



Известия Саратовского университета. Новая серия. Серия: Науки о Земле. 2024. Т. 24, вып. 4. С. 250–258

*Izvestiya of Saratov University. Earth Sciences*, 2024, vol. 24, iss. 4, pp. 250–258

<https://geo.sgu.ru>

<https://doi.org/10.18500/1819-7663-2024-24-4-250-258>, EDN: KINGQS

Научная статья

УДК 551.513.7:515.582:515.583

## Влияние циркуляционных факторов на количество атмосферных осадков холодного сезона на территории Западной Сибири



Н. Н. Безуглова<sup>✉</sup>, К. Ю. Суковатов

Институт водных и экологических проблем Сибирского отделения Российской Академии Наук (ИВЭП СО РАН), Россия, 656038, г. Барнаул, ул. Молодежная, д. 1

Безуглова Надежда Николаевна, кандидат физико-математических наук, научный сотрудник лаборатории физики атмосферно-гидросферных процессов, [bezuglovan@gmail.com](mailto:bezuglovan@gmail.com), <https://orcid.org/0000-0003-1985-9352>

Суковатов Константин Юрьевич, кандидат физико-математических наук, научный сотрудник лаборатории физики атмосферно-гидросферных процессов, [skonstantiny@gmail.com](mailto:skonstantiny@gmail.com), <https://orcid.org/0000-0003-3763-6291>

**Аннотация.** *Введение.* Работа посвящена анализу влияния разных состояний циркумполярного вихря на локальные особенности полей геопотенциала, которые, в свою очередь, определяют изменчивость осадков холодного сезона на исследуемой территории Западной Сибири. *Данные и методы.* Выполнен статистический анализ временных рядов среднесезонных значений количества атмосферных осадков холодного сезона, полученных по данным 33 метеостанций, расположенных в пределах выбранной координатной области. Для анализа распределения гидрометеорологических полей, соответствующих различным состояниям циркумполярного вихря, построены композитные пространственные распределения, соответствующие десяти наиболее характерным годам для обеих фаз телеконнекционного индекса POL. *Результаты и обсуждение.* Установлена статистически значимая связь между количеством атмосферных осадков холодного сезона (ноябрь–март) на исследуемой территории и состоянием циркумполярного вихря. Показано, что в условиях отрицательной фазы индекса POL количество атмосферных осадков холодного сезона больше, чем в условиях положительной фазы этого индекса. *Выводы.* По результатам работы сделаны выводы о том, что в условиях слабого циркумполярного вихря и развитых меридиональных процессов (отрицательная фаза POL) на исследуемой территории количество атмосферных осадков холодного сезона больше, чем в условиях сильного (положительная фаза POL) циркумполярного вихря и активных широтных процессов.

**Ключевые слова:** атмосферные осадки холодного сезона, циркумполярный вихрь, интенсивность межширотного обмена, Западная Сибирь, региональные климатические изменения

**Благодарности.** Исследование выполнено при финансовой поддержке проекта Министерства науки и высшего образования РФ FUFZ-2021-0004 «Оценка сезонных особенностей атмосферного поступления и последующего распределения загрязняющих веществ на водосборной площади ключевых участков бассейна Оби в зависимости от природно-климатических условий».

**Для цитирования:** Безуглова Н. Н., Суковатов К. Ю. Влияние циркуляционных факторов на количество атмосферных осадков холодного сезона на территории Западной Сибири // Известия Саратовского университета. Новая серия. Серия: Науки о Земле. 2024. Т. 24, вып. 4. С. 250–258. <https://doi.org/10.18500/1819-7663-2024-24-4-250-258>, EDN: KINGQS

Статья опубликована на условиях лицензии Creative Commons Attribution 4.0 International (CC-BY 4.0)

Article

### The influence of circulation factors on the quantity of atmospheric precipitation in the cold season in Western Siberia

N. N. Bezuglova<sup>✉</sup>, K. Y. Sukovatov

The Institute for Water and Environmental Problems of the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences (IWEP SB RAS), 1 Molodezhnaya St., Barnaul 656038, Russia

Nadezhda N. Bezuglova, [bezuglovan@gmail.com](mailto:bezuglovan@gmail.com), <https://orcid.org/0000-0003-1985-9352>

Konstantin Y. Sukovatov, [skonstantiny@gmail.com](mailto:skonstantiny@gmail.com), <https://orcid.org/0000-0003-3763-6291>

**Abstract. Introduction.** The work is devoted to the analysis of the influence of different states of the circumpolar vortex on local features of the geopotential fields, which, in turn, determine the variability of cold season precipitation for the studied territory of Western Siberia. **Data and Methods.** A statistical analysis of time series of seasonally average values of the precipitation amount in the cold season was performed, obtained from 33 meteorological stations located within the selected coordinate area. To analyze the distribution of hydrometeorological fields corresponding to different states of the circumpolar vortex, composite spatial distributions corresponding to the ten most typical years for both phases of the POL teleconnection index were constructed. **Results and Discussion.** A statistically significant relationship was established between the amount of precipitation in the cold season (November–March) on the studied territory and the state of the circumpolar vortex. It was shown that under the conditions of the negative phase of the POL index, the amount of precipitation in the cold season is greater than under the conditions of the positive phase of this index. **Conclusions.** Based on the results of the work, it was concluded that under conditions of a weak



circumpolar vortex and developed meridional processes (negative phase of POL) in the studied area, the amount of atmospheric precipitation in the cold season is greater than under conditions of a strong (positive phase of POL) circumpolar vortex and active latitudinal processes.

**Keywords:** cold season precipitation, circumpolar vortex, intensity of interlatitudinal exchange, Western Siberia, regional climate change

**Acknowledgements:** The study was carried out with the financial support of the project of the Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation FUFZ-2021-0004 "Assessment of seasonal features of atmospheric input and subsequent distribution of pollutants in the catchment area of key areas of the Ob basin depending on natural and climatic conditions".

**For citation:** Bezuglova N. N., Sukovatov K. Y. The influence of circulation factors on the quantity of atmospheric precipitation in the cold season in Western Siberia. *Izvestiya of Saratov University. Earth Sciences*, 2024, vol. 24, iss. 4, pp. 250–258 (in Russian). <https://doi.org/10.18500/1819-7663-2024-24-4-250-258>, EDN: KIHGQS

This is an open access article distributed under the terms of Creative Commons Attribution 4.0 International License (CC-BY 4.0)

## Введение

Пространственно-временная изменчивость климатических параметров обусловлена множеством факторов, среди которых существенное значение имеет атмосферная циркуляция. Авторами ряда научных работ установлена телеконнекционная (удаленная) связь между глобальной циркуляцией и региональными климатическими изменениями [1].

Результаты ряда исследований указывают на существование определенных взаимосвязей между состоянием циркумполярного вихря и значениями метеопараметров, в том числе и атмосферных осадков, для внутриконтинентальной территории Евразии [2, 3].

Авторы работы [3] пришли к выводу, что влияние полярного вихря на режим атмосферных осадков в осенне-зимний сезон на территории Ирана минимально, однако выводы базируются на анализе данных небольшого количества метеостанций. В работе [2] показано, что в мае в условиях преобладания положительной фазы POL (Polar/Eurasia) увеличивается повторяемость блокирующих процессов в районе Северной Атлантики/Европы и Северо-Восточной Азии. В то же время наблюдается уменьшение повторяемости процессов блокирования в районе Уральских гор. В этих условиях в Западной Сибири и Азиатской части субарктического региона наблюдается увеличение количества атмосферных осадков, а в Европе и в районе озера Байкал – их уменьшение. В условиях отрицательной фазы индекса POL в мае наблюдается активизация процессов блокирования для всего Евразийского континента. В результате основной перенос воздушных масс смещается севернее  $50^\circ$  с. ш., в этой ситуации наблюдается уменьшение количества осадков в субарктическом Азиатском регионе, а также в районе пустыни Гоби, увеличение количества атмосферных осадков наблюдается в бассейне р. Хуанхэ в Китае.

В настоящей работе выполнен анализ связи пространственно-временной изменчивости количества атмосферных осадков холодного сезона для исследуемой территории Западной Сибири в зависимости от состояния циркумполярного вихря и интенсивности межширотного

обмена между полярными и средними широтами (фазы индекса POL).

## Исследуемая территория

Исследуемая территория представляет собой равнинную область Западной Сибири, ограниченную координатами  $53\text{--}63^\circ$  с. ш.,  $75\text{--}85^\circ$  в. д. На юге исследуемая область начинается в центральной равнинной части Алтайского Края, на севере – заканчивается территорией Большого Васюганского болота.

## Данные и методы

Для исследуемой территории выполнен статистический анализ временных рядов среднемесячных значений атмосферных осадков для холодного сезона (ноябрь–март), полученных по данным метеостанций, а также данным реанализа и сеточных массивов данных. В работе анализировались данные за период с ноября 1966 г. по март 2024 г. Для обеспечения однородности рядов осадков использованы данные метеостанций с 1966 г., поскольку после 1966 г. существенных изменений в методиках измерений количества атмосферных осадков на сети гидрометеорологических станций не было [4]. В рассматриваемой координатной области расположены 45 метеостанций с временными рядами наблюдений продолжительностью от 40 лет. Из общего числа метеостанций были исключены те, у которых ряды наблюдений заканчивались в середине 1990-х гг. или начале 2000-х, а также содержали большое количество непрерывных пропусков, таких метеостанций было 12 (2 из них приходились на территорию Казахстана). Данные по оставшимся 33 метеостанциям использовались для построения временных рядов количества атмосферных осадков холодного сезона. Эти временные ряды стали основой для дальнейшего анализа.

Помимо временных рядов для отдельных метеостанций в работе были проанализированы ряды количества атмосферных осадков холодного сезона, усредненные по площади всей исследуемой области. Эти временные ряды были построены на основе сеточных массивов данных (GPCC [5], CRUTS [6], GHCN [7]) и данных ре-



анализа (ERA5 [8], NCEP/NCAR [9]), поскольку такие комбинированные выборки представлены для сеточных областей и удобны для усреднения значений выборок по площади.

Временные ряды атмосферных осадков холодного сезона были разделены на две выборки в зависимости от знака фазы индекса POL. Для проверки гипотезы о сравнении средних значений двух выборок использовали критерий Стьюдента, а также непараметрические критерии Краскела–Уоллиса и Манна–Уитни.

Согласно методологии [10] телеконнекционный индекс POL определяется с использованием метода эмпирических ортогональных функций (EOF), который применяется к данным о поле геопотенциала для поверхности 500 ГПа. Циркумполярный вихрь параметризуется индексом POL [10]. По данным Центра прогнозирования климата Национальной службы погоды США [11] телеконнекционный индекс POL (Polar/Eurasia) проявляется в виде статистически значимой компоненты разложения поля геопотенциала методом EOF во все сезоны года. Его положительной фазе соответствуют отрицательные аномалии геопотенциала над полярной областью и положительные аномалии геопотенциала над Северным Китаем и Монголией. Проявление телеконнекционного индекса Polar/Eurasia чаще всего связывают с положительными аномалиями атмосферных осадков в полярной области севернее Скандинавии.

Телеконнекционный индекс POL определяет соотношение между состоянием Арктического полярного вихря и характером среднеширотной циркуляции атмосферы для Азиатской части Евразийского континента. В холодный сезон, как правило, определяется двумя центрами низкого давления (циклоническими центрами): один из них расположен над Карским морем, а другой – в среднеширотной области Восточной Азии [10].

Для характеристики состояния гидрометеорологических полей и режима увлажнения исследуемой территории использовались данные реанализа ERA5 о геопотенциале, компонентах скорости ветра для изобарической поверхности 850 гПа и количестве атмосферных осадков.

В качестве характеристики степени меридиональности атмосферных процессов используется индекс меридиональности MCI, предложенный в работе [12]:

$$MCI = \frac{v \cdot |v|}{v^2 + u^2},$$

где  $v$  и  $u$  – зональная и меридиональная компоненты скорости воздушного потока.

Индекс меридиональности MCI принимает значения в диапазоне от  $-1$  до  $1$  для северного

и южного направлений ветров соответственно. Граничные значения индекса соответствуют исключительно меридиональным процессам, промежуточные значения реализуются при наличии также широтных процессов. Чем больше по абсолютной величине значение индекса, тем больше величина меридиональной составляющей скорости ветра. Направление с юга на север считается положительным для меридиональной компоненты скорости ветра, с запада на восток – для зональной компоненты скорости. В настоящей работе индекс меридиональности MCI был рассчитан на основе среднемесячных значений зональной и меридиональной компонент скорости ветра для изобарической поверхности 850 ГПа по данным реанализа ERA5 за период с 1966 по 2024 гг.

Для анализа конфигурации барических полей и их влияния на режим увлажнения исследуемой территории в зависимости от состояния циркумполярного вихря были построены пространственные распределения аномалий геопотенциала, линий тока поля скоростей для уровня 850 гПа и аномалий количества атмосферных осадков холодного сезона. Пространственные распределения комбинированных выборок были построены для ситуаций с сильно выраженными условиями преобладания положительной (годы: 1967, 1968, 1975, 1978, 1992, 1993, 1996, 2003, 2015, 2019) и отрицательной (годы: 1999, 2000, 2001, 2010, 2012, 2013, 2016, 2018, 2021, 2024) фаз телеконнекционного индекса POL. Аналогичные пространственные распределения были построены для индекса меридиональности (в статье не приведены).

## Результаты и их обсуждение

В табл. 1 приведены результаты статистического анализа с использованием критериев о неравенстве средних двух выборок для атмосферных осадков холодного сезона по данным 33 метеостанций для исследуемой координатной области  $53\text{--}63^\circ$  с. ш,  $75\text{--}85^\circ$  в. д.

Анализ результатов проверки статистических гипотез показал, что в условиях преобладания отрицательной фазы индекса POL количество атмосферных осадков холодного сезона больше, чем в условиях преобладания положительной фазы этого индекса. В итоге по 18 метеостанциям из 33 были получены статистически значимые результаты по всем трем критериям с уровнем значимости не ниже 0.90. По 5 метеостанциям из 33 статистически значимые результаты были получены по двум критериям из трех. По 6 станциям из 33 по одному критерию из трех. По 4 метеостанциям из 33 не удалось получить статистически значимые результаты. В целом результаты проверки статистических гипотез для рядов атмосферных



Таблица 1

Результаты проверки статистических гипотез о неравенстве средних значений двух выборок на основе трех статистических критериев

Метеостанция	Осадки_POL (положит. фаза)	Осадки_POL (отрицат. фаза)	t prob	U prob	H prob
Бакчар (2022)*	0,76	0,82	<b>0,34</b>	0,1	<b>0,19</b>
Барабинск (2022)	0,63	0,76	0,04	0,02	0,05
Барнаул (2024)	0,78	1,03	0,06	0,04	0,07
Чаны (2024)**	0,77	1,07	<b>0,155</b>	0,008	0,014
Чулым (2018)	0,73	1,09	0,09	0,003	0,006
Каргасок (2024)	0,82	1,12	0,04	0,01	0,02
Карасюк (2024)	0,55	0,98	0,03	0,001	0,002
Кочки (2024)	0,73	1,03	0,04	0,01	0,02
Камень-на-Оби (2019)	0,52	0,65	0,09	0,03	0,05
Колпашево (2024)**	0,88	0,98	<b>0,16</b>	0,03	0,07
Кольвань (2024)**	0,99	1,37	<b>0,17</b>	0,008	0,016
Красноозерск (2018)	0,86	1,31	0,09	0,007	0,013
Кресченка (2024)*	0,96	1,17	<b>0,33</b>	0,07	<b>0,14</b>
Купино (2024)	0,63	0,99	0,06	0,001	0,003
Кустовка (2024)	0,88	1,23	0,096	0,027	0,052
Маслянино (2024)**	1,02	1,35	<b>0,14</b>	0,018	0,03
Майск (2024)	0,99	1,51	0,04	0,008	0,016
Напас (2024)*	1,06	1,14	<b>0,23</b>	0,09	<b>0,17</b>
Ордынское (2024)	0,89	1,22	0,07	0,007	0,01
Пудино (2024)*	0,79	0,9	<b>0,16</b>	0,09	<b>0,18</b>
Северное (2024)	0,72	0,8	<b>0,27</b>	<b>0,12</b>	<b>0,23</b>
Средний Васюган (2024)*	0,96	1,02	<b>0,36</b>	0,07	<b>0,13</b>
Татарск (2024)*	0,62	0,72	<b>0,13</b>	0,08	<b>0,16</b>
Тогучин (2024)	0,81	1,22	0,01	0,001	0,002
Здвинск (2024)	0,74	1,18	0,06	0,002	0,003
Александровское (2024)**	0,78	0,85	<b>0,13</b>	0,03	0,07
Баево (2024)	0,65	0,94	0,06	0,003	0,005
Болотное (2019)	0,81	1,12	0,004	0,003	0,006
Ларьяк (2024)	1,03	1,07	<b>0,43</b>	<b>0,23</b>	<b>0,45</b>
Огурцово (2019)	0,72	0,92	0,01	0,02	0,03
Ребриха (2019)	0,68	0,73	<b>0,54</b>	<b>0,20</b>	<b>0,38</b>
Томск (2019)	1,06	1,31	0,01	0,004	0,007
Ванзыл-Кынак (2024)	1,17	1,21	<b>0,57</b>	<b>0,19</b>	<b>0,37</b>

Примечание. Курсивом указаны названия метеостанций, для которых не удалось получить статистически значимые результаты; жирным шрифтом выделены результаты с уровнем значимости критерия, превышающем пороговое значение 0.1; \* – статистически значимые результаты получены для одного критерия из трех; \*\* – статистически значимые результаты получены для двух критериев из трех; без пометок — статистически значимые результаты получены для всех трех критериев.

Таблица 2

Результаты проверки статистических гипотез о неравенстве средних значений двух выборок для временных рядов количества осадков холодного сезона средних по площади исследуемой территории

Массив	Осадки_POL (положит. фаза)	Осадки_POL (отрицат. фаза)	t prob	U prob	H Prob
ERA5	1.10	1.12	<b>0.73</b>	<b>0.20</b>	<b>0.39</b>
NCEP/NCAR**	1.11	1.21	<b>0.13</b>	0.04	0.08
GPCC	0.76	0.87	0.04	0.02	0.03
CRUTS**	0.86	0.94	<b>0.12</b>	0.03	0.06
GHCN**	0.026	0.087	<b>0.31</b>	0.05	0.10

Примечание. Курсивом указано название массива, для которого не удалось получить статистически значимые результаты; жирным шрифтом выделены результаты с уровнем значимости критерия, превышающем пороговое значение 0.1; \*\* – статистически значимые результаты получены для двух критериев из трех; без пометок – статистически значимые результаты получены для всех трех критериев.



осадков холодного сезона по данным метеостанций можно считать удовлетворительными.

Помимо анализа временных рядов для отдельных метеостанций выполнен статистический анализ временных рядов количества осадков холодного сезона, усредненных по площади исследуемой области. Результаты этого анализа представлены в табл. 2. Всего было использовано два массива данных реанализа ERA5 и NCEP/NCAR (интенсивности количества атмосферных осадков холодного сезона мм/день) и три сеточных массива данных GPCC (1966–2024 гг.) и CRUTS (1966–2022 гг.) (интенсивности количества атмосферных осадков холодного сезона мм/день), GHCN (1966–2015 гг.) (аномалии количества осадков холодного сезона). В результате проверки статистических гипотез для средних по территории рядов были получены аналогичные результаты. В условиях преобладания отрицательной фазы индекса POL количество атмосферных осадков холодного сезона больше, чем в условиях преобладания положительной фазы этого индекса. По данным реанализа ERA5 этот результат оказался статистически не значим на основе всех трех критериев. По данным реанализа NCEP/NCAR этот результат статистически значим на основании двух критериев из трех. По данным сеточных массивов результаты получились лучше. Для массива GPCC результат статистически значим для всех трех критериев. Для двух других массивов CRUTS, GHCN результаты статистически значимы по двум критериям из трех. Таким образом, для большинства проанализированных временных рядов количества атмосферных осадков холодного сезона средних по площади исследуемой территории получены статистически значимые результаты с уровнем значимости не ниже 0,90.

Также следует отметить тот факт, что в большинстве случаев именно при использовании критерия Стьюдента чаще получаются статистически не значимые результаты. Можно предположить, что на результаты проверки статистических гипотез с использованием критерия Стьюдента влияет тот факт, что распределение осадков отличается от нормального [13, 14]. На результаты проверки статистических гипотез с использованием непараметрических критериев этот факт не влияет.

В целом на основе данных метеостанций, а также данных реанализа и сеточных массивов были получены результаты, которые позволяют говорить о существующей закономерности как о достоверном статистически значимом явлении.

Анализ межгодовых изменений индекса POL показал, что за последние два десятилетия в зимнем сезоне в 90% случаев фаза индекса POL была отрицательной. В условиях преобладания

отрицательной фазы индекса POL околорполярный вихрь ослаблен и, как правило, в высоких и средних широтах усиливается меридиональность. Этот результат подтверждается данными Гидрометцентра РФ. Анализ ежемесячных обзоров особенностей атмосферной циркуляции Гидрометцентра РФ показал, что в средней тропосфере в последнее десятилетие в Северном полушарии в целом и в отдельных регионах наблюдалось увеличение повторяемости меридиональных атмосферных процессов. Особенно явно усиление межширотного обмена проявилось на территории Урала, Сибири и Дальнего Востока [15].

Полученные результаты согласуются с данными Центра прогнозирования климата Национальной службы погоды США о наличии низкочастотных колебаний во временном ряду индекса POL. По данным этого центра в 1955–1961 гг. преобладала отрицательная фаза индекса POL, за которой следовал временной интервал 1964/65–1969/70 гг. преобладания положительной фазы индекса POL. Аналогичные периоды устойчивого преобладания положительной или отрицательной фазы наблюдались также в 1980–1990-е гг. [11].

Далее проанализируем структуру гидрометеорологических полей в зависимости от знака фазы индекса POL и рассмотрим наблюдаемые различия и их возможное влияние на количество атмосферных осадков холодного сезона на исследуемой территории.

На рис. 1 представлено пространственное распределение аномалий геопотенциала и линий тока поля скоростей на уровне 850 гПа для части территории Северной Евразии. Значения аномалий геопотенциала представлены цветовой шкалой: нулевым и отрицательным аномалиям соответствуют оттенки синего цвета, увеличению положительных значений аномалий соответствует переход от бирюзового к оттенкам красного цвета. Линии тока, характеризующие направление движения воздушных масс, обозначены тонкими линиями со стрелочками. По оси X отложена долгота, по оси Y – широта области построения. Исследуемая область выделена красным прямоугольником.

Пространственные распределения построены для 10 наиболее характерных лет с наибольшими по абсолютной величине значениями индекса POL для обеих фаз индекса. Анализ пространственного распределения аномалий геопотенциала на уровне 850 гПа показал, что в области построения положение очагов положительных и отрицательных аномалий геопотенциала, а также конфигурация линий тока различаются в зависимости от знака фазы индекса POL.

При отрицательной фазе индекса POL один из центров околорполярного вихря наблюдается

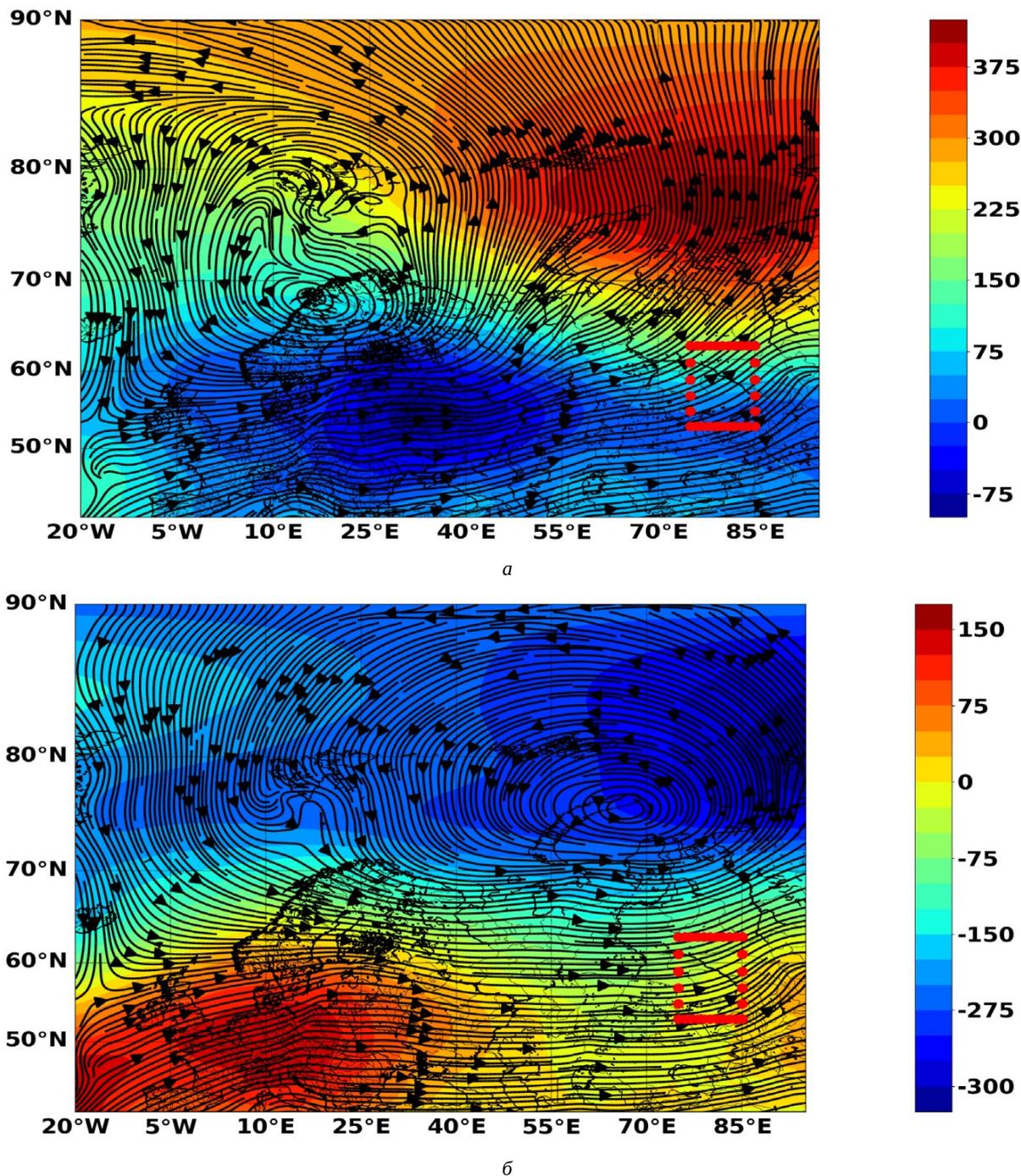


Рис. 1. Пространственное распределение аномалий геопотенциала (базовый период 1961–1990 гг.) и линий тока поля скоростей для поверхности 850 гПа – отрицательная (а) и положительная (б) фаза индекса POL (10 лет с наибольшими по абсолютной величине значениями индекса) (цвет онлайн)

над акваторией Норвежского моря и побережьем Скандинавии. Распределение линий тока свидетельствует об активных меридиональных процессах в высоких широтах (севернее 60° параллели): над побережьем Евразии и околополярными районами преобладают южные потоки, над районами Атлантики – северные. В средних

широтах (40–60° с. ш.) меридиональность проявляется в Азиатской части континента, тогда как над территорией Европы и Европейской частью России (ЕЧР) преобладает зональный (широтный) перенос.

Область положительных аномалий занимает практически всю приполярную территорию,



что свидетельствует о повышенном фоне давления и ослаблении полярного вихря. Диапазон изменения значений аномалий геопотенциала составлял от 0 до 160 ( $\text{м}^2/\text{с}^2$ ). Очаг максимальных положительных значений находится над восточной частью Карского моря и п-овом Таймыр. Область отрицательных аномалий геопотенциала занимает восточную часть Атлантики и Европейскую часть континента, очаг наибольших по абсолютной величине отрицательных значений располагается над центральными районами ЕЧР. Над исследуемой территорией наблюдались положительные аномалии геопотенциала и воздушные потоки с преобладающим юго-западным направлением.

При положительной фазе индекса POL центр циркумполярного вихря находился над северо-восточной частью Карского моря. Высотная фронтальная зона, ограничивающая циркумполярный вихрь, располагается севернее  $60^\circ$  с. ш. Конфигурация линий тока указывает на преобладание зонального переноса.

Область высоких широт находится под влиянием отрицательных аномалий геопотенциала, что свидетельствует о глубоком (активном) околополярном вихре. Значения аномалий геопотенциала изменялись от 0 до  $-72$  ( $\text{м}^2/\text{с}^2$ ).

В средних широтах преобладают положительные аномалии геопотенциала. Область максимальных положительных значений располагается над югом Западной Европы, юго-западными районами ЕЧР. Над средними широтами Урала, Западной Сибири наблюдаются нулевые и слабо положительные аномалии геопотенциала. Над исследуемой территорией преобладали нулевые аномалии геопотенциала и западные потоки.

Полученные результаты согласуются с данными Центра прогнозирования климата Национальной службы погоды США, по результатам исследований которого в период 1950–2000 гг. при положительной фазе индекса POL коэффициент корреляции между аномалиями геопотенциала и значениями индекса POL составил  $+0,3$  [11].

На рис. 2 приведено пространственное распределение аномалий количества атмосферных осадков холодного сезона (ноябрь–март) по данным реанализа ERA5 для исследуемой территории для ситуаций отрицательной и положительной фаз телеконнекционного индекса POL. Треугольниками отмечены те метеостанции, для которых получены статистически значимые результаты по всем трем критериям. Кругами отмечены метеостанции, для которых результаты статистически значимы по двум критериям из трех. Квадратами отмечены метеостанции, для которых статистически значимые результаты получены по одному критерию из трех. Звездами отмечены метеостанции, для которых не удалось получить статистически значимые результаты.

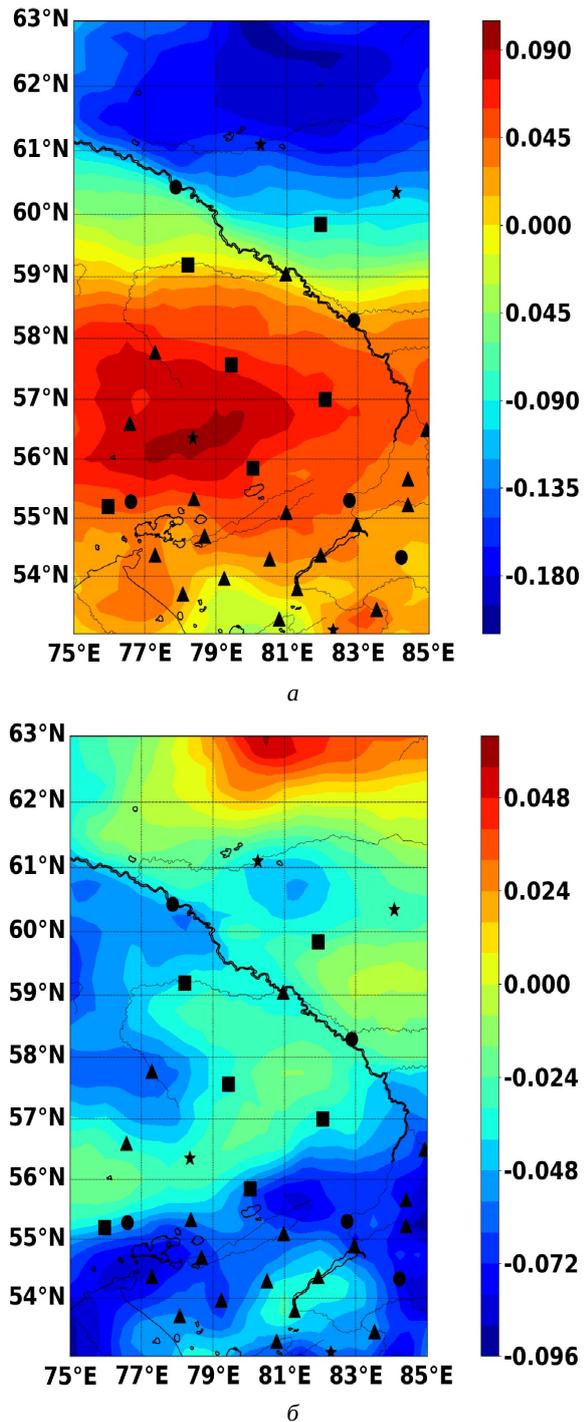


Рис. 2. Пространственное распределение аномалий количества атмосферных осадков холодного сезона (базовый период 1961–1990 гг.) по данным реанализа ERA5 для отрицательной (а) и положительной (б) фазы индекса POL (треугольник – 3 из 3, круг – 2 из 3, квадрат – 1 из 3, звезда – 0 из 3) (цвет онлайн)

При отрицательной фазе индекса POL на исследуемой территории положительные аномалии атмосферных осадков наблюдались в области средних широт, т. е. на юге и в центральной части исследуемой области. Отрицательные



аномалии атмосферных осадков наблюдались в северных широтах, т. е. в северной части исследуемой области. Как правило, аномалии атмосферных осадков и геопотенциала имеют противоположные знаки.

При положительной фазе индекса POI в северной части исследуемой территории наблюдались положительные аномалии осадков и отрицательные аномалии геопотенциала. В средних широтах аномалии осадков отрицательны, а аномалии геопотенциала близки к нулю.

Таким образом, положительные аномалии атмосферных осадков в основном наблюдались в области высоких широт, что соответствует расположению высотной фронтальной зоны (а следовательно, перемещению циклонов) по северным районам Евразии.

В условиях положительной фазы индекса POI пространственное распределение индекса меридиональности MCI (графики не приведены) характеризуется только положительными значениями. В условиях преобладания отрицательной фазы индекса POI пространственное распределение индекса меридиональности MCI характеризуется преимущественно положительными и нулевыми значениями, но наблюдаются локальные области отрицательных значений индекса меридиональности в центральной и северной областях исследуемой территории. То есть локально индекс меридиональности меняет свой знак, что также свидетельствует об активизации меридиональных процессов.

## Выводы

Установлена статистически значимая связь между количеством атмосферных осадков холодного сезона (ноябрь–март) и фазой телеконнекционного индекса POI для исследуемой территории.

На основе статистического анализа данных метеостанций, сеточных массивов данных и реанализов установлено, что для исследуемой территории в условиях отрицательной фазы телеконнекционного индекса POI количество атмосферных осадков холодного сезона больше, чем в условиях положительной фазы этого индекса.

Показано, что для исследуемой территории существуют различия в конфигурации гидрометеорологических полей для случаев сильной положительной и отрицательной фаз телеконнекционного индекса POI (абсолютные значения индекса больше 0.5).

Установлено, что в условиях отрицательной фазы индекса POI на исследуемой территории в холодном сезоне наблюдались отрицательные аномалии геопотенциала, положительные аномалии осадков, преобладали юго-западные воздушные потоки. Можно предположить, что

ослабление циркумполярного вихря, распространение высотной ложбины вглубь континента способствовало перемещению атлантических циклонов на территорию Западной Сибири и увеличению количества осадков холодного сезона на исследуемой территории.

При положительной фазе индекса POI на исследуемой территории преобладали нулевые и слабо положительные аномалии геопотенциала, отрицательные аномалии осадков, зональные потоки.

В условиях усиления околополярного вихря шторм-трек располагается в высоких широтах, и циклоны смещаются в основном по северным траекториям, поэтому в средних широтах количество осадков меньше, чем при отрицательной фазе индекса POI.

## Библиографический список

1. Gao T., Yu J., Paek H. Impacts of four northern-hemisphere teleconnection patterns on atmospheric circulations over Eurasia and the Pacific // *Theoretical and Applied Climatology*. 2016. Vol. 129. P. 815–831. <https://doi.org/10.1007/S00704-016-1801-2>
2. Gao N., Bueh C., Xie Z., Gong Y. A Novel Identification of the Polar/Eurasia Pattern and Its Weather Impact in May // *Journal of Meteorological Research*. 2019. Vol. 33. P. 810–825. <https://doi.org/10.1007/s13351-019-9023-z>
3. Mirhashemi H., Hasanvand Z. The effect of teleconnection patterns on monthly rainfall in Khorramabad and Kermanshah stations // *Water and Soil Management and Modeling*. 2023. Vol. 3, iss. 4. P. 133–151. <https://doi.org/10.22098/mmws.2022.11702.1159>
4. Золина О. Г., Булыгина О. Н. Современная климатическая изменчивость характеристик экстремальных осадков в России // *Фундаментальная и прикладная климатология*. 2016. Т. 1. С. 84–103. <https://doi.org/10.21513/2410-8758-2016-1-84-103>, EDN: WBFQYV
5. База данных GPCP. URL: <https://www.dwd.de/EN/ourservices/gpcp/gpcp.html> (дата обращения: 23.04.2024).
6. База данных CRU TS4. URL: <http://badc.nerc.ac.uk/data/cru/> (дата обращения: 24.04.2024).
7. База данных GHCN. URL: <https://www.ncei.noaa.gov/access/monitoring/ghcn-gridded-products/> (дата обращения: 25.04.2024).
8. База данных ERA. URL: <https://confluence.ecmwf.int/display/CKB/ERA5%3A+data+documentation> (дата обращения: 25.04.2024).
9. База данных NCEP/NCAR. URL: <https://psl.noaa.gov/data/gridded/data.ncep.reanalysis.html> (дата обращения: 22.04.2024).
10. Barnston A. G., Livezey R. E. Classification, seasonality and persistence of low-frequency atmospheric circulation patterns // *Monthly Weather Review*. 1987. Vol. 115. P. 1083–1126, [https://doi.org/10.1175/1520-0493\(1987\)115<1083:CSAPOL>2.0.CO;2](https://doi.org/10.1175/1520-0493(1987)115<1083:CSAPOL>2.0.CO;2)



11. Climate Prediction Center [сайт]. URL: <http://www.cpc.ncep.noaa.gov> (дата обращения: 22.04.2024).
12. Francis J. A., Vavrus S. J. Evidence for wavier jet stream in response to rapid Arctic warming // *Environmental Research Letters*. 2015. Vol. 10, № 1. Article number 014005. <https://doi.org/10.1088/1748-9326/10/1/014005>
13. Zhai W., Wang Z., Feng Y., Xue L., Ma Z., Tian L., Sun H. Developing the Actual Precipitation Probability Distribution Based on the Complete Daily Series // *Sustainability*. 2023. Vol. 15, iss. 17. Article number 13136. <https://doi.org/10.3390/su151713136>
14. Cavanaugh N. R., Gershunov A., Panorska A. K., Kozubowski T. J. The probability distribution of intense daily precipitation // *Geophysical Research Letters*. 2015. Vol. 42. P. 1560–1567. <https://doi.org/10.1002/2015GL063238/>
15. Обзоры Гидрометцентра РФ. URL: <https://meteoinfo.ru/circulation-review> (дата обращения: 23.04.2024).

Поступила в редакцию 16.07.2024; одобрена после рецензирования 12.09.2024;  
принята к публикации 27.09.2024; опубликована 29.11.2024

The article was submitted 16.07.2024; approved after reviewing 12.09.2024;  
accepted for publication 27.09.2024; published 29.11.2024