

DOI: <https://doi.org/10.37162/2618-9631-2024-3-6-22>

УДК 551.5

Основные особенности климатических условий зимнего сезона 2023/2024 гг. по данным мониторинга и прогнозов

***К.А. Сумерова, В.М. Хан,
В.А. Тищенко, Р.М. Вильфанд***

*Гидрометеорологический научно-исследовательский центр
Российской Федерации, г. Москва, Россия
sum-ksusha@yandex.ru*

Приводятся основные результаты комплексного анализа особенностей крупномасштабной атмосферной циркуляции в Северном полушарии в зимнем сезоне 2023/2024 гг. Обсуждается успешность консенсусного прогноза на зиму 2023/2024 гг. по территории Северной Евразии в контексте воспроизведения температурно-влажностного режима. Качественный анализ результатов мультимодельного прогноза Всемирной метеорологической организации и консенсусного прогноза Северо-Евразийского климатического форума среднесезонных аномалий температуры воздуха и осадков на зиму 2023/2024 гг. продемонстрировал преимущество консенсусного прогноза, составленного на основе данных трех российских моделей; ПЛАВ, ГГО и ИВМ с равными весовыми коэффициентами.

Ключевые слова: температура воздуха, атмосферные осадки, успешность прогнозов, крупномасштабная атмосферная циркуляция, температура поверхности океана, СЕАКЦ, СЕАКОФ, индексы циркуляции, лед в Арктике, снежный покров, экстремальные погодные явления, экономический ущерб

The main features of climatic conditions in the winter season of 2023/2024 according to monitoring and forecasts

***K.A. Sumerova, V.M. Khan,
V.A. Tishchenko, R.M. Vilfand***

*Hydrometeorological Research Center of Russian Federation, Moscow, Russia
sum-ksusha@yandex.ru*

The main results of the comprehensive analysis of the Northern Hemisphere large-scale atmospheric circulation features are presented for the 2023/2024 winter season. Skill scores of the consensus forecast for the 2023/2024 Northern Eurasia winter season are discussed in the context of reproducing the temperature and humidity regime. The qualitative analysis of the multimodel forecast from WMO's Lead Center and the consensus forecast issued by NEACOF for seasonal anomalies in air temperature and precipitation for the winter of 2023/2024 resulted in the conclusion of the superior accuracy of the consensus forecast. This forecast was based on the data of three Russian models SL-AV, MGO, and INM with equal weighting coefficients.

Keywords: air temperature, precipitation, forecast skill, large-scale atmospheric circulation, sea surface temperature, NEACC, NEACOF, circulation indices, Arctic ice, snow cover, extreme weather, economic loss

Введение

Проведение регулярного мониторинга является неотъемлемой частью работ в области климатического обслуживания, поскольку обеспечивает возможность с высокой надежностью анализировать и оценивать происходящие климатические изменения [1, 5, 6, 8]. Северо-Евразийский климатический центр (СЕАКЦ) активно осуществляет мониторинг и прогнозирование климатической изменчивости в регионе ответственности [9, 11], предоставляя метеослужбам стран СНГ и другим заинтересованным пользователям ценную информацию для научных исследований, практических применений и разработки мер адаптации к климатической изменчивости на сезонных временных интервалах. В свою очередь, под эгидой СЕАКЦ Северо-Евразийские климатические форумы (СЕАКОФ) выступают ключевой платформой [10], где эксперты детально изучают основные климатические факторы, влияющие на погодно-климатические условия в регионе.

Путем анализа накопленных разнородных фактических и прогностических данных эксперты разрабатывают прогнозы на предстоящие сезоны. Результаты работы СЕАКОФ имеют большой практический потенциал для разных секторов экономики – от сельского хозяйства до гражданской обороны, обеспечивая поддержку решений на основе информации о климатической динамике. Такой междисциплинарный подход позволяет более точно прогнозировать климатические изменения и предоставлять ценные рекомендации для общества, экономики и экологии [4].

В данной статье рассматриваются основные особенности климатических условий зимнего сезона 2023/2024 гг. в Северной Евразии на основе данных мониторинга и прогнозов, представленных Северо-Евразийским климатическим центром в ходе проведения 25-й сессии СЕАКОФ.

В работе проведен комплексный синоптический анализ особенностей крупномасштабной атмосферной циркуляции и долгопериодных тенденций изменчивости температуры воздуха и количества осадков в Северном полушарии с упором на территорию Северной Евразии, а также анализ успешности консенсусного прогноза температуры воздуха и осадков за зиму 2023/2024 гг. по Северной Евразии.

Были проанализированы осредненные за зимние месяцы поля геопотенциала на уровнях АТ-10 и АТ-500, поля приземного давления, индексы атмосферной циркуляции, поля приземной температуры и атмосферных осадков, данные о ледовой обстановке в Арктике и снежном покрове на территории Российской Федерации. Обсуждаются пространственные особенности долгопериодных тенденций в пространственном распределении температуры воздуха и осадков. В качестве информационной основы использовались данные реанализа ERA5 Европейского центра среднесрочных прогнозов погоды [13], справочная информация об опасных гидрометеорологических явлениях Гидрометцентра России, информационные материалы по мониторингу морского ледяного покрова Арктики и Южного

океана на основе данных ледового картирования и пассивного микроволнового зондирования SSMR-SSM/I-SSMIS-AMSR2 Арктического и антарктического научно-исследовательского института Росгидромета, информационные обзоры Национального центра данных снега и льда [nsidc.org/home] и обзоры Национального центра экологической информации NOAA [https://www.ncei.noaa.gov/].

Атмосферная циркуляция в Северном полушарии

Происходящие в последние десятилетия изменения климата отражаются в повышении его экстремальности и увеличении количества опасных метеорологических явлений [2, 3, 7, 14–16]. В целом по всему Северному полушарию зимний сезон 2023/2024 гг. оказался рекордно теплым за историю наблюдений с 1851 года. Аномалия превысила норму на 2,65 °С [13]. По данным Всемирной метеорологической организации (ВМО) количество экстремальных погодных, климатических и гидрологических явлений в результате климатических изменений продолжает увеличиваться [16]. С ростом экстремальности климата растет ущерб отраслям экономики и жизнедеятельности населения, вызванный неблагоприятными климатическими явлениями [7, 14, 16].

На территории Российской Федерации в 2023 году по сравнению с предшествующим 2022 г. количество всех опасных гидрометеорологических явлений увеличилось на 22 %, а нанесших значительный ущерб отраслям экономики и жизнедеятельности населения – на 34 % [3].

Регулярный мониторинг атмосферной циркуляции важен для анализа и оценки происходящих климатических изменений, которые сопровождаются экстремальными погодно-климатическими явлениями.

Ниже приведен обзор особенностей крупномасштабной атмосферной циркуляции за зимний сезон 2023/2024 гг., которые стали причиной формирования крупных сезонных аномалий в атмосфере.

Зимой 2023/2024 гг. центр околполярного циклона на уровне геопотенциала АТ-10 находился в российском секторе Арктики, неподалеку от Баренцева моря, южнее обычного положения (рис. 1а). Смещению циклона с полюса – на территорию Северной Евразии – способствовал высотный антициклон, располагающийся над Тихим океаном. Антициклон сохранял свою силу на протяжении всего рассматриваемого сезона и имел площадь большую, чем обычно.

Прошедший зимний сезон в стратосфере Арктики стал четвертым по счету теплым сезоном после необычайно холодного сезона 2019/2020 гг., когда наблюдалось рекордное разрушение озонового слоя за всю историю наблюдений. Ослабление стратосферного полярного вихря произошло в ходе минорного внезапного стратосферного потепления в начале декабря 2023 г. Это разрушение вызвало повышение температуры полярной стратосферы и резкое уменьшению объема полярных стратосферных облаков, от количества которых зависит толщина озонового слоя.

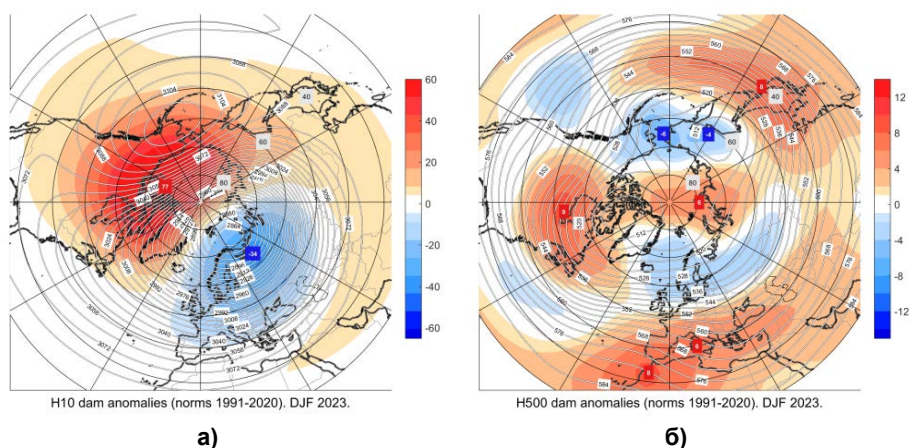


Рис. 1. Карта осредненных за зимний сезон 2023/2024 гг. аномалий и значений геопотенциала на поверхности АТ-10 (а) и АТ-500 (б). Аномалии рассчитаны относительно периода 1991–2020 гг. по данным реанализа ERA5.

Fig. 1. Map of anomalies relative to the period 1991–2020 and geopotential values on the surface of AT-10 (a) and AT-500 (б) averaged over the winter season 2023/2024 according to ERA5 reanalysis.

Интенсивные антициклоны в средней тропосфере на уровне АТ-500 в Северном полушарии привели к деформации, ослаблению и раздвоению центра околорполярного циклона и образованию зоны положительных аномалий геопотенциала над полюсом с максимальными значениями до +6 дам. Один из центров циклона, согласно норме, находился над о. Баффинова Земля. Ложбина, связанная с околорполярным циклоном, над востоком Северной Америки и северо-западом Атлантики была ослабленной в ее северной части, в течение зимы аномалии геопотенциала в этом регионе были положительными. В таких условиях циклоны были вынуждены смещаться по более южным траекториям – по центральным районам умеренных широт Атлантического океана. В сибирской ложбине околорполярного циклона (восток Якутии, Магаданская область и север Хабаровского края, аномалии достигали -4 дам) образовался второй его центр, влияние которого распространялось на Аляску, Берингово море, Чукотский полуостров, северо-восток Якутии и Дальний Восток России (ДВР). Влияние антициклонов и их гребней, распространяющихся с северо-запада Африки и востока Атлантики на Западную Европу и Средиземноморье было доминирующим в декабре и январе.

Были проанализированы индексы атмосферной циркуляции, которые на регулярной основе рассчитываются в Гидрометцентре России. Отрицательная фаза, которая связана с усилением зональной формы циркуляции в восточной части Северной Атлантики, восточно-атлантического колебания (ЕА), наблюдалась в декабре и феврале. Повышенный фон температуры отмечался над значительной частью Европы, особенно в феврале, когда

на востоке Европы аномалии достигали $+7^{\circ}\text{C}$. Неустойчивость атмосферных процессов в зимнем сезоне привела к тому, что значения североатлантического колебания (NAO) были незначительными для анализа, и можно выделить только отрицательные значения индекса в январе, когда гребень высотного антициклона располагался над Западной Европой и наблюдались меридиональные формы циркуляции. В экспериментальном режиме рассчитывается индекс сибирского максимума (SHI) для области $40\text{--}60^{\circ}$ с. ш., $80\text{--}120^{\circ}$ в. д. Прошедшей зимой наблюдалась положительная фаза индекса с наибольшим значением 0,65 в феврале, когда сибирский антициклон был интенсивным и обширным, оказывая влияние на юго-восток Европейской территории России (ЕТР), Центральную Азию и на всю территорию Сибири. В тропической зоне Тихого океана зимой отмечалась теплая фаза Эль-Ниньо – Южное колебание [12].

Интенсивность и положение центра исландского минимума у поверхности Земли были близкими к нормальным. В связи с активной циклонической деятельностью на северо-западе Атлантического океана, азорский антициклон оказался смещенным восточнее своего климатического положения, располагаясь над северо-западом Африки и Пиренейском полуостровом. Преобладающим на северную, восточную части Европы, ЕТР и север Урала большую часть зимы было влияние ложбины исландской депрессии.

Усиление сибирского антициклона происходило за счет взаимодействия его гребней с полярными антициклонами, которые наиболее мощными были в декабре 2023 г. Сибирский максимум оказался сильно ослабленным в начале января, но затем стал развиваться. К началу февраля антициклон был хорошо развит над Сибирью и ДВР, что привело к формированию зоны положительных аномалий ($+5\text{...}+7$ гПа) над Восточной Сибирью, Монголией и южной половиной ДВР, его центр находился над севером Монголии, югом Сибири и востоком Казахстана. Повышенная интенсивность сибирского максимума стала причиной волн холода на юге Сибирского федерального округа. В среднем за зимний сезон центр сибирского антициклона располагался над Монголией ($+5$ гПа над востоком Монголии), при этом его северные ($+4$ гПа над севером Красноярского края) и восточные ($+5$ гПа над Сахалином) отроги были интенсивными.

На северо-западе Тихого океана наблюдалась интенсивная антициклональная деятельность, что привело к ослаблению южной части алеутской депрессии и формированию зоны положительных аномалий $+2\text{...}+4$ гПа юго-западнее Алеутских островов. Интенсивные антициклоны способствовали смещению циклонической деятельности на восток – на Аляску, западные провинции Канады и тихоокеанское побережье США. Центр алеутского минимума находился над Алеутскими островами. Активная циклоническая деятельность на северо-востоке Тихого океана ослабила субтропический (гавайский) антициклон. Его центр располагался около мексиканского побережья полуострова Калифорния.

Распределение аномалий температуры поверхности океана в Северном полушарии и ледовая обстановка в Арктике

На бóльшей части Тихого океана в Северном полушарии за зимний сезон 2023/2024 гг. аномалии температуры поверхности океана (ТПО), в том числе в центральной и восточной частях экваториальных широт океана, были положительными (рис. 2) У побережья Японии и в центре умеренных широт океана аномалии ТПО оказались наиболее выраженными (более $2-3^{\circ}$).

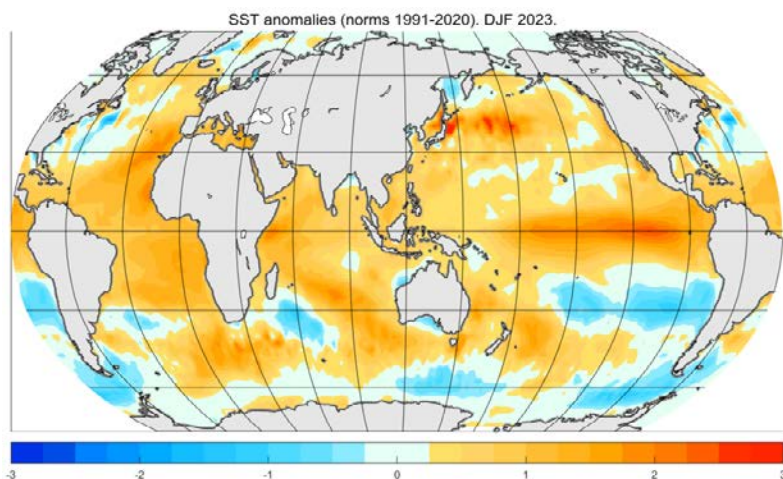


Рис. 2. Карта аномалий температуры поверхности океана осредненных за зимний сезон 2023/2024 гг. Аномалии рассчитаны относительно периода 1991–2020 гг. по данным реанализа ERA5.

Fig. 2. Seasonal SST anomalies (ERA5 reanalysis, based on a 1991–2020 mean).

На северо-западе Атлантического океана и севере Мексиканского залива аномалии ТПО были отрицательными, теплее нормы ТПО наблюдалась в восточной части экваториальных и юга субтропических широт океана.

Анализ данных по мониторингу морского ледяного покрова Арктики Арктического и антарктического научно-исследовательского института Росгидромета показал, что в декабре площадь морского льда на севере Атлантики была ниже среднего климатического значения, это характерно для последнего десятилетия. Значительное смещение кромки льда к северу в январе зафиксировано в Баренцевом море, с участками открытой воды в районе архипелага Новая Земля, а также в заливе Святого Лаврентия. Рост площади льда преимущественно в водах Охотского и Берингова морей наблюдался в феврале. Более значительной, чем в среднем, протяженность ледяного покрова была в Охотском море, ниже нормы –

в Беринговом, Баренцевом и Лабрадорском морях. На остальных акваториях положение кромки льда было в пределах обычного для этого времени года.

Дата максимальной площади ледового покрова за год (14 марта 2024 г.) была на два дня позже, чем средняя дата (12 марта) за период с 1981 по 2010 год. Максимальная площадь арктического льда в 2024 г. стала 14-й по счету из самых низких показателей, отмеченных за всю историю спутниковых данных с 1979 года [nsidc.org/home].

Распределение атмосферных осадков и температуры воздуха в Северной Евразии и снежный покров на территории России

Температурный фон выше нормы за зимний сезон 2023/2024 гг. был в Европе, южных районах ЕТР, значительной части Центральной Азии, за исключение северо-запада Казахстана, где температура воздуха оказалась близкой к норме (рис. 3а). На севере Урала, на Таймыре, Новой Земле и арктических островах зима была очень теплой. Отрицательные аномалии температуры отмечены над Скандинавским полуостровом, на северо-западе, в центре и местами на востоке ЕТР.

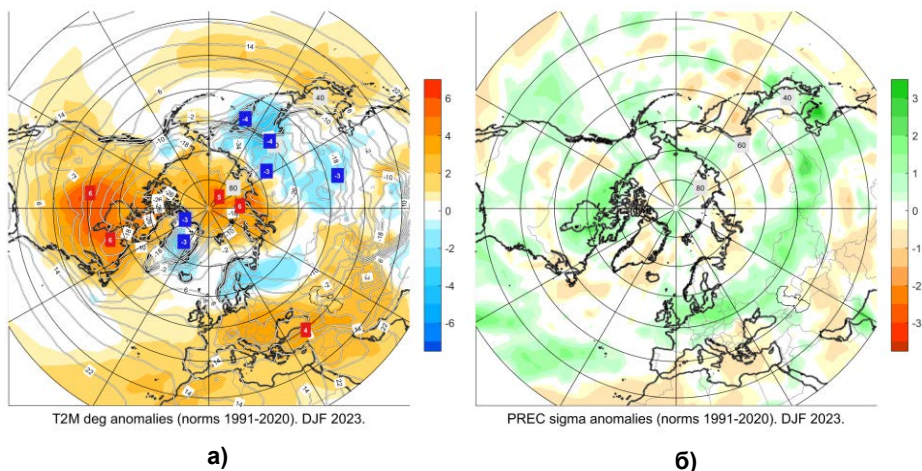


Рис. 3. Карта осредненных за зимний сезон 2023/2024 гг. аномалий приземной температуры воздуха (а) и осадков (б). Аномалии рассчитаны относительно периода 1991–2020 гг. по данным реанализа ERA5.

Fig. 3. Map of anomalies relative to the period 1991–2020 for surface air temperature (а) and precipitation (б) averaged over the winter season 2023/2024. According to ERA5 reanalysis.

Сложившиеся циркуляционные условия в зимнем сезоне 2023/2024 гг. способствовали формированию волн холода. В северных и центральных районах ЕТР и в Поволжье они фиксировались в первой половине декабря. Волны холода, с аномалиями в отдельные дни на северо-западе ЕТР

до 28 °С ниже климатической нормы, наблюдались в северной половине ЕТР в первой половине января. Согласно данным Гидрометцентра России, абсолютный минимум температуры воздуха для 4 января в Санкт-Петербурге обновился в 2024 г., новое значение составило -25,3 °С. На юге Восточной Сибири, исключая Забайкалье, большей части ДВР, исключая восток Чукотки, Амурскую область, Приморье и юг Хабаровского края, прошедшей зимой было холоднее нормы.

Нормальное распределение осадков зимой наблюдалось на Пиренейском полуострове и во Франции (рис. 3б). Мало их выпало на Апеннинском и Балканском полуостровах и юге Восточной Европы. На Британских островах, в Центральной Европе, на севере Восточной Европы и западе Скандинавии был зафиксирован избыток осадков. Меньше нормы осадков выпало на севере ЕТР и в крайних северных районах Урала, местами на северо-западе Сибири и в некоторых районах Таймыра, в центре и южной половине ЕТР, Казахстане, исключая юго-запад, юге Западной Сибири, Монголии, местами на юге Восточной Сибири, северо-востоке Якутии и западе Чукотки, где в зимнем сезоне наблюдалось избыточное увлажнение. Дефицит осадков под влиянием сибирского антициклона отмечался в южных районах Восточной Сибири на границе с Монголией, на Сахалине и Камчатке, местами на юге Хабаровского края, прибрежных районах Магаданской области.

Положительные аномалии высоты снежного покрова в зимнем сезоне 2023/2024 гг. зафиксированы в западной и центральной областях ЕТР и в Поволжье. Наиболее крупными положительными аномалиями были на севере Ульяновской области и севере Мордовии (51–53 см). Снежной была зима в восточной половине Азиатской территории России (АТР). Максимальными аномалиями высоты снега оказались на севере Хабаровского края (до 52 см) и на юго-западе Сибири. В течение сезона наблюдались отрицательные аномалии высоты снежного покрова на юго-западе Якутии, большей части Красноярского края, центральных регионах и в отдельные периоды южных областях Хабаровского края; в декабре – в центральных районах Западной Сибири.

Были проанализированы данные анализа СЕАКЦ по водному эквиваленту снега с использованием реанализа ERA5. Интенсивные гребни сибирского антициклона, наблюдавшиеся в течение всей зимы, способствовали формированию отрицательных аномалий эквивалента над севером Урала, северной половиной Западной Сибири, центральными и южными районами Восточной Сибири. В феврале с распространением на восток гребней сибирского антициклона ниже нормы показатели водного эквивалента снега зафиксированы на Сахалине. Во все месяцы зимы отмечались отрицательные аномалии эквивалента на севере и в центре Хабаровского края. Ниже нормы водный эквивалент снега наблюдался в январе в северных областях ЕТР в связи с выходом полярных антициклонов. В феврале повышенная циклоническая активность в западных и центральных районах

ЕТР привела к образованию положительных аномалий эквивалента на западе и в центре ЕТР, на Южном Урале и юго-западе Сибири.

Успешность консенсусных прогнозов температуры воздуха и осадков в зимний сезон 2023/2024 гг.

Большинство прогностических центров ВМО ожидали теплый зимний сезон 2023/2024 гг. на всей территории Северной Евразии (рис. 4а). Наиболее вероятными очаги тепла прогнозировались на севере Сибири, севере Якутии и юге Дальневосточного федерального округа. На большей части территории Северной Евразии ожидалось превышение нормы осадков, наиболее вероятное на севере и востоке АТР (рис. 4б).

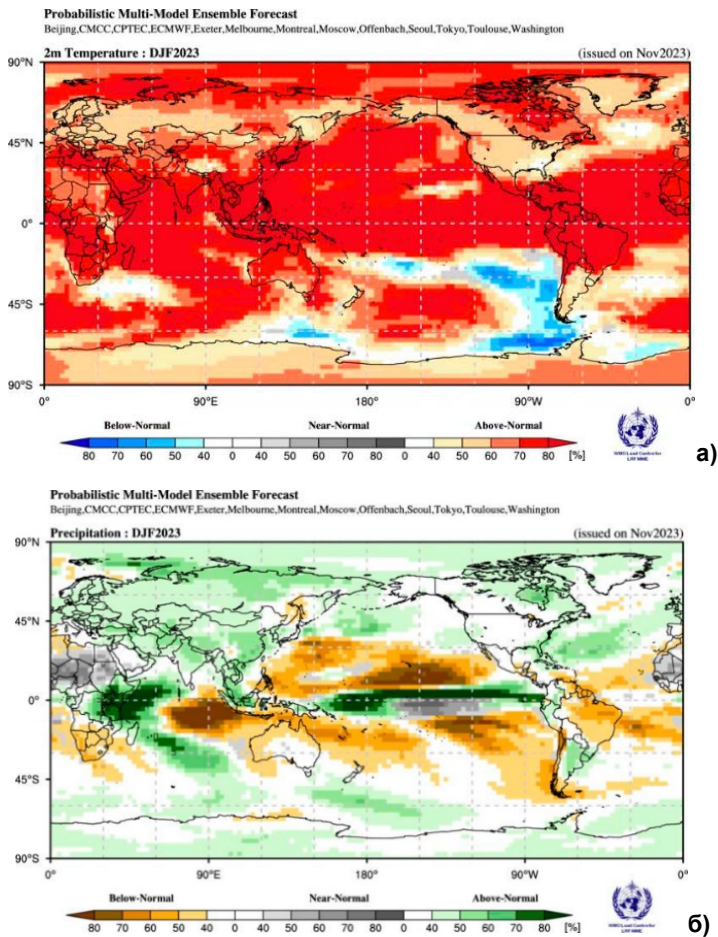


Рис. 4. Мультимодельный прогноз ВМО среднесезонных аномалий температуры (а) и осадков (б) на зимний сезон 2023/2024 гг. в вероятностной форме.
Fig. 4. Probabilistic forecasts of surface air temperature (a) and precipitation (б) for the season for December-February 2023/2024.

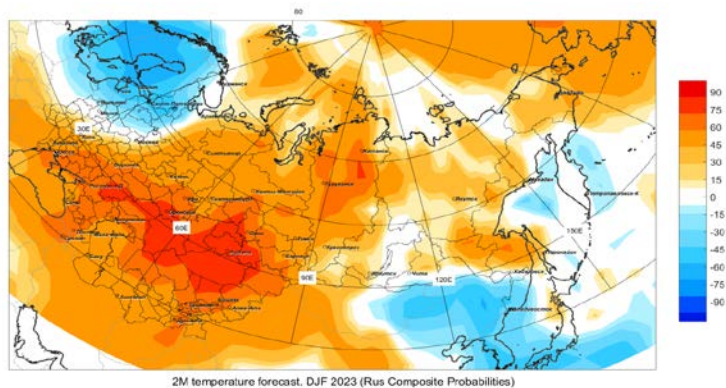
При сравнении прогностических (рис. 4а) с фактическими картами (рис. 5б) становится ясно, что мультимодельный прогноз от Ведущего центра ВМО не воспроизвел ни одного очага с отрицательными аномалиями температуры воздуха в Северной Евразии. Дефицит осадков в прошедшем зимнем сезоне (рис. 6б) в северных регионах России и Дальневосточном федеральном округе также не отражен в мультимодельных прогнозах (рис. 4б).

При качественном сравнении прогнозов ВМО с прогнозами СЕАКОФ-25 для температуры воздуха и осадков на территории Северной Евразии можно отметить некоторое преимущество в успешности прогнозов СЕАКОФ-25. Ниже приведен более детальный анализ с количественными оценками.

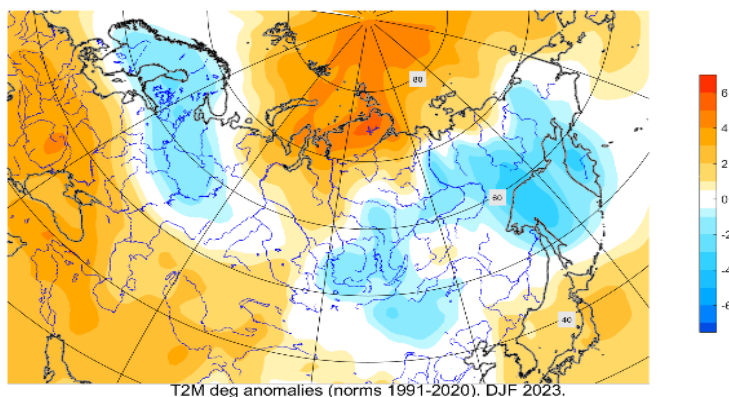
В ходе сессии СЕАКОФ-25, состоявшейся 4–5 декабря 2023 г., на основе данных трех российских моделей: ПЛАВ (Гидрометцентр России/Институт вычислительной математики им. Марчука РАН), ГГО (Главная геофизическая обсерватория им. Воейкова) и ИВМ (Институт вычислительной математики им. Г.И. Марчука РАН) с равными весовыми коэффициентами был составлен консенсусный прогноз [<https://seakf.meteoinfo.ru/ru/seakof-25>]. По прогнозу приземная температура воздуха на большей части территории Северной Евразии ожидалась выше нормы (рис. 6а). С вероятностью более 60 % аномалии температуры выше нормы предполагались в южной половине ЕТР, на Кавказе, в Центральной Азии, Южном Урале и южных районах Западной Сибири. Вероятность положительных аномалий температуры достигала 75–80 % согласно консенсусному прогнозу в Волгоградской, Самарской, Оренбургской областях, на севере и в центре Казахстана, на юге Омской и южных районах Тюменской областей. Качественный анализ прогностических данных показал, что успешным оказался прогноз вероятности положительных аномалий температуры воздуха на юге Беларуси, в Молдавии, южной половине ЕТР и на Украине (рис. 5б). Как было выше сказано, в северных и центральных областях ЕТР в декабре и январе фиксировались волны холода, которые отразились в среднесезонных отрицательных аномалиях температуры воздуха в северной половине ЕТР. Хорошо были спрогнозированы аномалии ниже нормы на северо-западе ЕТР, но не отражено распространение их на центральные районы ЕТР. Успешно оказались воспроизведены положительные аномалии температуры воздуха в Центральной Азии, на севере Западной Сибири, большей части Красноярского края и северо-западе Якутии.

Неудачным прогноз температуры выше нормы с вероятностью 30–60 % оказался в Амурской области, исключая западные районы, и в Хабаровском крае, где кроме южной части температурный фон зимой был ниже нормы или в пределах нормы. Не отражены в консенсусном прогнозе отрицательные аномалии в центральных и восточных частях Якутии, также не был успешным прогноз в Приморском крае, где сезон ожидался

холоднее нормы с вероятностью 30–45 %. Хорошо была предсказана вероятность положительных аномалий температуры на востоке Чукотского полуострова.



а)



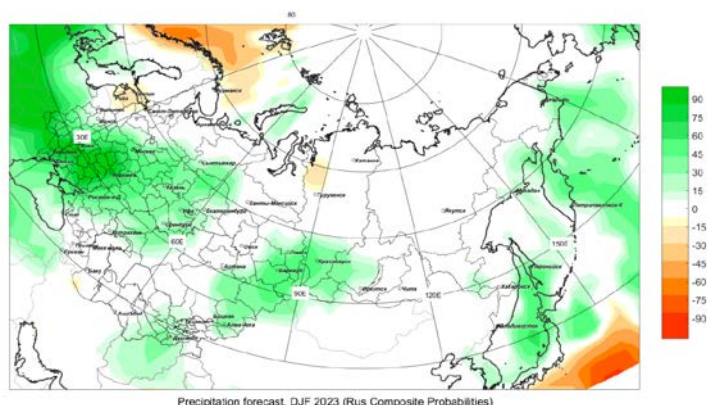
б)

Рис. 5. Консенсусный прогноз среднесезонной аномалии температуры воздуха на зиму 2023/2024 гг. в вероятностной форме, рассчитанный на основе интерпретации данных трех российских моделей (ПЛАВ, ГГО, ИВМ) (а); распределение нормированных аномалий приземной температуры за зимний сезон 2023/2024 гг. по данным реанализа ERA5 (б).

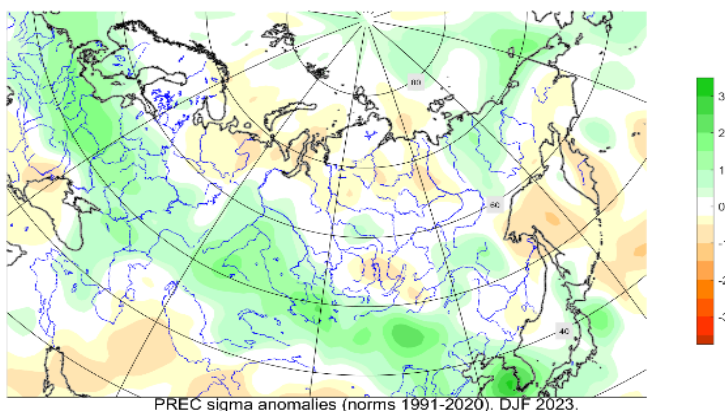
Fig. 5. Consensus forecast of the mean seasonal air temperature anomaly for the winter season 2023/2024 in probabilistic form, calculated on the basis of data interpretation of 3 Russian models (PLAV, GGO, INM) (a); distribution of normalized surface temperature anomalies according to ERA5 reanalysis data for the winter season 2023/2024 (b).

Хорошо оправдался консенсусный прогноз превышения нормы осадков (с вероятностью 45–75 %) на зимний сезон на большей части ЕТР, за исключением северных областей, где преобладала неопределенность, на северо-западе и востоке Казахстана и Южном Урале. На большей части

АТР в прогнозе осадков присутствовала неопределенность. Избыток осадков хорошо воспроизведен на юге Сибирского федерального округа, неудачным прогноз был на Сахалине и Камчатском полуострове, где распределение осадков было нормальным и ниже нормы (рис. 6а).



а)



б)

Рис. 6. Консенсусный прогноз среднесезонной аномалии осадков на зиму 2023/2024 гг. в вероятностной форме, рассчитанный на основе интерпретации данных трех российских моделей (ПЛАВ, ГГО, ИВМ) (а); распределение нормированных аномалий приземной температуры за зимний сезон 2023/2024 гг. по данным реанализа ERA5 (б).

Fig. 6. Consensus forecast of the mean seasonal precipitation anomaly for the winter season 2023/2024 in probabilistic form, calculated on the basis of data interpretation of 3 models (PLAV, GGO, INM) (a); distribution of normalized precipitation anomalies according to ERA5 reanalysis data for the winter season 2023/2024 (б).

Качественный анализ полей мультимодельного прогноза ВМО и консенсусного прогноза среднесезонных аномалий температуры воздуха и осадков на зиму 2023/2024 гг. позволяет сделать вывод о более высокой

успешности составленного на основе данных трех российских моделей ПЛАВ, ГГО и ИВМ с равными весовыми коэффициентами консенсусного прогноза. Мультимодельный прогноз ВМО, в отличие от консенсусного прогноза, не воспроизвел вероятность отрицательных аномалий над Скандинавией и севером ЕТР, также по нему невысокой оказалась и вероятность теплого сезона на юге ЕТР и в Центральной Азии. Неудачным прогнозом температуры воздуха по мультимодельному прогнозу был на АТР. Неудачно по нему были спрогнозированы и осадки. Не отражена повышенная вероятность избытка осадков в южной половине Восточной Европы, центре и юге ЕТР и дефицит осадков на севере ЕТР. Обратным в сравнении с фактическим данным оказался прогноз осадков над АТР: избыток влаги в прогнозе на севере и центре региона и дефицит по факту в этих районах.

В качестве количественных оценок успешности консенсусного прогноза использованы показатель оправдываемости прогноза и коэффициент корреляции между значениями аномалий. По территории Северной Евразии показатель оправдываемости комплексного прогноза по результатам российских моделей (ПЛАВ, ГГО, ИВМ) на зимний сезон 2023/2024 гг. для приземной температуры оказался 66 %, для осадков – 76 % (таблица). Наивысшие показатели оправдываемости прогнозов аномалий температуры воздуха за зимний сезон оказались для Центральной Азии (88 %), осадков (78 %) в первом и (75 %) во втором естественных синоптических районах.

Таблица. Оценки прогнозов на зимний сезон 2023/2024 гг.

Table. Forecast assessment for the winter season 2023/2024

	СНГ	1 е.с.р.	2 е.с.р.	Центральная Азия и Казахстан
Оправдываемость прогноза (%)				
Температура, 2м	66	79	50	88
Осадки	76	78	75	70
Коэффициент корреляции аномалий (АСС)				
Температура, 2м	0.34	0.59	-0.03	0.64
Осадки	0.25	0.44	0.09	0.58

Примечание. 1 е.с.р., 2 е.с.р. – первый и второй естественные синоптические районы.

Корреляционный анализ между данными реанализа ERA5 и консенсусного прогноза аномалий приземной температуры и осадков в Северной Евразии показал невысокий результат: 0,34 и 0,25 соответственно. Коэффициент корреляции для прогностических значений аномалий температуры имел наибольшее значение, как и показатель оправдываемости, в Центральной Азии (0,64). Незначительным коэффициент был во втором

естественном синоптическом районе для прогностических данных аномалий осадков, высоким данный показатель оказался в Центральной Азии (0,58).

Выводы

В последние десятилетия изменчивость климатической системы приводит к увеличению экстремальности климата и количества опасных метеорологических явлений. Зимний сезон 2023/2024 гг. в Северном полушарии за последние 175 лет был рекордно теплым и превысил норму на 2,65 °С. Учитывая тенденции роста частоты и интенсивности экстремальных погодно-климатических явлений, важность регулярного мониторинга атмосферной циркуляции возрастает. Тщательный анализ крупномасштабной циркуляции является также ключевым моментом для повышения точности прогнозирования экстремальных климатических явлений.

Зима 2023/2024 гг. характеризовалась необычными явлениями как в стратосфере, так и в тропосфере. В начале декабря произошло ослабление стратосферного полярного вихря из-за минорного внезапного стратосферного потепления, приведшее к увеличению температуры полярной стратосферы и уменьшению объема полярных стратосферных облаков. Интенсивная антициклональная деятельность в средней тропосфере над Северным полушарием привела к деформации околполярного циклона, образованию положительных аномалий геопотенциала над полюсом и смещению циклонической активности в более низких широтах. Неоднородная циркуляция внутри сезона привела к меняющимся погодным условиям, включая формирование волн холода и обильные снегопады на территории Северной Евразии.

В тропической зоне Тихого океана прошедшей зимой сохранялась теплая фаза Эль-Ниньо – Южное колебание.

В 2024 году максимальная площадь арктического льда оказалась на 14-м месте среди наименьших значений с 1979 г., зафиксированных с использованием спутниковых данных.

При сложившихся разнообразных циркуляционных условиях в прошедшем зимнем сезоне по оценкам качества консенсусного прогноза наблюдалась невысокая предсказуемость термического режима на территории Северной Евразии (66 %). Однако высокие оценки качества прогнозов аномалий температуры воздуха зафиксированы в Центральной Азии.

По всей территории Северной Евразии показатель оправдываемости прогноза осадков оказался достаточно высоким и составил 76 %.

Качественный анализ полей мультимодельного прогноза ВМО и консенсусного прогноза СЕАКОФ среднесезонных аномалий температуры воздуха и осадков на зиму 2023/2024 гг. позволяет сделать вывод о более высокой успешности консенсусного прогноза, составленного на основе данных трех российских моделей ПЛАВ, ГГО и ИВМ с равными весовыми

коэффициентами. Авторы выражают благодарность П.Н. Варгину в подготовке анализа циркуляционных особенностей в стратосфере.

Список литературы

1. Вильфанд Р.М., Куликова И.А., Хан В.М., Макарова М.Е. Анализ внутрисезонной изменчивости и предсказуемости атмосферных процессов регионального масштаба в умеренных широтах Северного полушария // Известия РАН. ФАО. 2023. Том 59, № 5. С. 525-538.
2. Виноградова В.В. Зимние волны холода на территории России со второй половины XX века // Известия РАН. Серия географическая. 2018. №. 3. С. 37-46.
3. Доклад об особенностях климата на территории Российской Федерации за 2023 год. М.: Росгидромет, 2024. 112 с.
4. Емелина С.В., Хан В. М., Семенов В.А., Воробьева В. В., Тарасевич М.А., Володин Е.М. Использование сезонных гидродинамических прогнозов модели INM-CM5 для оценки сроков начала пыления березы // Известия РАН. ФАО. 2023. Том 59, № 4. С. 407-416.
5. Куликова И.А., Круглова Е.Н., Хан В.М. Оценка практической предсказуемости блокирующих антициклонов с использованием современных гидродинамических моделей // Метеорология и гидрология. 2022. № 1. С. 5-23.
6. Куликова И.А., Набокова Е.В., Хан В.М., Володин Е.М., Тарасевич М.А. Коллебание Маддена-Джулиана в контексте внутрисезонной изменчивости, дальних связей и предсказуемости // Метеорология и гидрология. 2023. № 8. С. 5-23.
7. Соколов Ю.А. Риски экстремальных погодных явлений // Проблемы анализа риска. 2018. Том. 15, № 3. Р. 6-21.
8. Сумерова К.А., Варгин П.Н., Лукьянов А.Н., Хан В.М. Анализ циркуляционных условий в тропосфере и стратосфере, способствующих формированию волн холода на северо-западе и в центре Европейской территории России в декабре 2021 г. // Метеорология и гидрология. 2023. № 11. С. 20-38.
9. Тищенко В.А., Хан В.М., Круглова Е.Н., Куликова И.А. Прогнозирование осадков и температуры в бассейне реки Амур на месячных и сезонных интервалах времени // Метеорология и гидрология. 2019. № 3. С. 24-39.
10. Хан В.М. Концепция региональных климатических форумов ВМО и вклад Северо-Евразийских климатических форумов в ее реализацию // Труды Гидрометцентра России. 2017. Вып. 366. С. 5-13.
11. Хан В.М., Вильфанд Р.М., Тищенко В.А., Емелина С.В., Грицун А.С., Володин Е.М., Воробьева В.В., Тарасевич М.А. Оценка изменений температурного режима по Северной Евразии на предстоящее пятилетие по прогнозам модели Земной системы ИВМ РАН и их возможных последствий для сельского хозяйства // Метеорология и гидрология. 2023. № 9. С. 14-28.
12. Climate Prediction Center, NOAA. https://origin.cpc.ncep.noaa.gov/products/analysis_monitoring/ensostuff/ONI_v5.php
13. Hersbach H., Bell B., Berrisford P., Hirahara S., Horányi A., Muñoz-Sabater J. The ERA5 global reanalysis // Q. J. R. Meteorol. Soc. 2020. Vol. 146 (730). P. 1999-2049.
14. State of the Global Climate 2023 // WMO-No. 1347. Geneva, 2024. 53 p. <https://library.wmo.int/records/item/68835-state-of-the-global-climate-2023>
15. State of the Climate in Asia 2023 // WMO-No. 1350. Geneva, 2024. 38 p. <https://library.wmo.int/records/item/68890-state-of-the-climate-in-asia-2023>

16. WMO Atlas of Mortality and Economic Losses from Weather, Climate and Water Extremes (1970–2019) // WMO-No. 1267. 2021. <https://library.wmo.int/records/item/57564-wmo-atlas-of-mortality-and-economic-losses-from-weather-climate-and-water-extremes-1970-2019#.YS9CMNMzZBx>

References

1. Vil'fand R.M., Kulikova I.A., Khan V.M., Makarova M.E. An Analysis of Intra-Seasonal Variability and Predictability of Atmospheric Processes of Regional Scale in the Northern Hemisphere Mid-Latitudes. *Izvestiya RAN. FAO [Izvestiya, Atmospheric and Oceanic Physics]*, 2023, vol. 59, no. 5, pp. 525-538 [in Russ.].

2. Vinogradova V.V. Cold waves in winter in Russia since the second half of the 20th century. *Izvestiya RAN. Seriya Geograficheskaya. [Bulletin of the Russian Academy of Sciences. Geography]*, 2018, no. 3, pp. 37-46. DOI: 10.7868/S2587556618030056 [in Russ.].

3. Doklad ob osobennostyah klimata na territorii Rossiyskoy Federacii za 2023 god. Moscow: Rosgidromet, 2024, 112 p. [in Russ.].

4. Emelina S.V., Khan V.M., Semenov V.A., Vorobyeva V.V., Tarasevich M.A., Volodin E.M. Seasonal Hydrodynamic Forecasts of INM-CM5 Model for Estimation of the Start of the Birch Pollen Season. *Izvestiya RAN. FAO [Izvestiya, Atmospheric and Oceanic Physics]*, 2023, vol. 59, no. 4, pp. 407-416 [in Russ.].

5. Kulikova, I.A., Kruglova, E.N., Khan, V.M. Evaluation of Practical Predictability of Blocking Anticyclones Using Modern Hydrodynamic Models. *Russ. Meteorol. Hydrol.*, 2022, vol. 47, pp. 1-13. DOI: 10.3103/S1068373922010010.

6. Kulikova, I.A., Nabokova, E.V., Khan, V.M., Volodin E. M., Tarasevich M. A. Madden-Julian Oscillation in the Context of Subseasonal Variability, Teleconnections, and Predictability. *Russ. Meteorol. Hydrol.*, 2023, vol. 48, pp. 645-657. DOI: 10.3103/S1068373923080010.

7. Sokolov Yu.I. Risks of Extreme weather events. *Problemy analiza riska [Issues of Risk Analysis]*, 2018, vol. 15, no. 3, pp. 6-21. DOI: 10.32686/1812-5220-2018-15-3-6-21 [in Russ.].

8. Sumerova, K.A., Vargin, P.N., Lukyanov, A.N., Khan V. M. Analysis of Tropospheric and Stratospheric Circulation Conditions That Contributed to the Formation of Cold Waves in the Northwest and Center of European Russia in December 2021. *Russ. Meteorol. Hydrol.* 2023, vol. 48, pp. 931-945. DOI: 10.3103/S106837392311002X.

9. Tishchenko V.A., Khan V.M., Kruglova E.N. Kulikova I.A. Monthly and Seasonal Prediction of Precipitation and Air Temperature in the Amur River Basin. *Russ. Meteorol. Hydrol.*, 2019, vol. 44, pp. 169-179. DOI: 10.3103/S1068373919030026.

10. Khan V.M. The concept of WMO Regional Climate Outlook Forum and the contribution of North Eurasia Climate Outlook Forum to its implementation. *Trudy Gidromettsentra Rossii [Proceedings of the Hydrometcentre of Russia]*, 2017, vol. 366, pp. 5-13 [in Russ.].

11. Khan V.M., Vil'fand R.M., Tishchenko V.A. Emelina S.V., Volodin E.M., Vorobyeva V.V., Tarasevich M. A. Assessment of Changes in the Temperature Regime of Northern Eurasia for the Next Five Years According to the INM RAS Earth System Model Forecasts and Their Possible Consequences for Agriculture. *Russ. Meteorol. Hydrol.*, 2023, vol. 48, pp. 745-754. DOI: 10.3103/S1068373923090029.

12. Climate Prediction Center, NOAA. Available at: origin.cpc.ncep.noaa.gov/products/analysis_monitoring/ensostuff/ONI_v5.php

13. Hersbach H., Bell B., Berrisford P., Hirahara S., Horányi A., Muñoz-Sabater J. The ERA5 global reanalysis. *Q. J. R. Meteorol. Soc.*, 2020, vol. 146 (730), pp. 1999-2049.

14. State of the Global Climate 2023. *WMO-No. 1347*, Geneva, 2024, 53 pp. Available at: library.wmo.int/records/item/68835-state-of-the-global-climate-2023

15. State of the Climate in Asia 2023. *WMO-No. 1350*. Geneva, 2024, 38 pp. Available at: library.wmo.int/records/item/68890-state-of-the-climate-in-asia-2023

16. WMO Atlas of Mortality and Economic Losses from Weather, Climate and Water Extremes (1970–2019). *WMO-No. 1267*. 2021. Available at: library.wmo.int/records/item/57564-wmo-atlas-of-mortality-and-economic-losses-from-weather-climate-and-water-extremes-1970-2019#.YS9CMNMzZBx

*Поступила 31.03.2024; одобрена после рецензирования 24.09.2024;
принята в печать 15.10.2024.*

*Submitted 31.03.2024; approved after reviewing 24.09.2024;
accepted for publication 15.10.2024.*