

УДК 911, 656.6.052

DOI: 10.15587/2313-8416.2016.74121

ИЗМЕНЕНИЯ ЛЕДОВИТОСТИ И ВАРИАЦИИ ПОЛЯ АТМОСФЕРНОГО ДАВЛЕНИЯ В АРКТИКЕ

© А. В. Холопцев, Н. К. Кононова

Выявлены районы различных секторов Арктики, на изменения ледовитости которых в летние или зимние месяцы значимо влияют опережающие их по времени межгодовые вариации суммарных продолжительностей периодов действия Элементарных Циркуляционных механизмов, которые являются блокирующими в других секторах Северного полушария Земли

Ключевые слова: Арктика, ледовитость, связи, арктические блокинги, Элементарный Циркуляционный Механизм, синоптическое положение, арктический антициклон

Areas of various sectors of Arctic, where the ice cover is changed in the summer or winter months significantly under the influence of interannual variations in the total duration of elementary circulation mechanisms outstripping them by time that are blocking in other sectors of the Northern Hemisphere were identified

Keywords: Arctic, ice cover, relationships, Arctic blocking, elementary circulation mechanism, synoptic situation, Arctic anticyclone

1. Введение

Ледовитость акваторий различных секторов Арктики значимо влияет не только на их климат, а также на проходимость их водных путей, но и на динамику многих других физико-географических процессов во всем Северном полушарии нашей планеты [1]. Поэтому совершенствование методик прогнозирования ее изменений является актуальной проблемой климатологии и физической географии.

Так как многие факторы рассматриваемого процесса не являются наблюдаемыми [2], при их прогнозировании, как правило, применяются статистические методы. Качество получаемых при этом прогнозов существенно зависит от набора факторов, которые учитываются при их разработке.

Наиболее адекватными такие прогнозы являются, если все учитываемые факторы связаны с изучаемыми процессами статистически устойчиво и значимо [3]. Поэтому значительный интерес представляет выявление факторов изменений ледовитости арктических акваторий, которые обладают указанными свойствами.

2. Литературный обзор

Как было установлено в работах Н. Н. Зубова [4], Л. С. Берга [5], В. Ю. Визе [6], В. В. Шулейкина [7] и подтверждено результатами исследований многих современных отечественных и зарубежных ученых, существенным фактором изменений ледовитости любой акватории Арктики, является ветер, оказывающий непосредственное механическое воздействие на дрейф льдов [8–10]. Характеристики этого ветра определяются синоптическим положением над Арктическим и Субарктическим климатическими поясами, которое определяется расположением над ними областей повышенного и пониженного атмосферного давления. Наиболее существенное влияние на него оказывают расположения и характеристики Исландского и Алеутского минимумов, а также Арктического и Сибирского антициклонов (в соответствующие сезоны) [11, 12].

Изменения синоптического положения над рассматриваемым регионом Северного полушария отражают вариации структуры общей циркуляции земной атмосферы, которые обусловлены последовательной сменой действующих в ней Элементарных Циркуляционных механизмов (далее ЭЦМ) [13].

Подход к типизации макроциркуляционных процессов в атмосфере над Северным полушарием нашей планеты, предполагающий, что все их разнообразие может быть представлено как 41 ЭЦМ, которые относятся к 13 типам, разбитым на четыре группы, разработан Б. Л. Дзердзеевским, В. М. Курганской и З. М. Витвицкой [14].

Б. Л. Дзердзеевским выявлена сопряженность изменений структуры атмосферной циркуляции в ее Северном и Южном полушариях, что позволило распространить упомянутый подход на всю земную атмосферу [15].

Каждому ЭЦМ соответствует некоторое синоптическое положение над Арктическим и Субарктическим климатическими поясами, при котором из одних ее секторов развиваются арктические блокинги, а в другие происходят вхождения южных циклонов. Поскольку развитие упомянутых блокирующих процессов наиболее существенно влияет на метеосостояние в соответствующих регионах Северного Умеренного климатического пояса, Б. Л. Дзердзеевским предложено использовать их количество и расположение в качестве признака, позволяющего установить соответствие между наблюдаемой структурой атмосферной циркуляции и некоторым ЭЦМ [13, 16].

Арктические блокинги, зарождаясь над Арктикой, распространяются из нее на юг, оказывая существенное влияние на метеосостояние во всех регионах Северного полушария, которые встречаются на их пути. В секторы Арктики, где они образуются, при этом смещен Арктический антициклон. В них стоят наиболее холодные погоды, преобладают слабые ветры.

В других секторах Арктики в период развития этих процессов теплее, а ветры сильнее, поскольку в них более активно проявляется деятельность цикло-

нов. Как следствие, механические воздействия ветра на дрейфующие льды Арктики, которые оказываются в период развития блокинга из некоторого ее сектора, в этом секторе могут быть слабее, чем в прочих.

В периоды действия некоторых ЭЦМ расположения областей повышенного и пониженного атмосферного давления в ряде секторов Арктики, а также пути, по которым развиваются арктические блокинги, могут быть подобными [17, 18]. В такие периоды сходными могут быть и характеристики ветра в соответствующих регионах Арктики, и оказываемые этим ветром воздействия на дрейфующие в них льды.

Вызванные подобными воздействиями изменения ледовитости некоторой акватории могут быть тем ощутимей, чем дольше характеристики порождающего их ветра сохраняются неизменными и чем больше сумма продолжительностей действия подобных ЭЦМ.

Следовательно, одной из характеристик атмосферной циркуляции, изменения которой могут быть связаны с вариациями ледовитости некоторых арктических акваторий, является суммарная продолжительность действия (СПД) ЭЦМ, которые являются блокирующими в соответствующих секторах Арктики. При этом изменениям СПД блокирующих ЭЦМ для того или иного сектора Северного полушария могут в разных секторах Арктики соответствовать различные вариации их ледовитости. Так как подобные вариации являются следствием тех или иных перемещений дрейфующих льдов, которые происходят медленно, изменения ледовитости акваторий могут запаздывать по времени по отношению к вариациям СПД обуславливающих их ЭЦМ.

Поскольку ветры над многими секторами Арктики наиболее устойчивы, а значит и способны оказывать самое сильное влияние на ледовитость, в зимние и летние месяцы, представляется возможным выдвинуть следующую гипотезу:

Существуют сектора Арктики, где межгодовые изменения ледовитости ряда их акваторий в летние и зимние месяцы, значимо и устойчиво связаны с опережающими их по времени вариациями СПД ЭЦМ, которые являются блокирующими в некоторых других секторах Северного полушария.

Наличие связей межгодовых изменений ледовитости Арктики в летние месяцы, с вариациями месячной продолжительности действия некоторых ЭЦМ, установлено в [19]. Последнее свидетельствует в пользу адекватности выдвинутой гипотезы, хотя и не доказывает ее.

Расположения районов Арктики, для которых в том или ином месяце могут существовать выявляемые связи, до сих пор не установлены. Последнее не позволяет адекватно учитывать информацию о предыстории вариаций синоптического положения над Арктикой при разработке долгосрочных прогнозов изменений ледовой обстановки на важнейших ее водных путях.

Так как эффективность таких прогнозов не всегда удовлетворяет потребностям практики, выявление арктических районов, для которых выдвинутая гипотеза является адекватной, представляет существенный теоретический и практический интерес.

3. Цель и задачи исследования

Цель данного исследования – проверка адекватности выдвинутой гипотезы и выявление районов Арктики, где связи межгодовых изменений среднемесячных значений их ледовитости в летние и зимние месяцы, с опережающими по времени вариациями СПД ЭЦМ, которые являются в каких-либо секторах Северного полушария блокирующими, обладают статистической устойчивостью и значимостью.

Для достижения данной цели были решены следующие задачи:

1. Для каждого месяца выявить сектора Северного полушария, в которых развитие блокингов вызывает наибольшие изменения ледовитости арктических акваторий.

2. Для каждого зимнего и летнего месяца определить сектора Арктики, в которых в основном расположены ее районы, где межгодовые изменения ледовитости устойчиво и значимо связаны с вариациями СПД блокирующих ЭЦМ для выявленных секторов Северного полушария.

4. Материалы и методы исследования

Для достижения указанной цели как фактический материал об изменениях ледовитости всех районов Арктики, расположенных к северу от параллели 67°N , использованы временные ряды ее среднемесячных значений за период, начиная с января 1982 г., которые представлены в [20].

При выявлении блокирующих ЭЦМ, которые соответствуют тому или иному сектору Северного полушария, использованы динамические схемы всех существующих ЭЦМ, которые представлены в [18].

Информация о продолжительности действия в том или ином месяце и году каждого ЭЦМ получена из [21]. Она базируется на Календаре последовательной смены ЭЦМ за 1899–2015 гг., который до 1970 г. составлялся под руководством и при непосредственном участии Б.Л. Дзердзеевского сотрудниками циркуляционной группы Отдела климатологии Института географии АН СССР.

С 1971 г. составление Календаря курировала В. М. Курганская, а с 1994 г. эта работа осуществляется Н.К. Кононовой, которая принимает в ней участие с 1957 г. В 2014 г. к составлению Календаря подключилась Т. Ю. Горбунова.

При выявлении искомых связей использован метод корреляционного анализа, а также критерий Стьюдента [3]. Поскольку изучаемые процессы нормальными и стационарными не являются, такой подход позволяет значимость изучаемых связей оценивать лишь приближенно. Для ослабления влияния нестационарности рассматриваемых процессов и повышения за счет этого адекватности получаемых с помощью подобной методики статистических выводов, в каждом из них выделены и скомпенсированы линейные тренды.

Вследствие инерционности изменений ледовитости акватории некоторого района, предполагалось, что связи этого процесса с вариациями СПД могут обладать рассматриваемыми свойствами при условии, что последние их опережают на 0–4 месяца.

Связь между изменениями ледовитости в некотором районе и вариациями СПД ЭЦМ для соответствующего сектора Арктики признавалась значимой, если значение коэффициента парной корреляции между соответствующими фрагментами их временных рядов по модулю превышало уровень 95 % порога достоверной корреляции по критерию Стьюдента. Этот уровень определен с учетом числа степеней свободы данных фрагментов.

Как известно [22], статистическая связь между изучаемым процессом, а также неким его фактором считается надежной и может быть использована при его прогнозировании, если соответствующее значение коэффициента парной корреляции рассматриваемых фрагментов их временных рядов не менее чем в 6-10 раз превышает вероятное отклонение, обусловленное ограниченностью длины этих фрагментов.

Установлено, что указанными свойствами обладают фрагменты временных рядов изучаемых процессов, содержащие от 25 до 34 членов. Поэтому при выявлении статистической устойчивости изучаемых связей их значимость оценена для каждого фрагмента соответствующих временных рядов за период

1982-2015 гг., который имеет именно такую длину. Связь признана статистически устойчивой, если ее значимость установлена для всех подобных фрагментов (общее количество которых равно 55). При этом вероятность ошибочности подобного вывода не превышает 1/55.

Границы областей, в пределах которых расположены выявленные районы, отображены на контурных картах различных секторов Арктики, с использованием метода триангуляции Делоне [23].

При выделении рассматриваемых секторов Арктики использована схема ее районирования, которая предложена Б. Л. Дзердзеевским [13]. В соответствии с ней, выделены сектора Атлантический (60°W–0°W), Европейский (0°E–60°E), Сибирский (60°E–120°E), Дальневосточный (120°E–170°E), Тихоокеанский (170°E–120°W) и Американский (120°W–60°W).

5. Результаты исследования

В соответствии с описанной методикой для всех секторов Арктики определены перечни блокирующих ЭЦМ, которые перечислены в табл. 1.

Таблица 1

Перечни блокирующих ЭЦМ

Европейский	Сибирский	Дальневосточный	Тихоокеанский	Американский	Атлантический
4а, 4б, 4в, 8бз, 10а, 10б, 12вз	5а, 5б, 5в, 5г, 8бз, 8бл, 8вз, 8вл, 8гз, 8гл, 11а, 12бл, 12вл	5а, 5б, 5в, 5г, 8бз, 11а, 11б, 11в, 11г, 12а, 12бз, 12вз, 12вл, 12г	6, 8вз, 8вл, 9а, 12а, 12г	7аз, 7ал, 7бз, 7бл, 8а, 10а, 10б, 11а, 11б, 11в, 11г, 12а, 12бз, 12бл, 12вз, 12вл, 12г	3, 8а, 8бл, 8гз, 8гл, 9а, 12а, 12бз, 12бл, 3

Как видно из табл. 1, наибольшее количество ЭЦМ, при которых развивается арктический блокинг в одном и том же направлении соответствует Американскому сектору (15) и Дальневосточному сектору (14).

Районы Арктики, где межгодовые изменения их ледовитости в летние и зимние месяцы устойчиво и значимо связаны с вариациями СПД ЭЦМ, которые являются блокирующими в тех или иных секторах, выявлены лишь в случаях, когда последние опережают эти изменения на 0–3 месяца. Корреляция этих процессов всюду отрицательна.

В летние месяцы рассматриваемые районы существуют, при условии, что учитываемые при подсчете СПД блокирующие ЭЦМ, соответствуют Атлантическому и Европейскому сектору. Сводная информация о количестве выявленных районов в различных секторах Арктики, где межгодовые изменения их ледовитости в летние месяцы значимо и устойчиво коррелированы с опережающими их по времени вариациями СПД блокирующих ЭЦМ в каких-либо иных ее секторах, приведена в табл. 2.

Из табл. 2 следует, что районы Арктики, где связи межгодовых изменений среднемесячных значений их ледовитости в августе с вариациями СПД ЭЦМ, которые являются блокирующими для Европейского сектора Северного полушария, являются устойчивыми и значимыми, существуют при временных сдвигах между этими процессами 0–3 месяца.

При этом наибольшее суммарное количество таких районов соответствует случаю, когда СПД блокирующих ЭЦМ соответствуют июню (всего 521 район). Из этих районов больше всего (246) относится к Американскому сектору Арктики.

Если рассматриваемые ЭЦМ являются блокирующими для Атлантического сектора Северного полушария, наибольшее суммарное количество районов, для которых связи межгодовых изменений среднемесячных значений их ледовитости в августе с вариациями их СПД также соответствует июлю (всего 508 районов). Из этих районов больше всего относится к Тихоокеанскому и Дальневосточному секторам Арктики (соответственно 200 и 160).

Вариации СПД блокирующих ЭЦМ для Европейского или Атлантического сектора Северного полушария в июле–апреле устойчиво и значимо связаны с межгодовыми изменениями ледовитости в июле многих районов Арктики. При этом наибольшее количество таких районов расположено в ее Американском секторе.

На рис. 1 в качестве примера представлены расположения районов Арктики, в которых межгодовые изменения их ледовитости в августе значимо и устойчиво связаны с вариациями СПД ЭЦМ, которые являются блокирующими для Европейского сектора Северного полушария в июне и Атлантического сектора в июле.

Таблица 2

Количество выявленных районов Арктики, где межгодовые изменения ледовитости их акваторий в июле и августе значимо и устойчиво связаны с вариациями СПД блокирующих ЭЦМ для Европейского и Атлантического сектора

Август								
	Европейский сектор				Атлантический сектор			
	Май	Июнь	Июль	Август	Май	Июнь	Июль	Август
Европейский	0	46	0	23	27	0	32	0
Сибирский	5	76	0	13	63	24	45	0
Дальневосточный	9	37	0	118	0	2	160	4
Тихоокеанский	12	47	0	14	4	54	200	6
Американский	5	246	36	8	78	1	53	1
Атлантический	0	69	7	24	20	1	18	0
Июль								
	Европейский сектор				Атлантический сектор			
	Апрель	Май	Июнь	Июль	Апрель	Май	Июнь	Июль
Европейский	1	11	45	92	48	8	0	23
Сибирский	0	7	73	27	14	66	25	38
Дальневосточный	0	3	35	26	0	2	0	60
Тихоокеанский	0	13	78	80	30	22	33	58
Американский	0	10	278	94	117	121	9	103
Атлантический	0	0	66	17	19	15	1	17

Из рис. 1, *a* видно, что в Американском секторе Арктики районы, где межгодовые изменения их ледовитости значимо и устойчиво связаны с вариациями СПД в июне ЭЦМ, которые являются блокирующими для Европейского сектора Северного полушария, расположены у побережий и в проливах между островами Канадского Арктического архипелага. Несмотря на то, что эти районы многочисленны, единой области они не образуют.

Из рис. 1, *b* следует, что в августе районы Дальневосточного сектора Арктики, где межгодовые изменения их ледовитости значимо и устойчиво связаны с вариациями СПД в июле ЭЦМ, которые являются блокирующими для Атлантического сектора Северного полушария, расположены в восточной части Восточно-Сибирского моря, в акваториях проливов Санникова и Дмитрия Лаптева. Кроме того в Арктическом бассейне они образуют зону, между параллелями 77°N и 82°N, которая расположена к северу от восточной части моря Лаптевых.

Рис. 1, *в* показывает, что районы Тихоокеанского сектора, где в августе межгодовые изменения ледовитости значимо и устойчиво связаны с вариациями СПД в июле блокирующих ЭЦМ для Атлантического сектора, в основном находятся в восточной части Восточно-Сибирского моря, а также северной

части Чукотского моря (южная часть которого свободна ото льда).

Из рис. 1, *a–в* следует, что в августе выявленные районы Арктики расположены в акваториях, прилегающих к границам областей дрейфующих льдов. В том числе эти районы находятся в проливах Санникова и Дмитрия Лаптева, через которые проходят соответствующие участки маршрута Северного морского пути. Поэтому выявленные связи целесообразно учитывать при планировании работы на них арктического флота.

Как видим, полученные результаты свидетельствуют об адекватности выдвинутой гипотезы, по крайней мере, для летних месяцев.

Районы Арктики, где межгодовые изменения их ледовитости в зимние месяцы устойчиво и значимо связаны с опережающими их вариациями СПД блокирующих ЭЦМ, выявлены в случаях, когда последние соответствуют лишь Сибирскому, Дальневосточному и Американскому секторам Северного полушария.

Сведения о количестве выявленных районов в различных секторах Арктики, где межгодовые изменения ледовитости их акваторий в зимние месяцы значимо и устойчиво коррелированы с опережающими их по времени вариациями СПД блокирующих ЭЦМ в каких-либо секторах Северного полушария приведена в табл. 3.

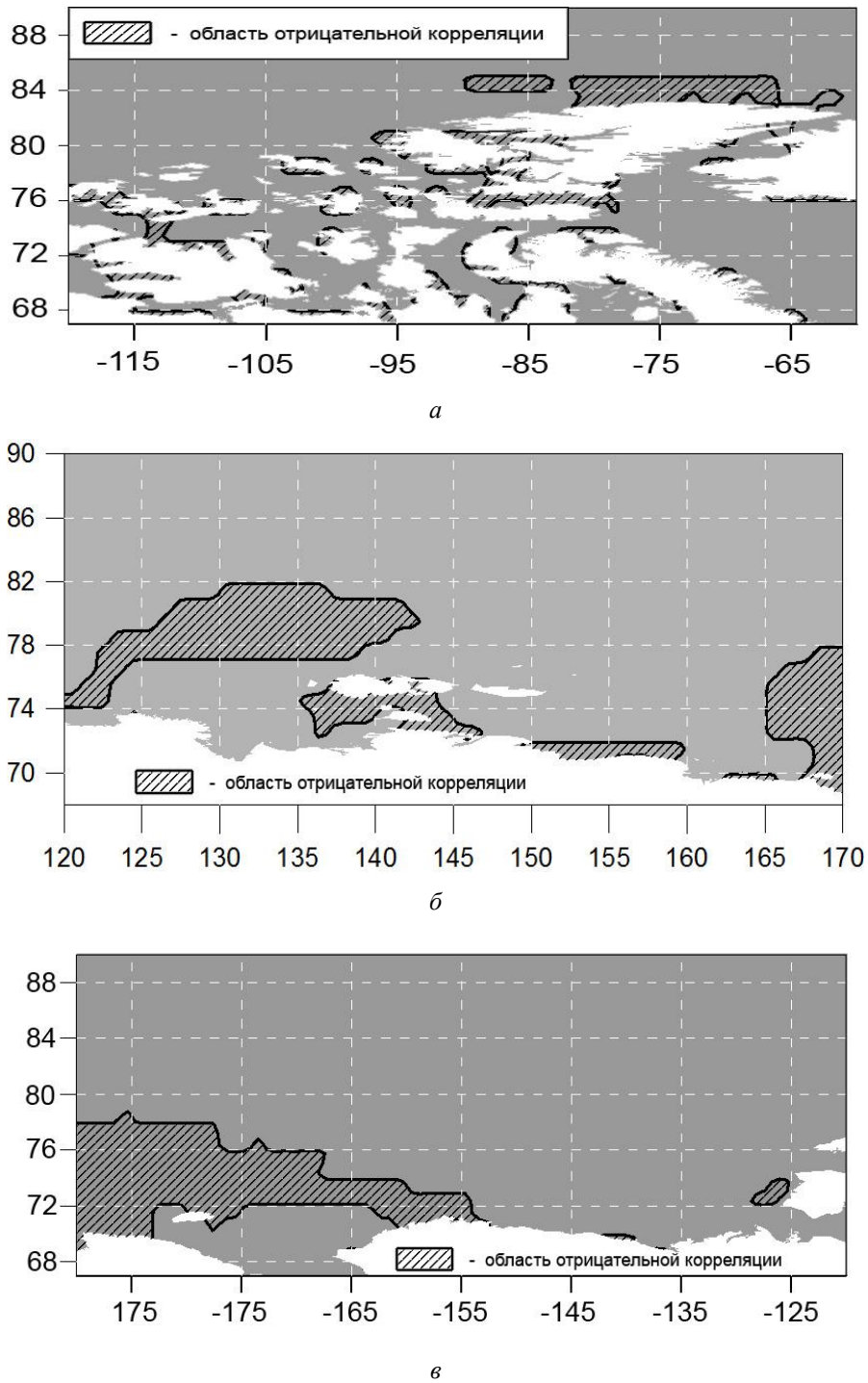


Рис. 1 Районы Арктики, в которых межгодовые изменения их ледовитости в августе значимо и устойчиво связаны с вариациями СПД блокирующих ЭЦМ: *а* – Американский сектор при блокингах в Европейском секторе в июне; *б* – Дальневосточный сектор при блокингах в Атлантическом секторе в июле; *в* – Тихоокеанский сектор при блокингах в Атлантическом секторе в июле

Из табл. 3 видно, что в любом секторе Арктики, имеются многочисленные районы, где зимой изменения их ледовитости значимо и устойчиво связаны с вариациями СПД ЭЦМ, которые являются блокирующими для Сибирского сектора Северного полушария, при условии, что временные сдвиги между этими процессами составляют 0–3 месяца. Изменения ледовитости акваторий в декабре или январе связаны с рассматриваемым фактором в наибольшем числе районов, при условии, что последние расположены в

Тихоокеанском и Американском секторах Арктики, а СПД блокирующих ЭЦМ соответствуют ноябрю.

Вариации СПД блокирующих ЭЦМ для Дальневосточного сектора Арктики связаны с изменениями ледовитости ее акваторий в декабре и январе значимо и устойчиво для наибольшего количества его районов, при условии, что последние относятся к Тихоокеанскому и Американскому сектору, а рассматриваемые вариации соответствуют не только ноябрю, но и октябрю.

Таблица 3

Количество выявленных районов Арктики, где межгодовые изменения ледовитости их акваторий в декабре и январе значимо и устойчиво связаны с вариациями СПД блокирующих ЭЦМ для Сибирского, Дальневосточного и Американского секторов Северного полушария

Сибирский сектор								
Месяцы ледовитости	Декабрь				Январь			
Месяцы блокингов	сент.	окт.	ноя.	дек.	окт.	ноя.	дек.	январь.
Европейский	9	114	72	2	105	65	123	178
Сибирский	2	170	51	27	64	60	78	134
Дальневосточный	25	40	11	13	42	61	8	65
Тихоокеанский	176	86	191	0	174	226	0	14
Американский	2	22	186	14	40	176	13	7
Атлантический	7	3	128	59	17	106	109	41
Дальневосточный сектор								
Месяцы ледовитости	Декабрь				Январь			
Месяцы блокингов	сент.	окт.	ноя.	дек.	окт.	ноя.	дек.	январь.
Европейский	6	63	44	57	0	0	0	32
Сибирский	2	76	98	28	2	0	5	20
Дальневосточный	24	4	35	3	1	36	43	27
Тихоокеанский	0	158	343	4	187	172	65	13
Американский	2	201	104	0	242	66	9	0
Атлантический	0	17	40	12	18	2	8	48
Американский сектор								
Месяцы ледовитости	Декабрь				январь			
Месяцы блокингов	сент.	окт.	ноя.	дек.	окт.	ноя.	дек.	январь.
Европейский	38	0	15	53	0	6	2	36
Сибирский	80	0	8	15	0	3	17	27
Дальневосточный	57	0	52	2	0	41	82	3
Тихоокеанский	39	2	180	25	2	197	72	4
Американский	213	6	0	0	21	1	8	0
Атлантический	63	6	3	2	0	4	10	27

Для вариаций СПД блокирующих ЭЦМ, соответствующих Американскому сектору тот же вывод является адекватным, при условии, что эти вариации соответствуют как ноябрю, так и сентябрю.

На рис. 2 показаны районы Арктики, в которых изменения ледовитости в декабре или январе устойчиво и значимо связаны с вариациями СПД блокирующих ЭЦМ для Сибирского сектора, которые соответствуют ноябрю.

Рис. 2, а показывает, что рассматриваемые районы Тихоокеанского сектора, где межгодовые изменения ледовитости в декабре, значимо и устойчиво связаны с вариациями СПД в ноябре блокирующих ЭЦМ, для Сибирского сектора Северного полушария, расположены зонально между параллелями 83°N и 88°N. Во всех выявленных районах корреляция указанных процессов отрицательна (значения их ледови-

тости в зимние месяцы снижены, в годы, которым предшествуют повышенные СПД в ноябре изучаемых блокирующих ЭЦМ).

Как видим из рис. 2, б, в Американском секторе районы, где в декабре межгодовые изменения их ледовитости устойчиво и значимо связаны с вариациями СПД в ноябре ЭЦМ, которые являются блокирующими для Сибирского сектора Северного полушария, расположены:

- в восточной части сектора (к северу от моря Линкольна) в непосредственной близости от Северного полюса;

- в его западной части (соответствующей по долготе восточной части моря Бофорта) зонально – между параллелями 85°N и 88°N.

Как следует из рис. 2, в, районы Тихоокеанского сектора, где в январе межгодовые изменения

их ледовитости устойчиво и значимо связаны с вариациями СПД в ноябре ЭЦМ, которые являются блокирующими для Сибирского сектора Северного полушария, расположены:

- в западной части сектора (соответствующей по долготе Чукотскому морю) в непосредственной близости от Северного полюса;

- в его восточной части (соответствующей по долготе западной части моря Бофорта) зонально – между параллелями 83°N и 88°N.

Из сопоставления рис. 2, а–в нетрудно заключить, что наибольшее количество районов Арктики, где в декабре-январе межгодовые изменения их ле-

довитости, а также вариации СПД в ноябре блокирующих ЭЦМ для Сибирского сектора, связаны между собой значимо и устойчиво, расположены в наиболее высоких широтах Северного полушария. Вследствие последнего суммарная площадь подобных районов весьма невелика, а выявленные связи существенного влияния на климат и другие физико-географические процессы в Северном полушарии не оказывают.

На рис. 3 отображены арктические районы, где изменения ледовитости в декабре или январе устойчиво и значимо связаны с вариациями СПД блокирующих ЭЦМ для Дальневосточного сектора, которые соответствуют ноябрю.

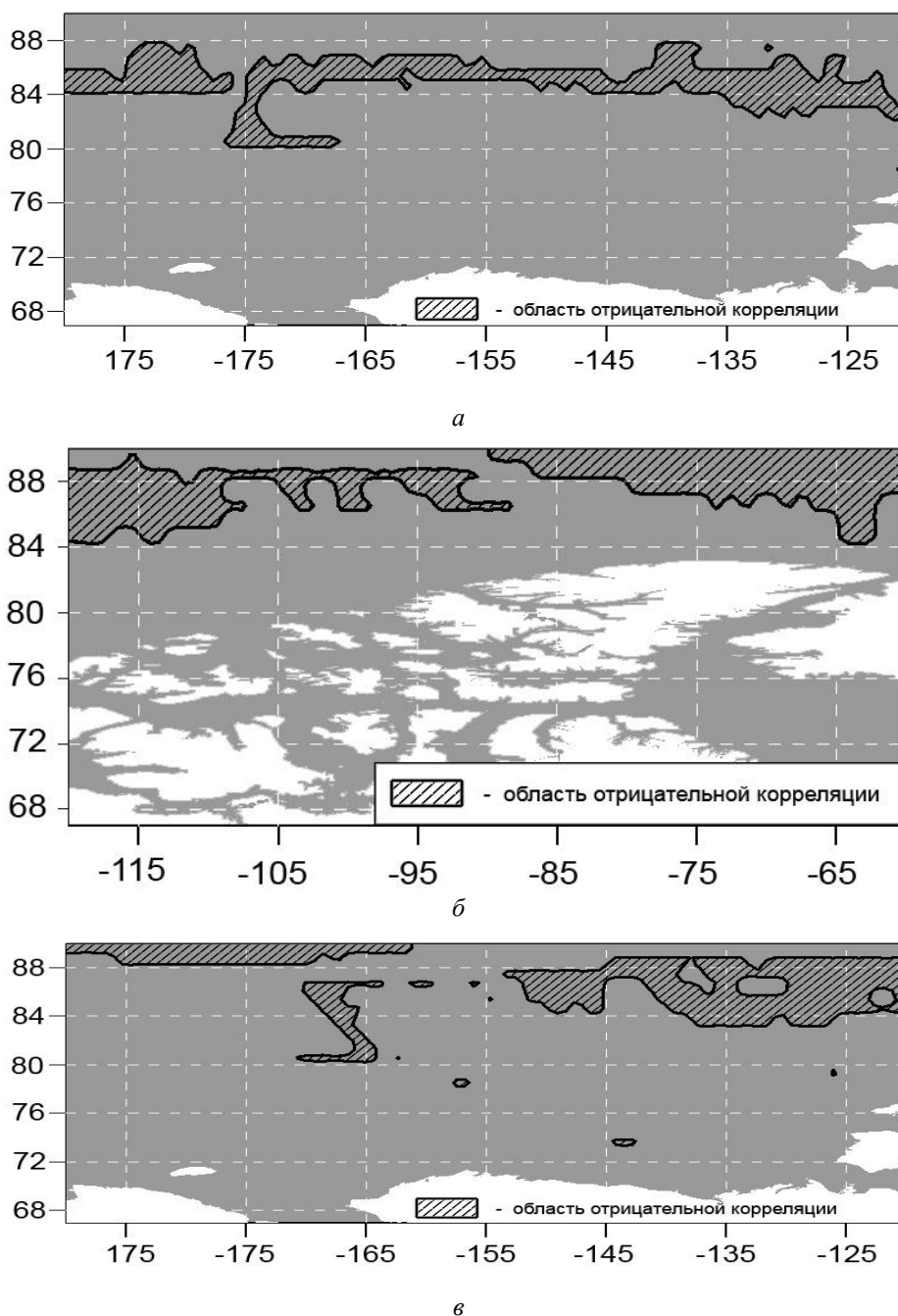


Рис. 2 Районы Арктики, в которых межгодовые изменения их ледовитости в зимние месяцы значимо и устойчиво связаны с вариациями СПД блокирующих ЭЦМ в ноябре, для Сибирского сектора Северного полушария: а – Тихоокеанский сектор в декабре; б – Американский сектор в декабре; в – Тихоокеанский сектор в январе

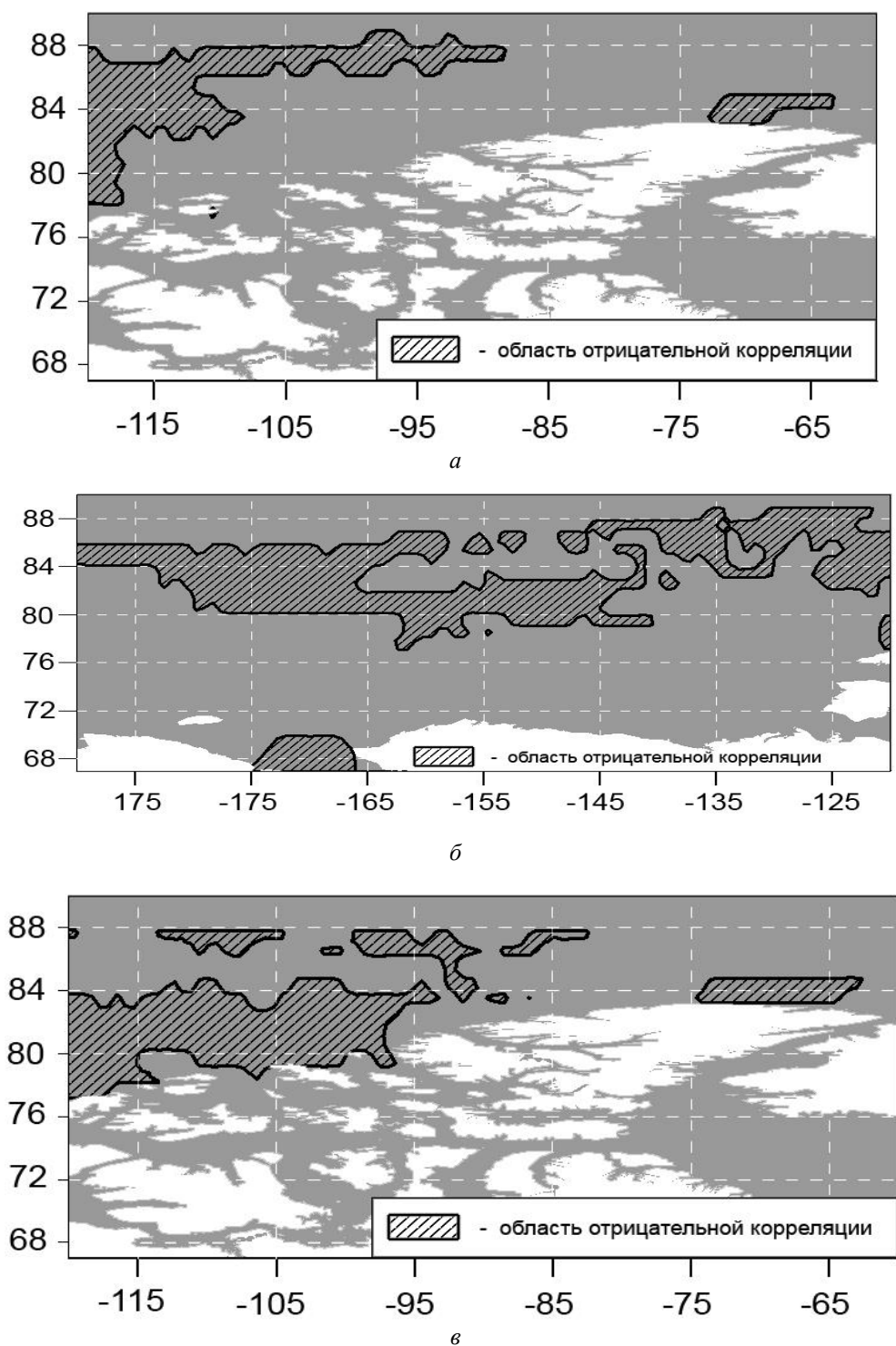


Рис. 3. Районы Арктики, в которых межгодовые изменения их ледовитости значимо и устойчиво связаны с вариациями СПД блокирующих ЭЦМ, которые соответствуют ноябрю, и Дальневосточному сектору: *а* – Американский сектор в декабре; *б* – Тихоокеанский сектор в январе; *в* – Американский сектор в январе

Рис. 3, *а* указывает на то, что районы Американского сектора, где межгодовые изменения их ледовитости в декабре значимо и устойчиво связаны с вариациями СПД в ноябре ЭЦМ, которые являются блокирующими для Дальневосточного сектора Северного полушария, расположены в основном в Море Бофорта и к северу от него до параллели 88°N.

Из рис. 3, *в* понятно, что межгодовые изменения ледовитости в январе значимо и устойчиво связаны с вариациями СПД в ноябре ЭЦМ, которые яв-

ляются блокирующими для Дальневосточного сектора Северного полушария, для районов Американского сектора Северного полушария, которые расположены главным образом в море Бофорта и к северу от него до параллели 88°N.

Из сравнения рис. 3, 2 видно, что выявленные районы Арктики, которые соответствуют блокирующим ЭЦМ в Дальневосточном секторе Северного полушария, в зимние месяцы расположены южнее, чем районы тех же регионов Арктики, где изменения ле-

довитости связана с СПД блокирующих ЭЦМ для Сибирского сектора.

Рис. 4 показывает расположение районов Арктики, в которых межгодовые изменения ледовито-

сти их в декабре или январе устойчиво и значимо связаны с вариациями СПД блокирующих ЭЦМ для Американского сектора, которые соответствуют ноябрю.

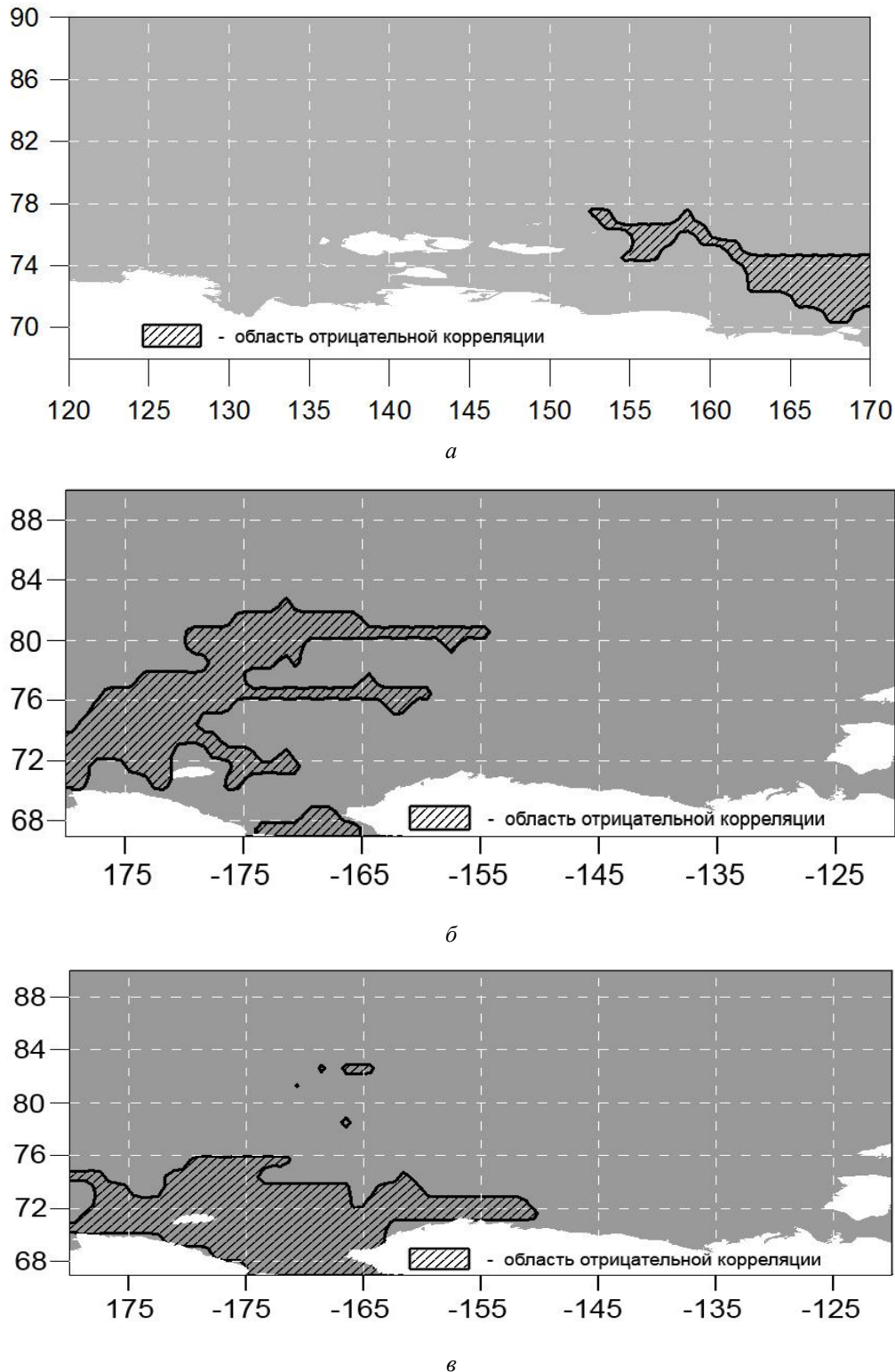


Рис. 4. Районы Арктики, в которых межгодовые изменения их ледовитости значимо и устойчиво связаны с вариациями СПД блокирующих ЭЦМ, которые соответствуют ноябрю, и Американскому сектору: *a* – Дальневосточный сектор в декабре; *б* – Тихоокеанский сектор в декабре; *в* – Тихоокеанский сектор в январе

Из рис. 4, *a* видно, что в декабре межгодовые изменения ледовитости многих районов Дальневосточного сектора Арктики, которые расположены в Восточ-

но-Сибирском море, значимо и устойчиво связаны с вариациями СПД в ноябре блокирующих ЭЦМ для Американского сектора Северного полушария.

Рис. 4, б показывает, что районы Арктики, в которых межгодовые изменения их ледовитости в декабре значимо и устойчиво связаны с вариациями СПД в ноябре ЭЦМ, которые являются блокирующими для Американского сектора Северного полушария, расположены в восточной части Восточно-Сибирского, западной части Чукотского моря и прилегающих к ней акваториях Арктического бассейна, а также в Беринговом проливе.

Из рис. 4, в следует, что с вариациями СПД в ноябре блокирующих ЭЦМ для Американского сектора Северного полушария, значимо и устойчиво связаны изменения ледовитости в большинстве районов Чукотского моря, включая Берингов пролив, а также в восточной части Восточно-Сибирского моря.

Как видим из рис. 4, наибольшие по площади районы Арктики, где изменения ледовитости в декабре и январе устойчиво и значимо связаны с вариациями блокирующих ЭЦМ для Американского сектора, которые соответствуют ноябрю, расположены в ее Тихоокеанском и Дальневосточном секторе. Следует отметить, что по выявленным районам проходит соответствующие участки трассы Северного морского пути. Последнее обуславливает целесообразность учета выявленных связей при прогнозировании их проходимости.

5. Обсуждение полученных результатов

Полученные результаты соответствуют современным представлениям об особенностях атмосферной циркуляции, проявляющимся в периоды действия ЭЦМ, которые являются блокирующими летом в Европейском (4б, 4в, 10б) и Атлантическом секторе Арктики (3, 8а, 8бл, 8гл, 9а, 12бл), а зимой – в ее Сибирском (5а, 5б, 5в, 5г, 8бз, 8вз, 8гз, , 11а), Дальневосточном (5а, 5б, 5в, 5г, 8бз, 11а, 11б, 11в, 11г, 12а, 12бз, 12вз, 12г) и Американском секторах (7аз, 7ал, 7бз, 7бл, 8а, 10а, 10б, 11а, 11б, 11в, 11г, 12а, 12бз, 12вз, 12г.). Их основу образует подход к типизации макроциркуляционных процессов в земной атмосфере, который был разработан Б.Л. Дзердзеевским и учеными созданной им научной школы [11-19, 24, 25].

Установлено [18], что за период с 1899 по 2015 г. сменились три циркуляционные эпохи. Период, которому посвящена данная статья, составляет часть начавшейся в 1956 г. третьей циркуляционной эпохи, в течение которой преобладают ЭЦМ группы МЮ.

Указанная эпоха включает четыре временных отрезка, в том числе два последних соответствуют рассматриваемому временному интервалу 1982–2015 гг. Для отрезка времени (1981–1997гг.), характерен быстрый рост продолжительности действия ЭЦМ МЮ и сокращение ЭЦМ МС и 3+НЗ. На последовавшем далее втором временном интервале (1998–2015 гг.) происходит спад продолжительности действия ЭЦМ, которые относятся к группам МЮ и 3+НЗ, и увеличение продолжительности ЭЦМ, принадлежащих группе МС [25].

С 2006 г. СПД ЭЦМ, которые относятся к группе МС, уже превышают значения аналогичных характеристик ЭЦМ группы МЮ [18]. Возможно, отчасти, поэтому в современный период существенное

влияние на межгодовые изменения ледовитости выявленных районов Арктики оказывают изменения продолжительности действия блокирующих ЭЦМ, которые в основном относятся к группе МС.

Сопоставление происходивших в XX веке смен циркуляционных эпох, и тенденций изменения ледовитости Арктики [19,25] свидетельствует о наличии между ними связи, которая может быть не только статистической, но и причинной.

Так, например, известно, что в 20–40-е годы XX века ледовитость Арктики уменьшалась [9]. В тот же период отмечался рост продолжительности периодов действия ЭЦМ группы 3+НЗ [13, 18] и смещение траекторий циклонов к северу [5]. Последнее не только вызывало потепление на путях их распространения, но и приводило к снижению атмосферного давления над арктическими морями, а также ослаблению в летние месяцы северных ветров, которые нагоняли дрейфующие льды к их побережьям [9].

В 50-х годах началось увеличение ледовитости Арктики, которое по времени совпало с периодом роста продолжительности блокирующих процессов.

В начале рассматриваемого периода (1981–1997 гг.) ледовитость Арктики интенсивно уменьшалась. В это же время возрастала продолжительность действия ЭЦМ МЮ. В те годы над полюсом все чаще располагалась область низкого давления, а также происходили выходы южных циклонов (из Атлантики, Средиземного моря и Тихого океана зимой и плюс через Американский континент летом).

В период после 1998 г. темпы снижения ледовитости Арктики существенно снизились [9, 18], а характер циркуляции атмосферы вновь изменился. Над Арктическим бассейном в последние годы все чаще располагается антициклон, а также развиваются арктические блокирующие процессы.

Данные факты указывают на то, что к числу существенных причин изменений ледовитости выявленных акваторий могут относиться перемены СПД ЭЦМ, которые являются блокирующими в выявленных секторах Арктики. Это подтверждают и зависимости от времени СПД в летние и зимние месяцы ЭЦМ, которые являются блокирующими в различных секторах Северного полушария.

Установлено, что СПД ЭЦМ, которые являются блокирующими для Атлантического сектора Северного полушария, в период 1950–2015 гг. изменялись по осциллирующему закону. При этом в период до 1968 г. преобладали тенденция к увеличению их значений. С 1969 по 1992 г. значения СПД рассматриваемых ЭЦМ в среднем уменьшались. Начиная с 1993 года, тенденция к увеличению изучаемого показателя проявилась вновь. Это убедительно свидетельствует о существовании в Атлантическом секторе Северного полушария процесса, который противодействует потеплению его климата и соответствует выводам [26].

В Европейском секторе Северного полушария изучаемый процесс в рассматриваемый период также носил осциллирующий характер. В период до 1968 г. значения СПД ЭЦМ, которые в данном секторе являются блокирующими, устойчиво снижались. С

1969 г. по 1981 г. данному процессу была свойственен возрастающий тренд. С 1982 по 2003 г. его тренд был убывающим. С 2004 по 2008 г. значения СПД вновь возрастали. С 2008 г. и поныне значения данной характеристики снижаются. Рассматривая зависимость показывает, что количество арктического воздуха, поступающего в летние месяцы в Европейский сектор Северного полушария в последние годы уменьшается, что может служить одной из причин происходящего здесь повышения летних температур [27].

В Сибирском секторе Северного полушария зависимость от времени СПД блокирующих ЭЦМ в летние месяцы также представляла собой сложное колебание. За период 1950–2015 гг. в нем имело место три цикла: первый 1950 по 1971 (максимум в 1966 г.), второй с 1972 по 1992 г. (максимум в 1983 г.) и третий с 1993 г. по 2015 г. (максимум в 2009 г.). Из данного рисунка видно, что вполне реалистичным является предположение, согласно которому в Сибирском секторе соответствующие летним месяцам значения СПД в ближайшие годы будут увеличиваться. Вследствие этого количество поступающего в него холодного арктического воздуха будет возрастать, противодействуя потеплению его климата.

В Дальневосточном секторе рассматриваемый процесс в 1950–2015 гг. также представлял собой сложную осцилляцию, образованную наложением колебания, с периодом 2–3 года на длиннопериодную составляющую. Максимумы последней приходились на 1969 г., 1983 г., 1999 г. и 2011 г. При этом в период с 1992 г. изменениям значений СПД ЭЦМ, которые для данного сектора являются блокирующими, свойственен возрастающий тренд. Следовательно, в данном секторе в ближайшем будущем с наибольшей вероятностью выявленный процесс будет противодействовать повышению летних температур.

В Тихоокеанском секторе Северного полушария в зависимости от времени СПД блокирующих ЭЦМ могут быть выделены два участка. На первом (1950–1991 гг.) рассматриваемому процессу свойственна тенденция к уменьшению его значений. На втором, который начался в 1992 г. и продолжается ныне, СПД блокирующих ЭЦМ устойчиво возрастают, что приводит к увеличению количества холодного арктического воздуха, проникающего летом в данный сектор. Очевидно, что если указанный процесс получит дальнейшее развитие в будущем, также будет все более заметно противодействовать потеплению климата. Из сопоставления рис. 5, д, з видно, что в Тихоокеанском секторе выявленный процесс характеризуется существенно большей интенсивностью, чем в Дальневосточном секторе. В результате этого в регионах, приближенных к границам этих секторов, приходящихся на побережья Тихого океана, могут усиливаться летние муссоны.

В рассматриваемой зависимости для Американского сектора могут быть выделены три участка. На первом участке (1950–1969 гг.) значения СПД блокирующих ЭЦМ увеличивались, на втором (1970–1992 гг.) они уменьшались, на третьем (начавшемся в 1993 г.) их значения вновь увеличиваются. Из последнего следует, что количество арктического воз-

духа, который поступает летом в Американский сектор Северного полушария, в период с 1993 г. становится больше, противодействуя развитию здесь потепления климата.

В современный период значения СПД блокирующих ЭЦМ снижаются только для Европейского сектора. Во всех остальных секторах они увеличиваются, при этом значения СПД ЭЦМ, которые соответствуют Атлантическому сектору Северного полушария, несомненно превышают значения этой характеристики для прочих его секторов.

На рис. 5 представлены зависимости СПД за зимний сезон ЭЦМ, которые являются блокирующими в различных секторах Арктики.

Из рис. 5, а видно, что в течение третьего периода третьей циркуляционной эпохи (1981–1997 гг.) изменения СПД за зимний сезон блокирующих ЭЦМ для Атлантического сектора Северного полушария носили осциллирующий характер, тем не менее, их средний уровень оставался неизменным. С началом четвертого периода (1982–2015 гг.) общий характер этого процесса не изменился, однако его средний уровень значительно повысился. Следовательно, охлаждающее влияние Арктики на Атлантический сектор Северного полушария в октябре-декабре усилилось. Поскольку в 1998–2015 гг. происходило также снижение средних поверхностных температур Северной Атлантики [26], которое продолжается и ныне, представляется вероятным, что в данном секторе совместное противодействие указанных факторов потеплению климата может являться существенным.

Как видно из рис. 5, б, значения СПД за зимний сезон блокирующих ЭЦМ для Европейского сектора Северного полушария в 1981–1997 гг. в среднем снижались, а в 1998–2015 гг. изменяются на постоянном уровне, который является минимальным за всю третью циркуляционную эпоху. Из этого следует, что в октябре-декабре влияние арктических блокингов на температуры в Европейском секторе на протяжении 1981–2015 годов становилось все менее значимым и ныне является минимальным. Последнее подтверждает выводы [27], согласно которым в данном секторе в ближайшие годы будет продолжаться потепление климата, проявляющееся в повышении средних температур зимних сезонов.

Рис. 5, в показывает, что в Сибирском секторе за период 1981–2015 гг. существенных тенденций изменения СПД за зимний сезон блокирующих ЭЦМ не выявлено.

Из рис. 5, г следует, что в 1981–1997 гг. значения СПД за зимний сезон блокирующих ЭЦМ для Дальневосточного сектора изменялись по колебательному закону на неизменном уровне. В 1998–2015 гг. в изменениях данной характеристики наметилась устойчивая тенденция к увеличению ее значений. Ныне они уже превышают максимальный уровень, достигнутый ранее, за предыдущие периоды третьей циркуляционной эпохи. Из этого следует, что в зимние месяцы влияние вхождений арктического воздуха на температурный режим регионов Дальневосточного сектора Северного полушария

усиливается. В его регионах, где зимние температуры ниже, чем в Арктике, эти вхождения вызывают повышение температур, в прочих его регионах – их снижение.

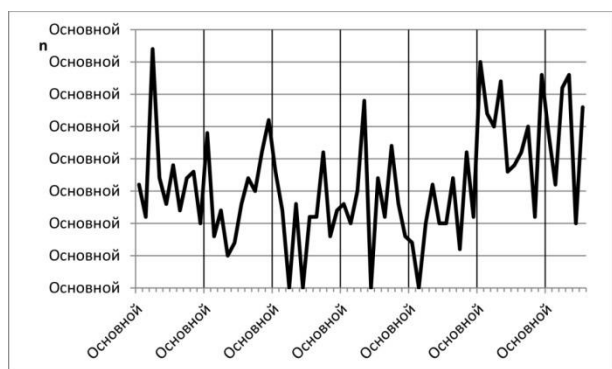
Рис. 5, *д* свидетельствует о том, что в Тихоокеанском секторе Северного полушария значения СПД блокирующих ЭЦМ изменялись таким же образом, однако их уровень, который достигнут к 2015 году, почти в 2 раза ниже, чем для Дальневосточного сектора.

Из рис. 5, *е* нетрудно заметить, что значения СПД блокирующих ЭЦМ для Американского сектора Северного полушария в течение третьего периода рассматриваемой циркуляционной эпохи снижались, а в четвертом ее периоде возрастают. При этом их средний уровень больше, чем в любых других секторах, а максимальный сопоставим с максимальным уровнем для Дальневосточного сектора.

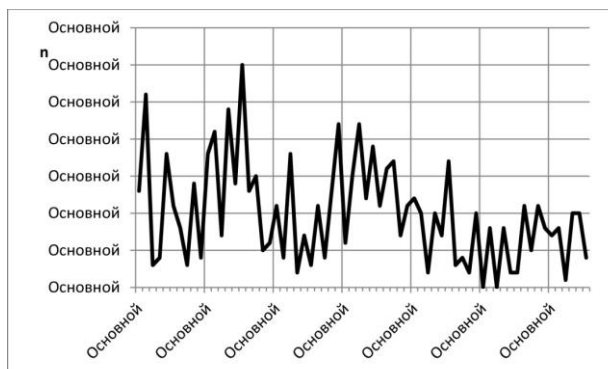
Сопоставление рис. 5, *а–е* свидетельствует о том, что в современном периоде (1998–2015 гг.) зимние значения СПД блокирующих ЭЦМ возрастают для Дальневосточного, Американского и Тихоокеанского сектора, что соответствует выводу [18] о смещении в сторону этих секторов Арктического антициклона. Из них следует, что существует немалая вероятность того, что в ближайшие годы этот процесс может продолжиться.

Качественно подобные закономерности выявлены в изменениях СПД блокирующих ЭЦМ и для других сезонов.

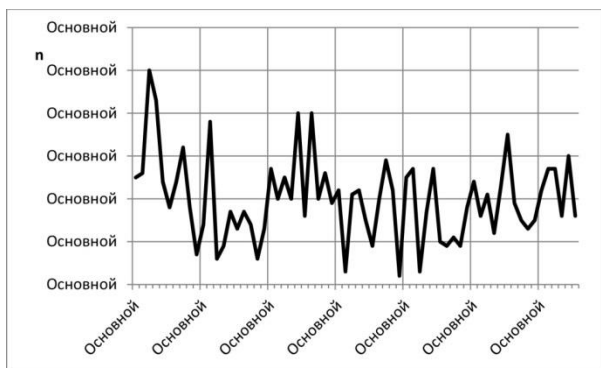
Это подтверждает и табл. 4, в которой приведены средние значения СПД в октябре, ноябре и декабре блокирующих ЭЦМ, для различных секторов Северного полушария, соответствующие последним периодам третьей циркуляционной эпохи.



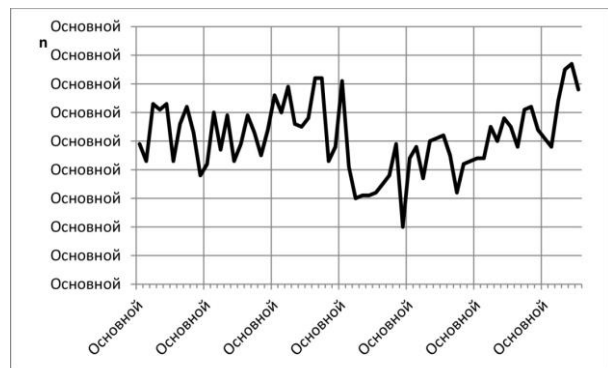
а



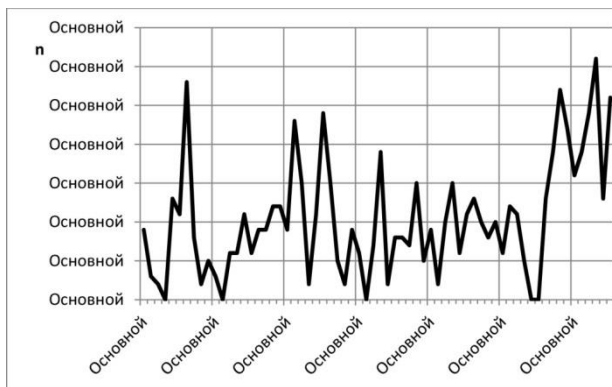
б



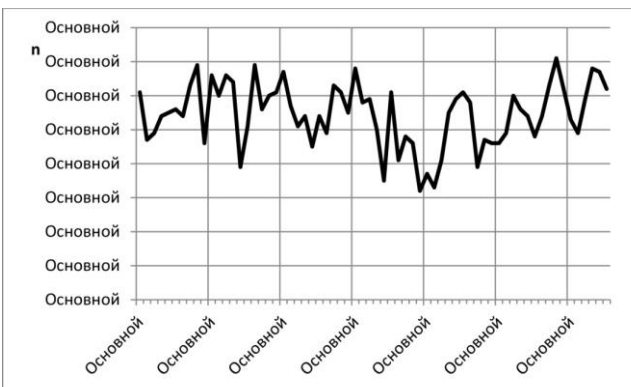
в



г



д



е

Рис. 5. Зависимости от времени СПД за зимний сезон блокирующих ЭЦМ для секторов: *а* – Атлантический; *б* – Европейский; *в* – Сибирский; *г* – Дальневосточный; *д* – Тихоокеанский; *е* – Американский

Таблица 4

Средние значения СПД в октябре-декабре блокирующих ЭЦМ для различных секторов Северного полушария, которые соответствуют двум последним периодам третьей циркуляционной эпохи

Октябрь						
Период времени	Атлантиче-ский	Европейский	Сибирский	Дальнево-сточный	Тихоокеан-ский	Американ-ский
1981–1997	6,3	4,6	3,6	6,6	5	8,9
1998–2015	13	2,3	3,8	14,3	9,3	16,7
Ноябрь						
1981–1997	6,6	4,1	3,1	7,5	4,8	10,7
1998–2015	10,5	2,4	5,9	14,1	6,5	14,9
Декабрь						
1981–1997	4,5	4,7	4,7	12,7	4,4	16,2
1998–2015	8,3	1,4	7,8	20	3,6	20,2
Всего за октябрь–декабрь						
1981–1997	17,4	13,5	11,4	26,8	14,2	35,7
1998–2015	31,8	6,2	17,6	48,4	19,3	51,8

Из табл. 4 видно, что значения СПД ЭЦМ, которые являются блокирующими для Дальневосточного и Американского секторов Северного полушария в октябре, ноябре и декабре существенно превосходили значения этих характеристик для прочих его секторов, как в третьем периоде третьей циркуляционной эпохи (1981–1998 гг.), так и в четвертом ее периоде (1998–2015 гг.). При этом в четвертом периоде они значительно больше, чем в третьем, а максимальные их значения соответствуют декабрю. В тоже время в Тихоокеанском и Атлантическом секторе от октября к декабрю значения СПД блокирующих ЭЦМ уменьшаются, хотя в четвертом периоде они также больше, чем в третьем.

В Сибирском секторе максимальное значение СПД блокирующих ЭЦМ приходится на декабрь, а в третьем периоде они в любые месяцы меньше, чем в четвертом. Данные особенности свидетельствуют об увеличении объемов арктического воздуха, поступающих в октябре-декабре в упомянутые сектора Арктического полушария, что не может не оказывать на них все более заметного охлаждающего влияния.

Лишь в Европейском секторе в четвертом периоде значения СПД блокирующих ЭЦМ меньше, чем в третьем, что может являться значимой причиной происходящего здесь в осенние месяцы повышения среднемесячных температур.

Рассмотренные закономерности во многом объясняют наиболее существенные факты, которые установлены в данной работе:

Один из них состоит в том, что в летние месяцы значимое влияние на изменения ледовитости каких-либо секторов Арктики оказывают блокирующие процессы, которые развиваются лишь в Атлантическом и

Европейском секторе Северного полушария. В зимние месяцы – существенными являются блокирующие процессы в его Сибирском, Дальневосточном и Американском секторе. Данный факт подтверждает адекватность выводов Б. Л. Дзерdzeевского и ученых его школы о наличии соответствия между расположением Арктического антициклона и направлениями, по которым в соответствующие периоды развиваются арктические блокинги.

Второй установленный факт состоит том, что изменения ледовитости арктических акваторий наиболее значимо и устойчиво связаны с вариациями СПД ЭЦМ, которые являются блокирующими для упомянутых секторов Северного полушария, при условии, что эти акватории относятся к другим секторам Арктики. При этом как в летние, так и в зимние месяцы подобными арктическими секторами являются в основном Американский и Тихоокеанский. Данный факт подтверждает адекватность выдвинутой гипотезы и свидетельствует о том, что в секторе Арктики, из которого развивается блокинг, влияние ветра на изменения его ледовитости значимым не является. Существенным это влияние является в ее секторах, где значимы проявления циклонической деятельности. В них располагаются районы, где ледовитость снижается тем больше, чем больше СПД ЭЦМ, которые являются блокирующими в других секторах Северного полушария, а значит больше и продолжительность отрезков времени, когда Арктический антициклон смещен в сторону этих других секторов.

В летние месяцы центр Арктического антициклона в современный период все чаще оказывается смещен в сторону Гренландии, которая расположена в Атлантическом секторе Северного полушария. Поэтому, как видно из рисунка 5А и табл. 2, в летние

месяцы блокирующие процессов все чаще развиваются именно в этом секторе, а вариации СПД ЭЦМ, которые в нем являются блокирующими, значимого влияния на изменения его ледовитости, не оказывают. В тоже время влияние этих вариаций наиболее ощутимо проявляется в Американском секторе, где летом блокинги развиваются гораздо реже.

В Европейском секторе Арктики подобное соответствие летом нарушается, по-видимому, вследствие весьма существенного влияния на ледовитость его акваторий теплых Атлантических вод, которые доставляет в него Норвежское течение.

В зимние месяцы полюс холода Северного полушария располагается в Якутии, очень холодно и в Гренландии. Поэтому Арктический антициклон зимой господствует в Дальневосточном и Американском секторах. В последние десятилетия СПД ЭЦМ, которые в них являются блокирующими, устойчиво возрастают, а влияние их вариаций на ледовитость расположенных в них акваторий не проявляется.

В Атлантическом, Европейском и Тихоокеанском секторе влияние Арктического антициклона зимой проявляется слабее, поскольку здесь гораздо выше активность циклонов. Поэтому в зимние месяцы арктические блокинги в упомянутых секторах развиваются реже (это видно из рисунка 6), а изменения ледовитости их акваторий связаны с вариациями СПД ЭЦМ, которые являются блокирующими в Дальневосточном и Американском секторах (что следует из табл. 3).

В табл. 5 приведены рассчитанные за четвертый период третьей циркуляционной эпохи средние значения СПД ЭЦМ, которые являются блокирующими для Атлантического сектора Северного полушария в летние месяцы.

Из табл. 5 видно, что в современном периоде наибольшие значения СПД блокирующих ЭЦМ для Атлантического сектора Северного полушария в летние месяцы соответствуют ЭЦМ 9А, 12А, 12БЛ и 3.

Для установления причин выявленного соответствия целесообразно рассмотреть динамические схемы ЭЦМ, которым соответствуют наибольшие значения СПД в изучаемые месяцы. Динамические схемы ЭЦМ 9А, 12А, 12БЛ и 3, согласно [18], показаны на рис. 6.

Из рис. 6, а следует, что в период действия ЭЦМ 9а вхождение южных циклонов в Арктику наблюдаются в ее Американском секторе. В Сибирском, Дальневосточном секторах циклоны из Европейского сектора двигаются по зональным траекториям, преимущественно над Евразией. Следовательно, именно в этом секторе влияние Арктического антициклона является наиболее ослабленным.

Рис. 6, б свидетельствует о том, что в период действия ЭЦМ 12а вхождения южных циклонов происходят не только в Американском секторе, но также в Атлантическом, Сибирском и Тихоокеанском секторе.

Как видно из рис. 6, в при действии ЭЦМ12бл циклоническая активность повышена в Американском, Европейском, а также Дальневосточном секторе.

Рис. 6, г указывает на то, что во время действия ЭЦМ 3 активность циклонов повышена лишь в Американском секторе Арктики.

Сопоставление рис. 6, а-г показывает, что лишь в Американском секторе вхождения южных циклонов происходят в периоды действия всех рассматриваемых ЭЦМ. Последнее позволяет связывать с этим фактом выявленную закономерность, характерную для летних месяцев: количество районов Арктики, где межгодовые изменения их ледовитости значимо и устойчиво связаны с вариациями СПД данных ЭЦМ, является наибольшим именно в ее Американском секторе. В табл. 6 представлены соответствующие четвертому периоду третьей циркуляционной эпохи средние значения СПД ЭЦМ, которые являются блокирующими для Дальневосточного и Американского сектора Северного полушария в осенне-зимние месяцы. Из табл. 6 следует, что в период с 1998 по 2015 гг. наибольшие значения СПД блокирующих ЭЦМ для Дальневосточного сектора Северного полушария в осенне-зимние месяцы соответствуют ЭЦМ 11а, 11в, 12а, 12бз и 12г.

Для Американского сектора это ЭЦМ 11а, 11в, 12а, 12бз, 12вз и 12 г.

Как видим, перечни наиболее влиятельных в обоих рассматриваемых секторах ЭЦМ практически совпадают, а ЭЦМ12а относится к таким процессам, как летом, так и в осенне-зимний период. Для выявления причин, которые обуславливают установленную закономерность, рассмотрим динамические схемы ЭЦМ [18], наиболее влиятельных в изучаемые месяцы современного периода.

На рис. 7 представлены динамические схемы, которые соответствуют ЭЦМ 11а, 11в, 12бз, 12вз и 12 г.

Из рис. 7, а видно, что в период действия ЭЦМ 11а, вхождения южных циклонов в Арктику осуществляются в Тихоокеанском и Европейском секторах Северного полушария.

Рис. 7, б показывает, что во время функционирования ЭЦМ 11в, их вхождения наблюдаются в Тихоокеанском, Атлантическом и Европейском секторах.

Рис. 7, в указывает на то, что для ЭЦМ 12бз характерны вхождения южных циклонов в Тихоокеанском, Европейском и восточной части Американского сектора Арктики.

Как следует из рис. 7, г, что ЭЦМ12вз свойственны вхождения южных циклонов через Тихоокеанский, Сибирский, Атлантический сектор.

Рис. 7, д свидетельствует о том, что в период господства ЭЦМ12г, вхождения циклонов наблюдаются в Тихоокеанском, Американском, Атлантическом и Европейском секторе Арктики.

Сопоставляя рис. 7, а-д нетрудно заметить, что в периоды действия всех изучаемых ЭЦМ наблюдаются вхождения южных циклонов в Тихоокеанском секторе Арктики. Последнее свидетельствует о том, что выявленная для осенне-зимних месяцев закономерность: количество районов Арктики, где межгодовые изменения их ледовитости значимо и устойчиво связаны с вариациями СПД данных ЭЦМ, является наибольшим в ее Тихоокеанском секторе, может объясняться наблюдающейся в нем повышенной активностью циклонов. Аналогичным, вероятно, может быть объяснение наличия такой же закономерности и для акваторий Американского сектора.

Таблица 5

Средние значения СПД блокирующих ЭЦМ для Атлантического сектора Северного полушария в летние месяцы, которые соответствуют периоду 1998-2015 гг..

Атлантический сектор				
ЭЦМ	Май	Июнь	Июль	август
3	1,83	2	2,28	2
9а	4,44	4,83	4,28	3,22
8а	1,56	0,33	0,83	0,5
8гз	0,17	0	0	0,22
8бл	0,28	0,89	0,67	0,44
8гл	0,39	0	0,56	0,61
12бз	0	0	0	0
12а	7,50	3,39	2,5	4,83
12бл	2,94	1,72	1,17	3

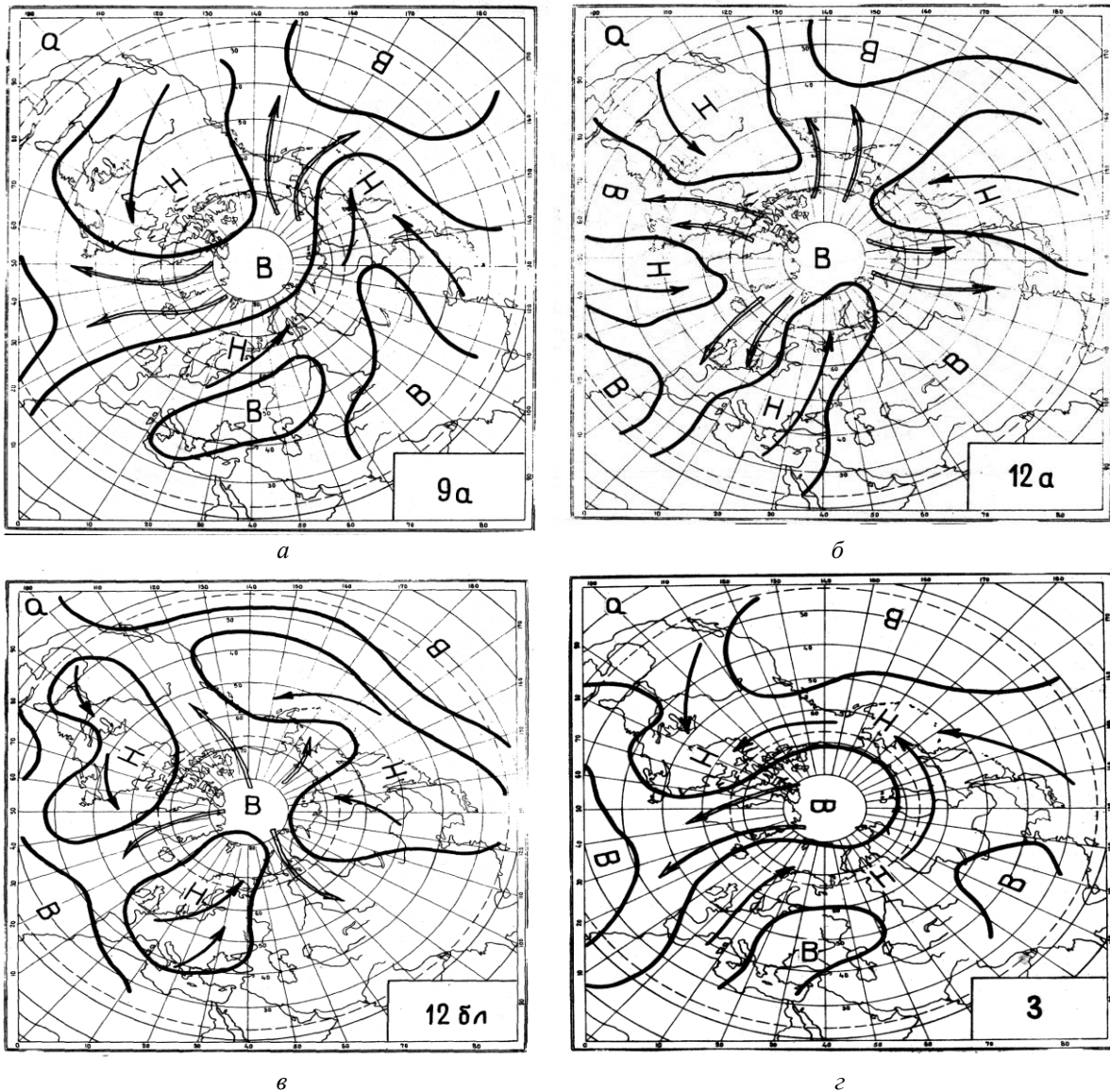


Рис. 6. Динамические схемы блокирующих ЭЦМ для Атлантического сектора Северного полушария, средняя продолжительность действия которых в летние месяцы 1998–2015 гг. была максимальной: а – 9а; б – 12а; в – 12бл; г – 3

Таблица 6

Средние значения за 1998-2015 гг. СПД в октябре-январе блокирующих ЭЦМ для
Дальневосточного и Американского сектора Северного полушария

Дальневосточный сектор				
ЭЦМ	Октябрь	ноябрь	Декабрь	январь
5а	0	0,39	1	0,94
5б	0	0,5	0,44	0,28
5в	0,11	0,06	0,28	0,44
5г	0,28	0,28	0,22	0,22
8бз	0,39	0,83	0	0
11а	0,61	1,39	4,94	2,33
11б	0,67	0,22	0,78	1,5
11в	0,22	0,83	2,28	1,44
11г	0,83	0,67	0,72	1,83
12а	6,56	4,11	1,67	2,06
12бз	2,11	2,72	4,67	2,83
12вз	0,78	1,17	0	1,22
12вл	0	0,11	0	0
12г	1,44	1,28	1,72	2,39
Американский сектор				
ЭЦМ	Октябрь	ноябрь	Декабрь	январь
7аз	0,61	1	0,33	0,39
7бз	0,5	0,17	0,39	0,67
8а	1,28	1,11	1,17	0,33
10а	0,56	0,61	0,22	0,89
10б	0,22	0	0	0
11а	0,61	1,39	4,94	2,33
11б	0,67	0,22	0,78	1,5
11в	0,22	0,83	2,28	1,44
11г	0,83	0,67	0,72	1,83
12а	6,56	4,11	1,67	2,06
12бз	2,11	2,72	4,67	2,83
12вз	1,06	0,78	1,17	1,56
12вл	0,06	0	0,11	0
12г	1,44	1,28	1,72	2,39

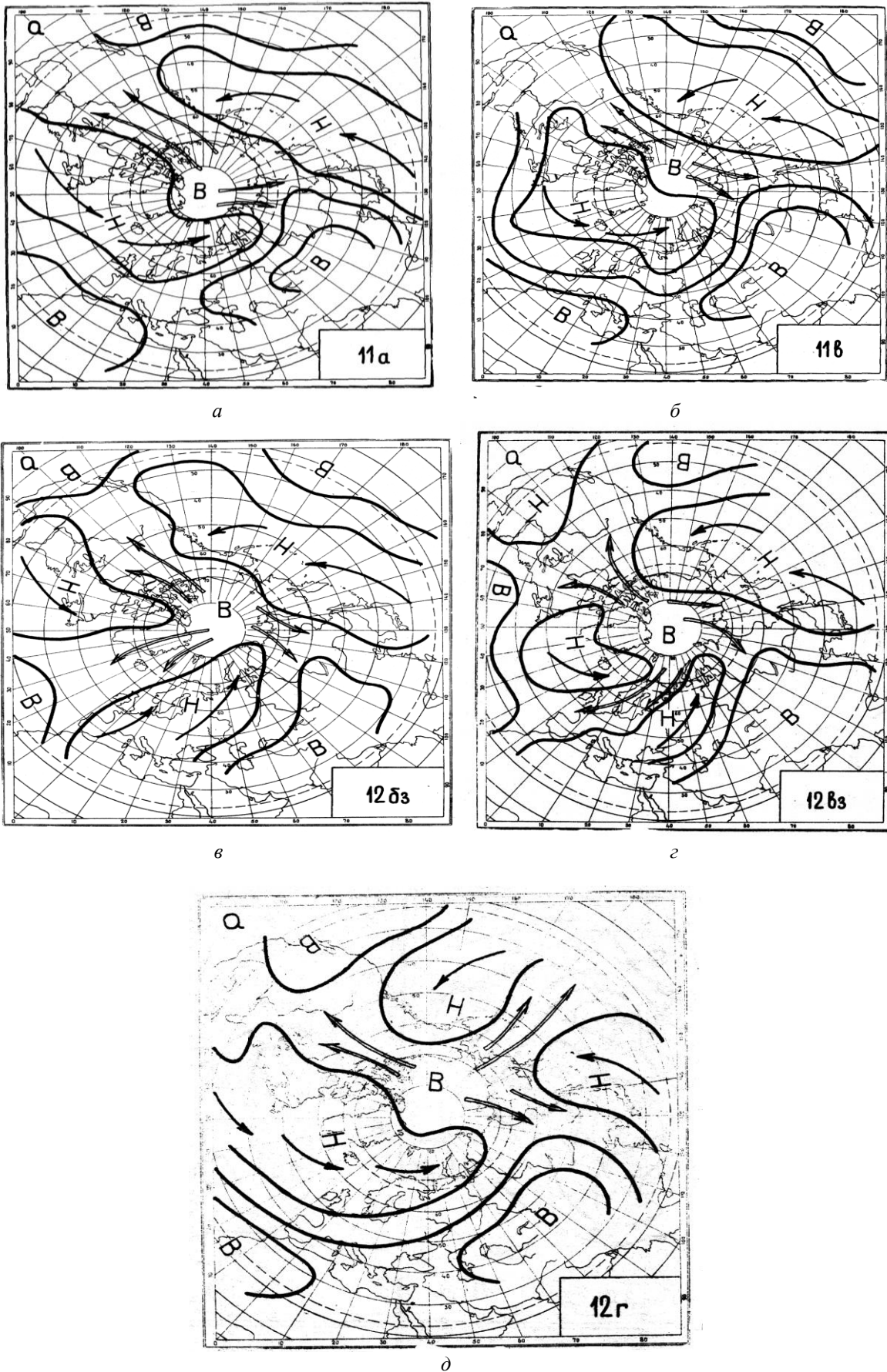


Рис. 7. Динамические схемы блокирующих ЭЦМ для Дальневосточного и Американского сектора Северного полушария, средняя продолжительность действия которых в осенне-зимние месяцы 1998–2015 гг. была максимальной (кроме ЭЦМ 12а): а – 11а; б – 11в; в – 12бз; г – 12вз; д – 12г

6. Выводы

Таким образом, установлено, что выдвинутая гипотеза является адекватной.

1. Выявленные закономерности подтверждают справедливость выводов Б. Л. Дзердзеевского и ученых его школы [11–19, 24,25], согласно которым значимым фактором межгодовых изменений ледовитости различных секторов Арктики являются вариации расположения Арктического антициклона. В секторах Северного полушария, в сторону которых он в рассматриваемый период времени смещен, существенно выше СПД ЭЦМ, являющихся блокирующими. При этом ледовитость аналогичных секторов Арктики максимальна и от вариаций СПД таких ЭЦМ не зависит. Наиболее существенно зависит от них ледовитость тех секторов Арктики, в которых влияние Арктического антициклона на поле скорости ветра является минимальным, поскольку в этих секторах повышена активность циклонических процессов.

2. Секторами Северного полушария, где в летние месяцы изменения СПД блокирующих ЭЦМ наиболее существенно влияют на запаздывающие по отношению к ним на 1–2 месяца вариации ледовитости акваторий Арктики, являются Атлантический и Европейский. В зимние месяцы подобный вывод справедлив для Дальневосточного, Американского и отчасти Сибирского секторов. Связи между указанными процессами значимы и статистически устойчивы, а их корреляция отрицательна.

3. Сектором Арктики, где изменения ледовитости наибольшего количества его районов устойчиво и значимо связаны с вариациями СПД ЭЦМ, которые в летние и осенне-зимние месяцы являются блокирующими для Американского сектора Северного полушария является Тихоокеанский. В зимние месяцы аналогичная особенность проявляется и в случае, если блокирующие ЭЦМ соответствует Дальневосточному сектору.

4. В упомянутых секторах выявленные районы располагаются зонально. Зоны, в которых локализованы такие районы, занимают наиболее северное положение, если Арктический антициклон смещен в сторону Сибирского сектора Северного полушария. Они смещены к югу и включают важнейшие транспортные коммуникации Арктики, если Арктический антициклон смещен в сторону Дальневосточного и Американского секторов Северного полушария.

Литература

1. Фролов, И. Е. Климатические изменения ледовых условий в арктических морях Евразийского шельфа [Текст] / И. Е. Фролов, З. М. Гудкович, В. П. Карклин, Е. Г. Ковалев, В. М. Смоляничий // Проблемы Арктики и Антарктики. – 2007. – Вып. 75. – С. 149–160.
 2. Белинский, Н. А. Использование некоторых особенностей атмосферных для долгосрочных прогнозов [Текст] / Н. А. Белинский. – Л.: Гидрометеиздат, 1957. – 203 с.
 3. Айвазян, С. А. Прикладная статистика и основы эконометрики [Текст] / С. А. Айвазян, В. С. Мхитарян. – М.: Юнити, 1998. – 1022 с.
 4. Зубов, Н. Н. Морские воды и льды [Текст] / Н. Н. Зубов. – М.: Гидрометиздат, 1938. – 454 с.

5. Берг, Л. С. Уровень Каспийского моря и условия плавания в Арктике [Текст] / Л. С. Берг // Климат и жизнь. – М.:ОГИЗ, 1947. – С. 90–95.
 6. Визе, В. Ю. Основы долгосрочных ледовых прогнозов для арктических морей [Текст] / В. Ю. Визе // Труды ААНИИ. – 1944. – Т. 190. – С. 273.
 7. Шулейкин, В. В. Физика моря [Текст] / В. В. Шулейкин. – М.: Наука, 1968. – 1083 с.
 8. Абузьяров, З. К. Морские гидрологические информации и прогнозы [Текст] / З. К. Абузьяров, Ю. И. Шамраев. – Л.: Гидрометеиздат, 1974. – 218 с.
 9. Алексеев Г. В. Исследования изменений климата Арктики в XX столетии [Текст] / Г. В. Алексеев // Труды ААНИИ. – 2003. – Т. 446. – С. 6–21.
 10. Думанская, И. О. Анализ связи ледовых характеристик морей европейской части России с макроциркуляционными атмосферными процессами [Текст] / И. О. Думанская, А. В. Федоренко // Метеорология и гидрология. – 2008. – № 12. – С. 82–94.
 11. Дзердзеевский, Б. Л. Циркуляционные схемы в тропосфере Центральной Арктики [Текст] / Б. Л. Дзердзеевский. – М.–Л., Изд-во АН СССР, 1945.
 12. Савина, С. С. Динамика атмосферных процессов северного полушария в XX столетии [Текст] / С. С. Савина, Л. В. Хмелевская // Междувед. Геофиз. комитет при Президиуме АН СССР. Материалы метеорологических исследований. – 1984. – № 9. – С. 146.
 13. Дзердзеевский, Б. Л. Флуктуации климата и проблема сверхдолгосрочного прогноза [Текст] / Б. Л. Дзердзеевский // Известия АН СССР. Серия география. – 1968. – № 5. – С. 43–55.
 14. Дзердзеевский, Б. Л. (). Типизация циркуляционных механизмов в северном полушарии и характеристика синоптических сезонов [Текст] / Б. Л. Дзердзеевский, В. М. Курганская, З. М. Витвицкая // Тр. н.-и. учреждений Гл. упр. гидрометеорол. службы при Совете Министров СССР. Сер. 2. Синоптическая метеорология. – 1946. – Вып. 21. – С. 80.
 15. Дзердзеевский, Б. Л. Сравнение главнейших закономерностей циркуляции атмосферы над Южным и Северным полушариями [Текст] / Б. Л. Дзердзеевский // Информ. бюл. Советской антарктической экспедиции. – 1967. – № 65. – С. 58–68.
 16. Дзердзеевский, Б. Л. Сопоставление характеристик атмосферной циркуляции над северным полушарием и его секторами [Текст] / Б. Л. Дзердзеевский. – М.: Материалы метеорологических исследований, 1970. – С. 7–14.
 17. Дзердзеевский, Б. Л. Типовые схемы общей циркуляции атмосферы и индекс циркуляции [Текст] / Б. Л. Дзердзеевский, А. С. Монин // Изв. АН СССР, серия геофиз. – 1954. – № 6. – С. 562–574.
 18. Кононова, Н. К. Классификация циркуляционных механизмов Северного полушария по Б. Л. Дзердзеевскому [Текст] / Н. К. Кононова. – М. ИГ РАН. Воентехиниздат, 2009. – 372 с.
 19. Zakharov, V. G. Relationship of dynamics of fields of ice drift in the arctic basin and atmospheric circulation northern hemisphere (summer season) [Text] / V. G. Zakharov, N. K. Kononova // The complex systems, Interdisciplinary Scientific Journal. – 2015. – Vol. 1, Issue 2. – P. 45–57.
 20. NOAA Optimum Interpolation (OI) Sea Surface Temperature (SST) V2 [Electronic resources]. – Available at: <http://www.esrl.noaa.gov/psd/data/gridded/data.noaa.oisst.v2.html/>
 21. Колебания циркуляции атмосферы Северного полушария в XX – начале XXI века [Электронный ресурс] / Режим доступа: <http://www.atmospheric-circulation.ru>
 22. Наставление по службе прогнозов. Раздел 3, часть. III. Служба морских гидрологических прогнозов. Л.: Гидрометеиздат, 1982, 143 с.

23. Скворцов, А. В. Триангуляция Делоне и ее применение [Текст] / А. В. Скворцов. – Томск: Изд-во Томского государственного университета, 2002. – 128 с.

24. Дзердзеевский, Б. Л. Циркуляционные механизмы в атмосфере Северного полушария в XX столетии [Текст] / Б. Л. Дзердзеевский. – Материалы метеорологических исследований. изд. ИГ АН СССР и Междувед. Геофиз. Комитета при Президиуме АН СССР, 1968. – 240 с.

25. Кононова, Н. К. Особенности циркуляции атмосферы Северного полушария в конце XX – начале XXI века и их отражение в климате [Текст] / Н. К. Кононова // Сложные системы. – 2014. – № 2 (11). – С. 11–36.

26. Enfield, D. B. The Atlantic multidecadal oscillation and its relation to rainfall and river flows in the continental U.S. [Text] / D. B. Enfield, A. M. Mestas, P. J. Trimble // Geophysical Research Letters. – 2001. – Vol. 28, Issue 10. – P. 2077–2080. doi: 10.1029/2000gl012745

27. Climate Change 2007 – Impacts, adaptation and vulnerability. Contribution of Working Group II to Assessment Report Four of the Intergovernmental Planes of Climate Change (IPCC) [Text]. – Cambridge University Press, 2007. – 973 p.

References

1. Frolov, I. E., Gudkovich, Z. M., Karklin, V. P., Kovalev, E. G., Smolyanickij, V. M. (2007). Klimaticheskie izmeneniya ledovyh uslovij v arkticheskikh moryah Evrazijskogo shelfa. Problemy Arktiki i Antarktiki, 75, 149–160.

2. Belinskij, N. A. (1957). Ispol'zovanie nekotoryh osobennostej atmosferyh dlya dolgosrochnykh prognozov. Leningrad: Gidrometeoizdat, 203

3. Ajvazyan, S. A., Mhitaryan, V. S. (1998). Prikladnaya statistika i osnovy ekonometriki. Moscow: Yuniti, 1022.

4. Zubov, N. N. (1938). Morskie vody i l'dy. Moscow: Gidrometizdat, 454.

5. Berg, L. S. (1947). The level of the Caspian Sea and sailing conditions in the Arctic. Climate and life - OGIZ - M, 90–95.

6. Vize, V. Yu. (1944). Osnovy dolgosrochnykh ledovyh prognozov dlya arkticheskikh morej. Trudy AANII, 190, 273.

7. Shulejkin, V. V. (1968). Fizika morya. Moscow: Nauka, 1083.

8. Abuzyarov, Z. K., Shamraev, Yu. I. (1974). Morskie gidrologicheskie informacii i prognozy. Leningrad: Gidrometeoizdat, 218.

9. Alekseev, G. V. (2003). Issledovaniya izmenenij klimata Arktiki v HH stoletii. Trudy AANII, 446, 6–21.

10. Dumanskaya, I. O., Fedorenko, A. V. (2008). Analiz svyazi ledovyh harakteristik morej evropejskoj chasti Rossii s makrocirkulyacionnymi atmosferynymi processami. Meteorologiya i gidrologiya, 12, 82–94.

11. Dzerdzeevskij, B. L. (1945). Cirkulyacionnye shemy v troposphere Cntralnoy Arktiki. M.-L., Izdatelstvo AN SSSR.

12. Savina, S. S., Hmelevskaya, L. V. (1984). Dynamika atmosferyh protcessov severnogo polushariya v XX stoletii.

Mejduved. Geofiz. Komitet pri Prezidiume AN SSSR. Materialy meteorologicheskikh issledovaniy, 9, 146.

13. Dzerdzeevskij, B. L. (1968). Fluktuatzii klimata I problema sverhdolgosrochnogo prognoza. Izvestiya AN SSSR. Seriya Geografiya, 5, 43–55.

14. Dzerdzeevskij, B. L., Kurganskaya, V. M., Vitivickaya, Z. M. (1946). Tipizaciya cirkulyacionnyh mehanizmov v severnom polusharii i harakteristika sinopticheskikh sezonov. Tr. N.-i. uchrezhdenij Gl. upr. Gidrometeorol. Sluzhby pri Sovete Ministrov SSSR. Ser.2 Sinopticheskaya meteorologiya, 21, 80.

15. Dzerdzeevskij, B. L. (1967). Sravnenie glavneishih zakonovnostej cirkulyacii atmosfery nad Iujnim i Severnym polushariyami. Inform. biul. Sovetskoj antarcticheskoy ekspedicii, 65, 58–68.

16. Dzerdzeevskij, B. L. (1970). Sopostavlenie harakteristik atmocfernoy cirkulyacii nad severnym polushariem I ego sektoramy. Materialy meteorologicheskikh issledovaniy, 7–14

17. Dzerdzeevskij, B. L., Monin, A. C. (1954). Tipovye chemy obchej cirkulyacii atmosfery I indeks cirkulyacii. Izv. AN SSSR. Seriya geofizika, 6, 562–574.

18. Kononova, N. K. (2009). Klassifikaciya cirkulyacionnyh mehanizmov Severnogo polushariya po B. L. Dzerdzeevskomu. Moscow: IG RAN, 370.

19. Zakharov, V. G., Kononova, N. K. (2015). Relationship of dynamics of fields of ice drift in the arctic basin and atmospheric circulation northern hemisphere (summer season). The complex systems, Interdisciplinary Scientific Journal, 1 (2), 45–57.

20. NOAA Optimum Interpolation (OI) Sea Surface Temperature (SST) V2. Available at: <http://www.esrl.noaa.gov/psd/data/gridded/data.noaa.oisst.v2.html/>

21. Baza dannyh ob izmeneniyah v 1899–2011gg. summarnykh prodolzhitel'nostej periodov, v techenie kotorykh ECM razlichnykh grupp preobladali v severnom polusharii. Available at: <http://www.Atmospheric-circulation.ru>

22. Nastavlenie po sluzhbe prognozov. Razdel 3, chast' III. Sluzhba morskikh gidrologicheskikh prognozov (1982). Leningrad: Gidrometeoizdat, 143.

23. Skvorcov, A. V. (2002). Triangulyaciya Delone i ee primenenie. Tomsk: Izd-vo Tomskogo gosudarstvennogo universiteta, 128.

24. Dzerdzeevskij, B. L. (1968). Cirkulyacionnye mehanizmy v atmosfere Severnogo polushariya v HH stoletii. Materialy meteorologicheskikh issledovaniy, 240.

25. Kononova, N. K. (2014). Osobennosti cirkulyacii atmosfery Severnogo polushariya v konce HH – nachale HHI veka i ih otrazhenie v klimate. Slozhnye sistemy, 2 (11), 11–36.

26. Enfield, D. B., Mestas-Nuñez, A. M., Trimble, P. J. (2001). The Atlantic Multidecadal Oscillation and its relation to rainfall and river flows in the continental U.S. Geophysical Research Letters, 28 (10), 2077–2080. doi: 10.1029/2000gl012745

27. Climate Change 2007 – Impacts, adaptation and vulnerability. Contribution of Working Group II to Assessment Report Four of the Intergovernmental Planes of Climate Change (IPCC) (2007). Cambridge University Press, 973.

Дата надходження рукопису 15.06.2016

Холопцев Александр Вадимович, доктор географических наук, профессор, ведущий научный сотрудник, Севастопольское отделение Государственного океанографического института имени Н. Н. Зубова
E-mail: kholoptsev@mail.ru

Кононова Нина Константиновна, кандидат географических наук, старший научный сотрудник, Институт географии Российской Академии наук, пер. Старомонетный, 29, г. Москва, Россия, 119017
E-mail: Ninakononova@mail.ru