

DOI: <https://doi.org/10.37162/2618-9631-2023-1-161-171>

УДК 551.5

## Особенности атмосферной циркуляции летом 2022 года

***В.М. Хан<sup>1,2</sup>, Р.М. Вильфанд<sup>1</sup>, В.А. Тищенко<sup>1</sup>, К.А. Сумерова<sup>1</sup>,  
С.В. Емелина<sup>1,2</sup>, Е.С. Каверина<sup>1</sup>, Е.Н. Круглова<sup>1</sup>,  
И.А. Куликова<sup>1</sup>, Е.В. Набокова<sup>1</sup>, А.В. Субботин<sup>1</sup>***

*<sup>1</sup>Гидрометеорологический научно-исследовательский центр  
Российской Федерации, г. Москва, Россия;*

*<sup>2</sup>Институт физики атмосферы им. А.М. Обухова  
Российской академии наук, г. Москва, Россия  
khan@mecom.ru*

По данным мониторинга климатической системы Северного полушария обсуждаются основные особенности атмосферной циркуляции летнего сезона 2022 г. Приводятся оценки температурно-влажностного режима в Северной Евразии на основе станционных данных. Выявлены регионы, в которых аномалии геопотенциала, приземного давления и температуры поверхности океана воспроизведены наиболее/наименее удачно мультимодельными прогнозами ВМО и прогнозами по модели ПЛАВ. Отмечена высокая успешность консенсусных прогнозов температуры воздуха и осадков за лето 2022 г., выпущенных в ходе СЕАКОФ-22. По всей территории Северной Евразии для приземной температуры воздуха оправдываемость прогнозов составила 80 %, для осадков – 64 %.

*Ключевые слова:* крупномасштабная атмосферная циркуляция, температура поверхности океана, мультимодельный прогноз, консенсусный прогноз, температура воздуха, осадки, успешность

## Features of atmospheric circulation in the summer of 2022

***V.M. Khan<sup>1,2</sup>, R.M. Vilfand<sup>1</sup>, V.A. Tishchenko<sup>1</sup>, K.A. Sumerova<sup>1</sup>,  
S.V. Emelina<sup>1,2</sup>, E.S. Kaverina<sup>1</sup>, E.N. Kruglova<sup>1</sup>,  
I.A. Kulikova<sup>1</sup>, E.V. Nabokova<sup>1</sup>, A.V. Subbotin<sup>1</sup>***

*<sup>1</sup>Hydrometeorological Research Center of Russian Federation, Moscow, Russia;*

*<sup>2</sup>A.M. Obukhov Institute of Atmospheric Physics  
Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia  
khan@mecom.ru*

The main features of the atmospheric circulation in the summer of 2022 based on the Northern Hemisphere climate system monitoring are discussed. Estimates of the temperature and precipitation regime in Northern Eurasia based on observational data are given. The regions in which the anomalies of geopotential height, surface air pressure, and sea surface temperature are most/least successfully simulated by WMO multi-model forecasts and SL-AV model forecasts are identified. Good skill scores of consensus air temperature and precipitation forecasts for the summer of 2022 issued during NEACOF-22 is noted. For the entire territory of Northern Eurasia, the accuracy of forecasts was 80 % for surface air temperature and 64 % for precipitation.

*Keywords:* large-scale atmospheric circulation, sea surface temperature, multi-model forecast, consensus forecast, air temperature, precipitation, skill scores

## Введение

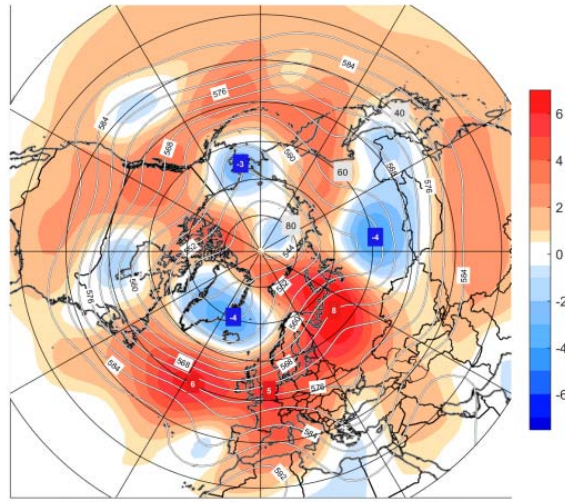
В данном информационном сообщении рассматриваются результаты обобщенного анализа особенностей крупномасштабной атмосферной циркуляции в Северном полушарии летом 2022 года, который проводился в рамках СЕАКОФ-22.

Сопоставление фактических и прогностических данных проводилось с использованием разнообразных источников информации. В качестве контрольных данных были выбраны поля геопотенциала, приземного давления и температуры поверхности океана из реанализа ERA-5 в узлах регулярной сетки, а также стандартные метеорологические наблюдения за приземной температурой воздуха и количеством осадков по Северной Евразии. В обзоре представлены прогнозы крупномасштабной циркуляции по расчетам мультимодельного центра ВМО и модели ПЛАВ. Консенсусный прогноз для температуры воздуха и количества осадков составлялся посредством взвешенного комплексирования по выходным данным моделей ПЛАВ, ГГО, ИВМ РАН, CFS2, TCC, CanSIP.

## Основные особенности атмосферной циркуляции летнего сезона 2022 года в Северном полушарии

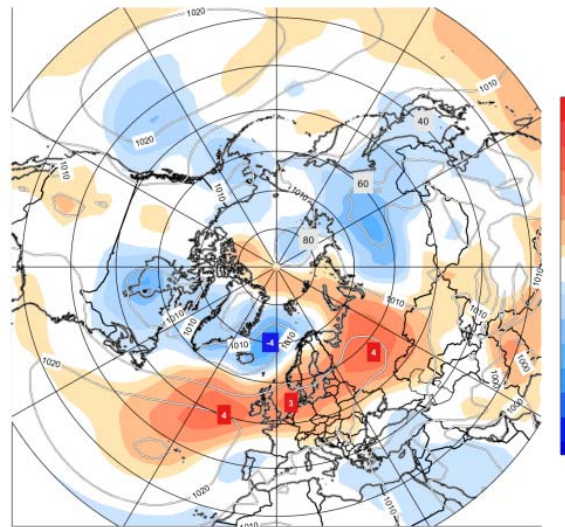
По данным мониторинга климатической системы, в стратосфере (на уровне АТ-10 гПа) в осредненном поле за летний период сохранялся летний режим циркуляции, в июне околополярный антициклон был немного ослабленным (аномалии в полярной области составляли минус 2 дам), в последующие месяцы сезона антициклон усиливался. Над полюсом интенсивность антициклона была в норме, на большей части Северной Евразии аномалии геопотенциала были положительными. Перестройка на зимний режим атмосферной циркуляции состоялась в конце августа, зональный ветер на уровне АТ-10 поменял направление на западное.

В средней тропосфере на уровне АТ-500 гПа (рис. 1а) в летнем сезоне околополярный циклон оказался ослабленным и деформированным, центр циклона располагался над полюсом. Ложбины, связанные с циклоном, занимали свойственные им места и также были деформированы, оставаясь при этом глубокими (аномалии составили минус 4 дам над востоком Гренландии и Средней Сибирью и минус 3 дам над Беринговым проливом). Мощные среднетропосферные антициклоны нарушали нормальную циркуляцию над Атлантикой (аномалии над центральными районами умеренных широт Атлантического океана достигали +6 дам), западом Северной Евразии (над севером Европы +5 дам, севером Европейской территории России (ЕТР) +6 дам) и над Тихим океаном (аномалии над севером океана от +2 до +4 дам).



H500 dam anomalies (norms 1991-2020). JJA 2022.

а)



MSLP hPa anomalies (norms 1991-2020). JJA 2022.

б)

**Рис. 1.** Карта аномалий относительно периода 1991–2020 гг. и значений, осредненных за летний сезон 2022 г.: геопотенциала на поверхности АТ-500 (а); приземного давления, приведенного к уровню моря (б). Данные реанализа ERA5.

**Fig. 1.** Distribution of anomalies relative to the period 1991-2020 and averaged values over the summer season of 2022: relative geopotential AT-500 (a); surface pressure normalized to sea level (б). Data: ERA5 reanalysis.

Значения Северо-атлантического колебания (**NAO**) были положительными в течение всего летнего сезона, наибольшими они оказались в августе (+1,47), когда западно-восточный перенос усилился над Северной Атлантикой. Арктическое колебание (**AO**) имело положительную фазу все летние месяцы с максимальными значениями в июле (+1,53), что говорит о преобладании зональных процессов в течение всего сезона. Западно-атлантическое колебание (**WA**) в июне и августе было положительным, в эти месяцы происходило усиление Азорского антициклона и некоторое ослабление Исландского минимума, особенно в августе. В июле знак колебания сменился на отрицательный, произошло ослабление западной периферии Азорского антициклона. В этот же период на востоке Канады сформировался самостоятельный циклонический центр. Евразийское колебание (**EU**) имело значимые для анализа показатели только в июне (-1,06). При этом ложбина, связанная с околполярным циклоном, располагалась над юго-востоком ЕТР, Южным Уралом и западом Сибири, т. е. была смещена на восток от своего нормального положения. Индекс Сибирского максимума (**SHI**) рассчитывается в экспериментальном порядке для областей 40–60° с. ш. и 80–120° в. д. и в теплый период года индекс указывает на преобладающие формы циркуляции в указанном регионе. В августе значения индекса были положительными (около 0,7) в августе, что говорит о преобладании антициклональных процессов над территорией Сибири, когда на южные районы региона распространилось влияние гребней блокирующего антициклона с центром над ЕТР. По данным Климатического и прогностического центра CPC NOAA, летом 2022 года наблюдалась холодная фаза Ла-Нинья.

У поверхности земли (рис. 1б) в атлантической паре ЦДА оба центра действия атмосферы были интенсивными. Расположение Азорского антициклона совпадало с климатическим, центр его находился в районе Азорских островов, интенсивность северных гребней была повышенной (+4 гПа западнее Британских островов). В течение всего летнего сезона влияние его восточных гребней часто распространялось на Британские острова, Европу и западные районы ЕТР. Исландский минимум глубокий (-4 гПа севернее Исландии), находился в районе Исландии. Основной особенностью циркуляции в августе стало формирование над ЕТР интенсивного блокирующего антициклона с аномалиями +10 гПа в районе Поволжья.

Влияние блокирующего антициклона распространялось на западные и северные районы Казахстана, запад Узбекистана и западную половину Туркмении, а также на южную половину Сибири и Монголию. Произошло нарушение западно-восточного переноса над Южной Европой, центром и югом ЕТР, циклоны вынуждены были смещаться через полюс по арктическим морям на территорию Восточной Сибири, где месячные аномалии составили минус 4 гПа (над Якутией). В Восточной Сибири преобладало влияние циклонов, в этот регион смещались активные атлантические и южные циклоны. На западные районы Казахстана и запад

Узбекистана часто летом 2022 года распространялось влияние восточных гребней Азорского максимума, в июне большая часть стран Средней Азии оказалась под влиянием южных циклонов и ложбин глубокого циклона с центром над Красноярским краем, в июле на север Казахстана стали влиять приполярные антициклоны.

В Тихом океане Алеутский минимум был выражен слабо. Субтропический антициклон обширный, занимал умеренные и субтропические широты восточной части океана, интенсивность его была близкой к климатической. В июне под действием интенсивных полярных антициклонов, оказывавших влияние на Чукотку, циклоническая деятельность на севере Тихого океана была смещена на юг от своего климатического положения. В июле ведущая роль в определении циркуляционных условий принадлежала субтропическому антициклону. Алеутский минимум был выражен слабо, центр его располагался в Беринговом проливе, площадь его оказалась меньше климатической, однако влияние распространялось на восточные районы Чукотки и Камчатку. В августе смещение основного центра субтропического антициклона на запад привело к блокированию тихоокеанских циклонов на севере и их влиянию на север Восточной Сибири и Дальнего Востока.

### **Температурно-влажностный режим в Северной Евразии летом 2022 года**

Температурный фон летом 2022 года на территории Европы, ЕТР, Урала, северной части Западной Сибири, Якутии и Камчатки был выше нормы. На севере ЕТР аномалии достигали  $+4^{\circ}$ . Наиболее крупные положительные аномалии наблюдались в августе на ЕТР, Урале и северо-западе Казахстана и были связаны с обширным блокирующим антициклоном. Регистрировались новые суточные максимумы температуры на севере и в центре ЕТР. В период с 16 по 29 августа на большей части Северо-Западного федерального округа отмечалась аномально жаркая погода со среднесуточной температурой воздуха выше климатической нормы на  $7-11^{\circ}$ . На юге Сибири температура была в пределах нормы. Отрицательные аномалии, связанные с преобладанием циклонических форм циркуляции, отмечались на юге Красноярского края, в Хакасии, на Алтае, в Тыве, Иркутской области, Бурятии, на юге Забайкальского края и севере Монголии; тепло было в Якутии и на большей части Дальнего Востока. Холоднее нормы лето оказалось на Чукотке. В большинстве стран Средней Азии температурный фон был в пределах нормы или чуть выше ее.

В целом по всему Северному полушарию летний сезон оказался теплее нормы на  $1,27^{\circ}$ , став, согласно данным NOAA, самым теплым в ранге за 143-летний период.

На большей части Европы, ЕТР, Урала и западе Сибири, в странах Средней Азии на фоне преобладающего влияния антициклональных форм циркуляции осадков выпало меньше нормы. Количество осадков

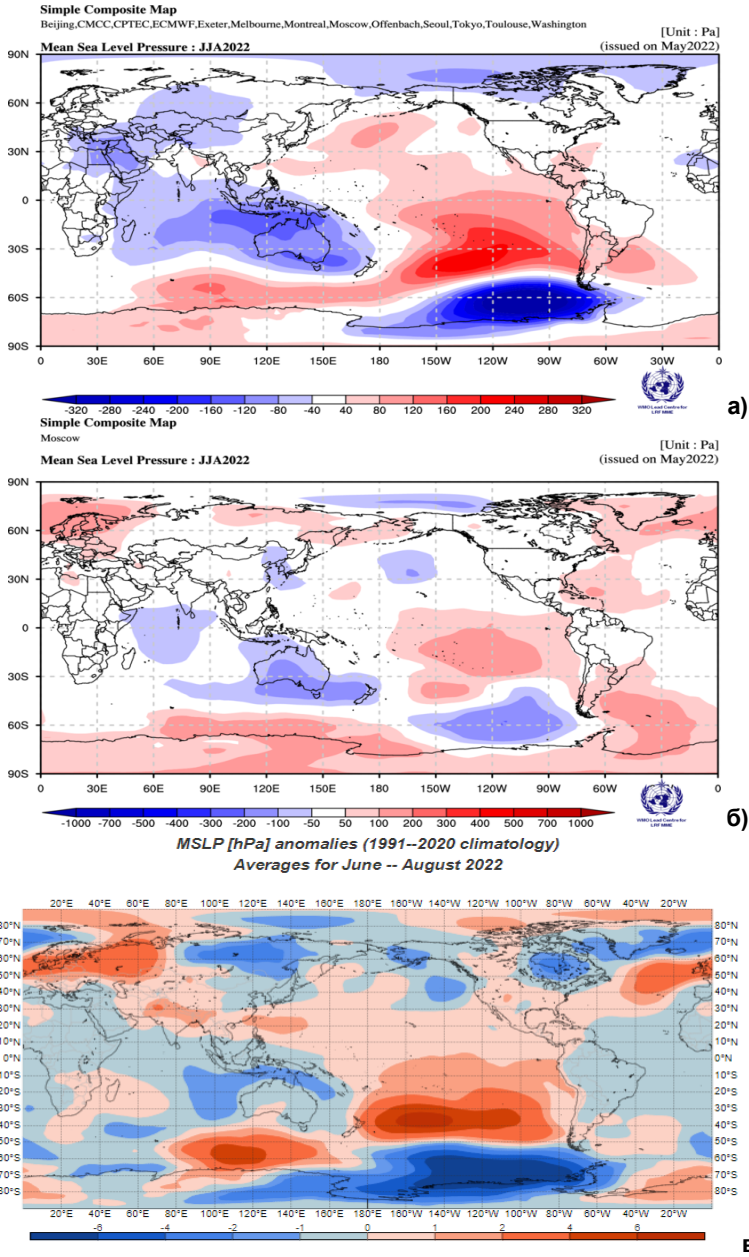
в пределах больше нормы отмечалось на севере Скандинавии и в восточном Средиземноморье. Дефицит осадков наблюдался на западе Монголии и юге Центральной Сибири, избыток осадков – на востоке Красноярского края, севере Иркутской области, западе и юге Якутии и на востоке Амурской области. Осадков выпало около нормы и местами меньше ее на востоке Якутии, в Магаданской области и на севере Хабаровского края. Количество осадков чуть больше нормы наблюдалось в ряде районов Чукотки, на юге Хабаровского края и местами в Приморье.

### **Воспроизведение крупномасштабной циркуляции мультимодельными прогнозами ВМО и ПЛАВ**

Согласно прогнозу, выпущенному в мае 2022 года на предстоящий летний сезон, в средней тропосфере большинство прогностических центров прогнозировали положительные аномалии геопотенциала на поверхности 500 гПа на большей части Северной Евразии и значительные положительные аномалии в умеренных широтах Тихого океана, а также на юге Дальнего Востока. По результатам анализа фактических аномалий за летний сезон 2022 года положительный знак аномалии геопотенциала на поверхности 500 гПа был спрогнозирован удачно мультимодельным прогнозом ВМО для территории Европы, ЕТР, северо-востока Якутии, центральных районов Дальнего Востока и для стран Центральной Азии. Отрицательные аномалии геопотенциала на поверхности 500 гПа наблюдались на юге Сибири, Дальнего Востока и на Чукотке, эти аномалии мультимодельным прогнозом ВМО не были воспроизведены. Прогноз по модели ПЛАВ оправдался для территории Европы, севера и юга ЕТР, севера Сибири и центральных районов Дальнего Востока, а для территории юга Сибири и Чукотки знак аномалии оказался противоположным.

Приземное атмосферное давление ниже средних многолетних значений прогнозировалось на юге и востоке ЕТР, в Закавказье, Западной Сибири, на юго-западе Восточной Сибири, на Чукотке и в Центральной Азии, а на севере Тихого океана ожидалось положительные аномалии атмосферного давления (рис. 2а). Знак аномалии был хорошо спрогнозирован мультимодельным прогнозом ВМО для крайнего юга ЕТР, стран Закавказья, юга Красноярского края и Чукотки, а также для западной части северной половины Тихого океана. Знак аномалии в мультимодельном прогнозе давления у поверхности земли не оправдался для востока ЕТР, Западной Сибири и Центральной Азии. Модель ПЛАВ хорошо воспроизвела положительные аномалии давления у поверхности земли на востоке Европы и на северо-западе ЕТР, а также для северо-востока Китая и Кореи (рис. 2б). Что касается севера Восточной Сибири и центральных районов Дальнего Востока, там наблюдались отрицательные аномалии (рис. 2с) вместо прогнозируемых положительных.

Согласно прогнозу большинства прогностических центров, летом 2022 года в экваториальных широтах западной части Индийского океана ожидалось положительные аномалии температуры поверхности океана (АТПО).



**Рис. 2.** Поля значений аномалий приземного давления воздуха, приведенного к уровню моря, по данным: мультимодельного прогноза ВМО с базовым периодом 1993–2016 г. (а); прогноза ПЛАВ с базовым периодом 1991–2020 г. (б); реанализа ERA-5 с базовым периодом 1991–2020 г. (в). Лето 2022 г.

**Fig. 2.** Distribution of surface air pressure anomalies normalized to sea level according to: WMO multi-model forecast with a base period of 1993-2016 (a); SLAV forecast with a base period of 1991-2020 (б); ERA-5 reanalysis with a base period of 1991-2020 (в). Summer 2022.

В Тихом океане ТПО ниже или около нормы прогнозировалась на востоке экваториальных широт, значительные положительные АТПО – в умеренных широтах северной акватории Тихого океана. В Северной Атлантике большинство моделей прогнозировали положительные АТПО в центральных районах Северной Атлантики, в области Лабрадорского течения, а также в районе Гольфстрима, вдоль побережья Северной Америки и в северной части акватории (к северу от Исландии). Положительные АТПО по прогнозам отмечались в морях Российского сектора Арктики. Мультимодельному прогнозу ВМО удалось хорошо воспроизвести для Тихого океана: отрицательные АТПО на востоке экваториальных широт и вдоль западного побережья Северной Америки, положительные АТПО в умеренных широтах, в Охотском море и вдоль побережья Камчатки; для Северной Атлантики: положительные аномалии вдоль восточного побережья Северной Америки, в районе Гольфстрима, за исключением Норвежского моря, и отрицательные АТПО в море Баффина; для Индийского океана: положительные АТПО на востоке экваториальных широт; в Российском секторе Арктики: для морей Карского, Лаптевых и восточной части Баренцева моря. Мультимодельный прогноз знака АТПО оправдался плохо в Беринговом море, вдоль побережья Марокко и Испании, в Норвежском море, а также в морях Восточно-Сибирском и Чукотском.

### **Успешность консенсусных прогнозов температуры воздуха и осадков на лето 2022 года в Северной Евразии**

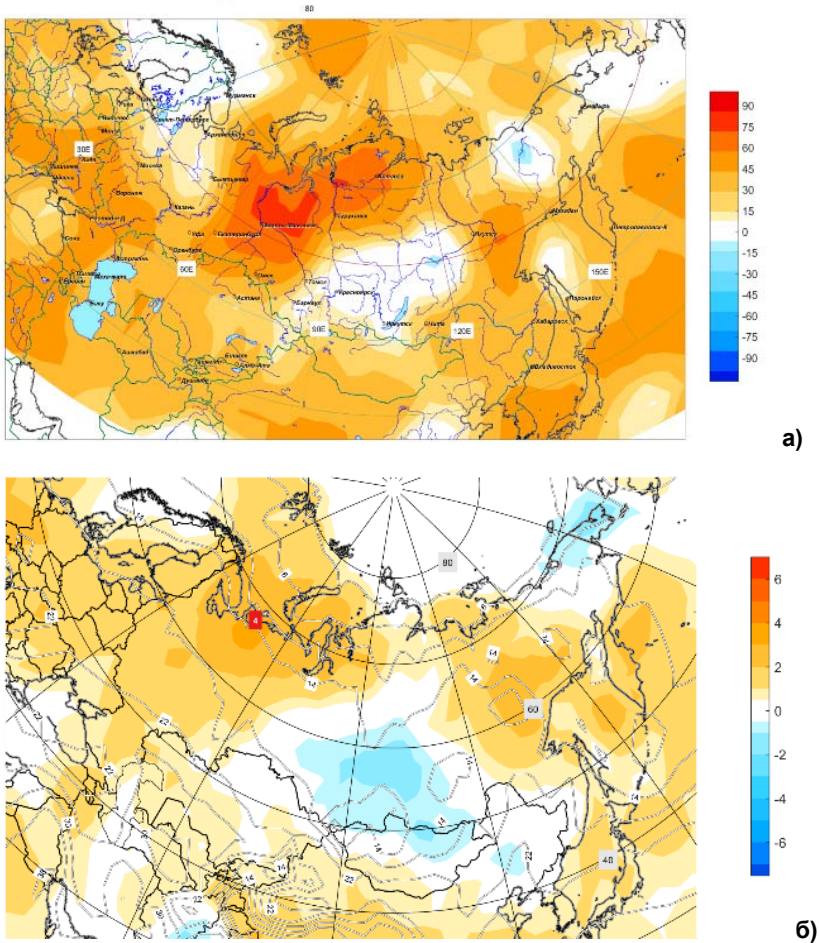
В летний сезон 2022 года самые крупные положительные аномалии приземной температуры воздуха наблюдались в арктической зоне Европейской территории России, в Западной и Восточной Сибири (рис. 3б). Относительно норм 1991–2020 гг. среднесезонные аномалии достигали 4–5°. Консенсусный прогноз верно воспроизвел локализацию данных аномалий (рис. 3а). На Чукотке по прогнозу также ожидался средний температурный фон выше нормы, тогда как по фактическим значениям он оказался заниженным относительно нормы на 1–2°.

Область температуры около или чуть ниже нормы была спрогнозирована верно на небольшом участке на северо-востоке Якутии, а также на юге Восточной Сибири, значения аномалий по факту составляли 1–3°. В центре и на юге Западной Сибири (к востоку от Омской области) температурный фон был близким к средним климатическим значениям, по консенсусному прогнозу в данном регионе ожидалось слабopоложительные аномалии. Теплее обычного зимний сезон оказался в ЕТР и в республиках Закавказья. Эти особенности в консенсусном прогнозе были отмечены. И только на западе Республики Карелия и Мурманской области, где ожидался температурный фон ниже нормы, по фактическим данным температурный фон превышал климатические значения.

На севере, северо-востоке и юго-востоке Республики Казахстан средняя температура воздуха летом была около климатической нормы,



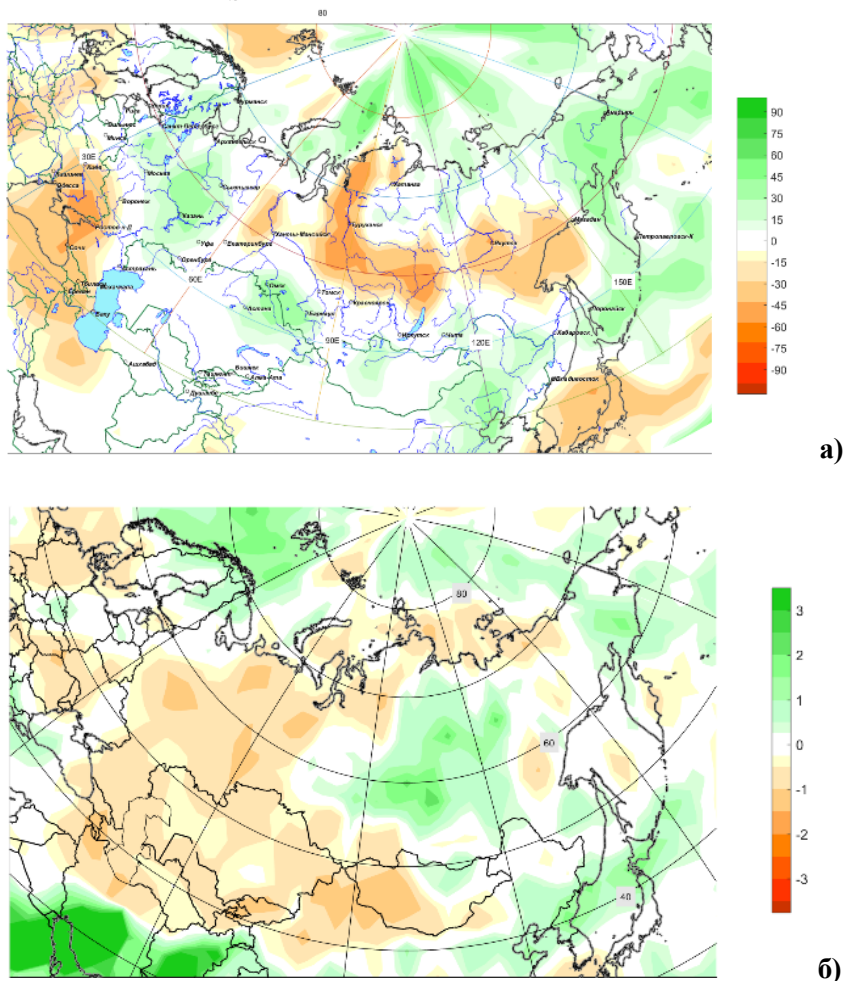
в западных и южных областях немного ее превышала. В Узбекистане, Кыргызстане и на востоке Туркменистана температурный фон превышал норму на 1–2°, на западе Туркменистана температура была около нормы, при этом по консенсусному прогнозу ожидалось, что по всему Среднеазиатскому региону температура будет выше нормы. Консенсусный прогноз температуры воздуха для территории Средней Азии оправдался с умеренной успешностью.



**Рис. 3.** Консенсусный прогноз среднесезонной аномалии температуры воздуха на лето 2022 г. в вероятностной форме, рассчитанный на основе интерпретации данных 6 моделей (ПЛАВ, ГГО, ИВМ, ТСС, CanSIP, CFS2) (а); распределение нормированных аномалий приземной температуры по данным реанализа ERA5 за летний сезон 2022 г. (б).

**Fig. 3.** Consensus forecast of the mean seasonal air temperature anomaly for the JJA 2022 represented in a probabilistic form and interpreted using forecasts from six models (PLAV, GGO, INM, TCC, CanSIP, CFS2) (a); distribution of normalized surface air temperature anomalies according to the ERA5 reanalysis data for the JJA 2022 (b).

Летом 2022 года дефицит осадков (рис. 4б) наблюдался на большей части территории России, за исключением Кольского полуострова и центральных районов Восточной Сибири, на юге Хабаровского и Приморского краев, а также в центральных и северных районах Камчатского полуострова.



**Рис. 4.** Консенсусный прогноз среднесезонной аномалии осадков на лето 2022 г. в вероятностной форме, рассчитанный на основе интерпретации данных 6 моделей (ПЛАВ, ГГО, ИВМ, ТСС, CanSIP, CFS2) (а); распределение нормированных аномалий осадков по данным реанализа ERA5 за летний сезон 2022 г. (б).

**Fig. 4.** Consensus forecast of the mean seasonal precipitation anomaly for the JJA 2022 represented in a probabilistic form and interpreted using forecasts from six models (PLAV, GGO, INM, TCC, CanSIP, CFS2) (a); distribution of normalized precipitation anomalies according to the ERA5 reanalysis data for the JJA 2022 (b).

В регионах Дальнего Востока консенсусный прогноз оправдался (рис. 4а). Также верно был воспроизведен дефицит осадков на западе Таймыра, на Северном Урале, юге ЕТР в республиках Закавказья. Также консенсусный прогноз успешно отразил количество осадков больше и около нормы на Кольском полуострове и западе Архангельской области.

Для стран Средней Азии консенсусный прогноз предполагал высокую степень неопределенности, кроме северо-востока Казахстана, где прогнозировался режим переувлажнения. По фактическим данным летний сезон 2022 г. во всем Среднеазиатском регионе был засушливым с небольшой областью, близкой к норме, на юго-востоке Казахстана.

Успешность консенсусного прогноза на лето 2022 г. по всей территории Северной Евразии для приземной температуры воздуха составила 80 %, для осадков – 64 % (таблица). Наиболее высокие оценки оправдываемости прогнозов аномалий температуры воздуха (82 %) отмечены на территории Центральной Азии и Казахстана. Наиболее высокие оценки (66 %) – во втором среднем синоптическом районе (область от Таймыра до Берингова моря). Коэффициент корреляции аномалий температуры варьируется от 0,65 (для первого естественного синоптического района) до максимального 0,81 (для территории Центральной Азии и Казахстана). Коэффициенты корреляции аномалий низкие, по модулю ниже 0,17.

**Таблица.** Оценки прогнозов на июнь–август 2022 г.

**Table.** Forecast skill scores for JJA 2022

Прогноз	СНГ	1 е.с.р.*	2 е.с.р.*	Центральная Азия и Казахстан
Оправдываемость прогноза (%)				
Температура 2м	80	80	79	82
Осадки	64	63	66	57
Коэффициент корреляции аномалий (ACC)				
Температура 2м	0.69	0.65	0.71	0.81
Осадки	0.01	0.17	-0.16	-0.01

*Примечание.* 1 е.с.р. – первый естественный синоптический район; 2 е.с.р. – второй естественный синоптический район.

Работа выполнена в ФГБУ «Гидрометцентр России» при поддержке важнейшего инновационного проекта государственного значения «Единая национальная система мониторинга климатически активных веществ» (грант № 169-15-2023-003 от 01.03.2023).

*Поступила 10.03.2023; одобрена после рецензирования 16.03.2023;  
принята в печать 31.03.2023.*

*Submitted 10.03.2023; approved after reviewing 16.03.2023;  
accepted for publication 31.03.2023.*