, «hydroGOF» и «philentropy» – для использования показателей уклонения.

Для каждого статистического показателя была введена система рангов от 1 до 12, причем наименьший ранг присваивался модели, наиболее точно воспроизводящей эмпирические данные. Используя ранги по показателям, в конечном итоге, рассчитывается суммарный ранг каждой модели по шести статистическим характеристикам уклонения. Расчеты велись по каждому из трех метеорологических элементов (температура воздуха, атмосферные осадки, относительная влажность воздуха), из чего складывался итоговый рейтинг модели (табл. 1).

Составление ансамбля из лучших моделей. Выполненные расчеты по климатическим зонам показали, что МОЦАиО имеют разную точность воспроизведения по температуре воздуха, осад-

кам и влажности воздуха. Из всех моделей не удалось получить какую-либо, имевшую высший ранг по каждому из трех метеорологических элементов. Так, например, для засушливой зоны юга ЕТР (Астраханская область, Республика Калмыкия, Республика Дагестан) модели завышали среднегодовое количество осадков на 150–200 мм или в относительных погрешностях – на 100% и более. Для северной части Европейской территории России по всем моделям отмечено значительное завышение количества осадков. Наиболее достоверно осадки были воспроизведены для Южного берега Крыма.

Несколько лучшие результаты были получены по температуре и относительной влажности воздуха. Канадская мо-

дель, получила ранг 1 для температуры воздуха и ранг 3 по относительной влажности и итоговый рейтинг 10. Детальный анализ по климатическим зонам для некоторых МОЦАиО, приведен в работе [13, 14]. Выполненные исследования позволили составить ансамбль из лучших моделей, имевших рейтинг до 30 баллов: CNRM-CM6-1-HR, CanESM5, EC-Earth3, CESM2, NorESM2-MM, MIROC6, INM-CM5-0, CMCC-ESM2 и UKESM1-0-LL. На рис. 1 приведен график хода температуры воздуха, осредненной для ЕТР по ансамблю моделей и по данным наблюдений сети станций. Приведенные данные близки к оценкам, полученным в [3, 6, 9], выполненным по более ранним версиям МОЦАиО.

Рис. 1. Средняя годовая температура воздуха, осреднённая по ЕТР по данным метеорологических наблюдений (синяя линия) и по данным ансамбля МОЦАиО (красная линия)

Fig. 1. Mean annual air temperature over the ETR according to meteorological observations (blue line) and to the data of the GCMs ensemble (red line)

Агроклиматические показатели.

Использование ансамбля лучших моделей позволяет получить агроклиматические показатели, для расчета которых достаточно рассматриваемых метеорологических величин. Для оценки агроклиматических условий территории выбраны несколько агроклиматических показателей: сумма активных температур воздуха, продолжительность вегетационного и гидротермический коэффициент Г.Т. Селянинова (ГТК) [15]. Эти показатели широко используются специ-

алистами сельского хозяйства, в том числе для оценки агроклиматических условий при изменении климата [16, 17]. Сумма активных температур воздуха рассчитывается за период с температурой воздуха выше $+10^{\circ}\text{C}$ и является характеристикой теплообеспеченности территории. Другим важным агроклиматическим показателем является продолжительность вегетационного периода, границами которого принимается переход средней суточной температурой воздуха порогового значения $+5^{\circ}\text{C}$ весной и

осенью. Эти показатели характеризуют только температурный режим, однако лимитирующим фактором развития растений является не только температура, но и режим увлажнения, связанный, как правило, с режимом атмосферных осадков. Наиболее востребованными климатическими индексами для оценки биоклиматических условий являются комплексные показатели, представляющие собой комбинацию температуры воздуха и атмосферных осадков. К числу таких относится ГТК, который рассчитывается по формуле

$$\text{ГТК} = \frac{P_{\Sigma T > 10^{\circ}\text{C}}}{0,1 \Sigma T > 10^{\circ}\text{C}}, \quad (7)$$

где $P_{\Sigma T > 10^{\circ}\text{C}}$ – сумма осадков за период с температурой воздуха выше $+10^{\circ}\text{C}$, $\Sigma T > 10^{\circ}\text{C}$ – сумма температур воздуха за тот же период.

Результаты оценки агроклиматических показателей. В данной работе для анализа агроклиматических условий по данным наблюдений была выбрана территория Верхней Волги. Район исследования полностью охватывает территорию Ярославской области, частично примыкающие территории Костромской, Вологодской, Новгородской и Тверской областей. Для расчёта агроклиматических показателей были использованы среднемесячные и среднесуточные данные 14 метеорологических станций по температуре воздуха и сумме атмосферных осадков. Для оценки тенденции климатических и агроклиматических показателей было выполнено сравнение за два смежных периода 1961–1990 гг. и 1991–2018 гг., что позволило выявить климатообусловленные изменения агро-ресурсов рассматриваемой территории (табл. 2).

Таблица 2. Значения агроклиматических показателей для двух периодов и их изменения, осредненные для района исследования

Период осреднения	Средняя годовая температура воздуха, °C	Сумма температур воздуха выше $+10^{\circ}\text{C}$	Продолжительность вегетационного периода ($t > +5^{\circ}\text{C}$), сутки	Годовая сумма осадков, мм	ГТК Селянинова
1961–1990 гг.	3,6	1910	130	639,2	1,57
1991–2018 гг.	4,7	2085	138	664,8	1,51
Разность	+1,1	+175	+8	+25,6	-0,06

Из табл. 2 следует, что рост средней годовой температуры воздуха приводит к увеличению суммы температур воздуха больше $+10^{\circ}\text{C}$ (на 9%) и продолжительности вегетационного периода в среднем на неделю (на 8 ± 4 сут., 95%-доверительный интервал).

Количество осадков по территории в целом увеличилось незначительно, сопоставимо с межгодовой изменчивости этой величины. Коэффициент ГТК, который в среднем равен 1,5 за период 1991–2018 гг., уменьшился на -0,06 относительно базового периода. Со-

гласно Г.Т. Селянинову, данная территория относится к зоне достаточного и избыточного увлажнения. ГТК как комплексный показатель свидетельствует о том, что термический фактор становится все более и более определяющим по сравнению с увлажнением. Рост температуры воздуха приводит к увеличению испарения с почвы и увеличение количества осадков не компенсирует рост испарения. Таким образом, увлажненность территории уменьшается, что имеет положительный эффект с агроклиматической точки зрения.

Рис. 2. Агроклиматические показатели по ансамблю моделей: сумма температур воздуха выше +10°C (слева) и ГТК (справа) по ансамблю моделей за период 1985–2014 гг.

Fig. 2. Agro-climatic indicators by the ensemble of models: the sum of air temperatures above +10°C (left panel) and HTC (right panel) for the ensemble of models for 1985–2014

Для каждого агроклиматического показателя были построены пространственные поля распределения на исследуемой территории на основе данных ансамбля моделей МОЦАиО за период 1985–2014 гг. Сравнение результатов расчетов по ансамблю моделей и данных наблюдений (табл. 2) показало очень хорошее совпадение. Расчетные значения достаточно точно воспроизводят значения, как суммы температур больше +10°C, так и комплексного гидротермического коэффициента. Кроме того, географическое распределение показателей закономерно указывает на увеличение ресурсов теплообеспеченности с севера на юг и уменьшение увлажнения от избыточного на северо-западе, до недостаточного на юго-востоке. В качестве примера пространственного поля на рис. 2 приведены карты-схемы распределения суммы температур воздуха выше +10°C и ГТК по ансамблю моделей за 1985–2014 гг.

Закключение. Оценка достоверности воспроизведения климата в МОЦАиО показала большой разброс данных конкретных моделей от реально наблюдаемых значений температуры воздуха, атмосферных осадков и влажности воздуха. Использование методики ранжирования статистических параметров «модель – наблюдения» позволила выбрать наилучшие модели. Из этих моделей был сформирован ансамбль, на основе данных которого выполнены расчеты агроклиматических характеристик выбранного региона ЕТР. Расчеты показали, что МОЦАиО (при ансамблевом подходе) достаточно надежно воспроизводит пространственные особенности распределения климатических и агроклиматических

показателей, основанных на температуре воздуха. Для оценки агроклиматических условий увлажнения на основе МОЦАиО необходимо провести предварительный анализ данных по атмосферным осадкам и влажности воздуха для изучаемой территории.

Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ №19-29-05243, и в рамках государственного задания Института природно-технических систем по теме № 0012-2019-0007.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. IPCC, 2014: Climate Change 2014: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Core Writing Team, R.K. Pachauri and L.A. Meyer (eds.)]. Geneva, Switzerland: IPCC. 2014. 151 p.
2. Доклад об особенностях климата на территории Российской Федерации за 2019 год. М., 2020. 97 с.
3. Мелешко В.П., Говоркова В.А. Успешность расчета современного регионального климата с помощью ансамбля моделей CMIP3 и CMIP5 // Труды ГГО. 2013. Вып. 568. С. 26–50.
4. Павлова В.Н. Агроклиматические ресурсы и продуктивность сельского хозяйства России при реализации новых климатических сценариев в XXI-ом веке // Труды ГГО. 2013. Вып. 569. С. 20–37.
5. CRP Coupled Model Intercomparison Project (Phase 6). [Электронный ресурс] – URL: <https://esgf->

node.llnl.gov/projects/cmip6/ (дата обращения: 25.08.2021).

6. *Воспроизведение* современного климата в новой версии климатической модели ИВМ РАН / Е.М. Володин, Е.В. Мортиков, С.В. Кострыкин [и др.] // Изв. РАН. Физика атмосферы и океана. 2017. Т. 53. № 2. С. 164–178.

7. *ВМО–№ 1091*. Руководящие указания по системам ансамблевого прогнозирования и прогнозированию. 2012. 37 с.

8. *ВНИИГМИ-МЦД*. Данные эмпирических наблюдений. [Электронный ресурс] URL: <http://aisori-m.meteo.ru/waisori/select.xhtml> / (дата обращения: 20.06.2021).

9. *Менжулин Г.В., Галахова Ю.Е.* Оценки достоверности модельных сценариев изменений глобального климата в применении к задачам расчета их влияния на экологические процессы // Охрана атмосферного воздуха. Атмосфера. 2012. Вып. 2. С. 48–56.

10. *Duchon J.* Splines minimizing rotation invariant semi-norms in Sobolev spaces // Proceedings of a Conference Held at Oberwolfach April 25-May 1, 1976. Berlin: Springer. 1976. P. 85–100.

11. *Hengl T., Heuvelink G., Rossiter D.* About regression-kriging: from equations to case studies // Computers & Geosciences. 2007. Vol. 33. P. 1301–1315.

12. <https://docs.rstudio.com/> (дата обращения: 27.01.2021).

13. *Евстигнеев В.П., Морозов А.П.* Оценка перспектив использования данных МОЦАиО для исследования климата Европейской территории России // Экологическая деятельность и экологическое просвещение: региональный аспект: сборник материалов Всерос. науч. конф. СПб., 2020. С. 50–54.

14. *Лемешко Н.А., Белокопытова М.А.* Анализ достоверности и точности современных модельных сценариев климата для юга Европейской территории России // Экологическая деятельность и экологическое просвещение: региональный аспект: сборник материалов Всерос. науч. конф. СПб., 2020. С. 136–140.

15. *Селянинов Г.Т.* О сельскохозяйственной оценке климата // Труды по с.-х. метеорологии. 1928. Вып. 20. С. 169–178.

16. *Сиротенко О.Д., Абашина Е.В., Павлова В.Н.* Динамика климатообусловленных изменений теплообеспеченности, увлажненности и продуктивности земледельческой зоны России // Труды ФГБУ «ВНИИСХМ». 2013. Вып. 38. С. 41–53.

17. *Грингоф И.Г., Клещенко А.Д.* Основы сельскохозяйственной метеорологии. Т. I. Обнинск: ФГБУ «ВНИИГМИ-МЦД», 2011. 808 с.

APPLICABILITY OF GCMs FOR EVALUATION OF AGRO-CLIMATIC PROPERTIES OF LOCAL TERRITORIES

N.A. Lemeshko¹, V.P. Evstigneev^{2,3}, A.P. Morozov¹, V.A. Rusakov¹

¹Saint-Petersburg State University, RF, Saint-Petersburg, Universitetskaya Emb., 7

²Sevastopol State University, RF, Sevastopol, Universitetskaya St., 33

³Institute of Natural and Technical Systems, RF, Sevastopol, Lenin St., 28

The analysis of reliability and accuracy reproduction of air temperature, precipitation, and relative humidity of the air by 18 ocean-atmosphere general circulation models (GCMs) included in CMIP6 (Coupled Model Intercomparison Project) is performed. Based on statistical criteria, the best models that most accurately reproduce empirical data are selected. On the basis of these models, an ensemble of models is compiled. The calculation of several agro-climatic indicators for the European part of Russia is performed using an ensemble approach. The comparison of agro-climatic indicators calculated on the basis of the ensemble of models and observational data is carried out for the territory of the Upper Volga including Yaroslavl, Kostroma, Vologda, Novgorod and Tver regions. The feasibility of using the ensemble of models to assess agro-climatic conditions of the region is shown.

Keywords: ensemble of models, GCMs, model rank, air temperature, precipitation, agro-climatic indicators.

REFERENCES

1. IPCC, 2014: Climate Change 2014: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Core Writing Team, R.K. Pachauri and L.A. Meyer (eds.)]. IPCC, Geneva, Switzerland, 2014. 151 p.
2. Report on the peculiarities of the climate on the territory of the Russian Federation for 2019. Moscow, 2020. 97 p.
3. Meleshko V.P., and Govorkova V.A. The success of calculating the modern regional climate using an ensemble of CMIP3 and CMIP5 models. *Trudy GGO*, 2013, Issue 568, pp. 26–50.
4. Pavlova V.N. Agro-climatic resources and agricultural productivity of Russia in the implementation of new climate scenarios in the XXI century. *Trudy GGO*, 2013, Issue 569, pp. 20–37.
5. <https://esgf-node.llnl.gov/projects/cmip6/> (data obrashcheniya: 25.08.2021).
6. Volodin E.M., Mortikov E.V., and Kostykin S.V. Reproduction of the modern climate in a new version of the climate model of the IVM RAS. *Izv. RAS. Physics of the atmosphere and the ocean*, 2017, Vol. 53, No. 2, pp. 164–178.
7. https://meteoinfo.ru/images/media/books-docs/WMO/ensembles-wmo_1091_ru.pdf. (accessed: 05.09.2021).
8. <http://aisori-m.meteo.ru/waisori/select.xhtml> / (accessed: 20.08.2021).
9. Menzhulin G.V., and Galakhova Yu.E. Estimates of the reliability of model scenarios of global climate changes in application to the problems of calculating their impact on environmental processes. All-Russian quarterly magazine. *Protection of atmospheric air. Atmosphere*, 2012, Issue 2, pp. 48–56.
10. Duchon J. Splines minimizing rotation invariant semi-norms in Sobolev spaces. *Proceedings of a Conference Held at Oberwolfach April 25 – May 1, 1976*. Berlin: Springer, 1976, pp. 85–100.
11. Hengl T., Heuvelink G., and Rossiter D. About regression-kriging: from equations to case studies. *Computers & Geosciences*, 2007, Vol. 33, pp. 1301–1315.
12. <https://docs.rstudio.com> (accessed: 25.08.2021).
13. Evstigneev V.P., and Morozov A.P. Assessment of the prospects for using the MOCAI data for studying the climate of the European territory of Russia. In the collection: Environmental activity and environmental education: a regional aspect. Materials of the All-Russian Scientific Conference. St. Petersburg, 2020, pp. 50–54.
14. Lemeshko N.A., and Belokopytova M.A. Analysis of the reliability and accuracy of modern model climate scenarios for the south of the European territory of Russia. In the collection: Environmental activity and environmental education: a regional aspect. materials of the All-Russian scientific Conference. St. Petersburg, 2020, pp. 136–140.
15. Selyaninov G.T. On agricultural climate assessment. *Proceedings on agricultural meteorology*, 1928, Issue 20, pp. 169–178.
16. Sirotenko O.D., Abashina E.V., and Pavlova V.N. Dynamics of climate-conditioned changes in heat supply, moisture content and productivity of the agricultural zone of Russia. *Proceedings of the Federal State Budgetary Institution "VNIISHM"*, 2013, Issue 38, pp. 41–53.
17. Gringof I.G., and Kleshchenko A.D. Fundamentals of agricultural meteorology. Vol. I. Obninsk: FSBI "VNIIGMI-MCD", 2011, 808 p.