УДК 551.326.1(481–922.1) Поступила 15 июля 2016 г.

СЕЗОННЫЕ И МНОГОЛЕТНИЕ ИЗМЕНЕНИЯ ЛЕДОВИТОСТИ В РАЙОНЕ АРХИПЕЛАГА ШПИЦБЕРГЕН ЗА ПЕРИОД 1979–2015 гг.

инженер Д.И. ТИСЛЕНКО[1], канд. геогр. наук Б.В. ИВАНОВ[1,2], канд. геогр. наук. В.М. СМОЛЯНИЦКИЙ[1], канд. геогр. наук П.Н. СВЯЩЕННИКОВ[2,1], д-р философии К. ИСАКСЕН[3], д-р философии Х. ГЬЕТЛЕН[3]

[1] — ГНЦ РФ Арктический и антарктический научно-исследовательский институт, Санкт-Петербург, e-mail: daniil.tislenko@gmail.com, b_ivanov@aari.ru, vms@aari.ru

[2] — Санкт-Петербургский государственный университет, e-mail: svyashchennikov@mail.ru

[3] — Норвежский Метеорологический институт, г. Тромсё, Норвегия, e-mail: ketili@met.no, herdismg@met.no

Выполнен анализ ледовитости в водах, окружающих архипелаг Шпицберген (район пролива Фрама, «Китовая бухта», прилегающие акватории Баренцева, Гренландского и Норвежского морей). Использованы открытые российские и зарубежные источники ледовых данных (спутниковые наблюдения), собранные в ГНЦ РФ ААНИИ. Исследованы сезонные изменения, рассчитаны линейные тренды многолетней изменчивости ледовитости и площади морского ледяного покрова за период 1979–2015 гг.

Ключевые слова: Шпицберген, изменения климата, ледовые условия.

ВВЕДЕНИЕ

Изучению климата арх. Шпицберген посвящено большое количество отечественных и зарубежных научных публикаций. В работах (Священников и др., 2010, 2011; Иванов и др., 2012; Тисленко, Иванов, 2015; Marsz, Styszyńska, 2013; Nordli et al., 2014) рассмотрены изменения ряда основных компонент климатической системы на протяжении XX и первого десятилетия XXI в. Так, в работе (Nordli et al., 2014) представлен анализ временной изменчивости приземной температуры воздуха (ПТВ) за период 1898–2012 гг., который позволяет сделать заключение, что за указанный интервал времени в терминах линейного тренда наблюдалось повышение ПТВ на 2,6 градуса. При этом период 2005–2012 гг. оценивается как наиболее теплый за все время инструментальных наблюдений. В работе (Иванов, Журавский, 2010) выполнен анализ долгопериодной изменчивости ряда основных ледовых характеристик для периода 1973–2008 гг., выявивший общее смягчение ледовой обстановки на примере залива Грён-фьорд. При этом отмечается существенная межгодовая изменчивость. Так, если в зимние сезоны 2005–2007 гг. устойчивый ледяной покров (припай) не образовывался вовсе, то затем наблюдалось увеличение средней и максимальной толщины припая вплоть до весны 2011 г., однако в 2011–2014 гг. в заливе Грён-фьорд устойчивый припай

снова отсутствовал. Исследования, выполненные в работах (Тисленко, Иванов, 2015; Павлов и др., 2010; Pavlov et al., 2013), посвящены анализу долгопериодной изменчивости температуры промежуточных трансформированных атлантических вод (ТАВ), проникающих во фьорды острова Западный Шпицберген. Рассчитанные оценки долгопериодной изменчивости ТАВ во фьордах совпадают с результатами представленными в известной работе (Polyakov et al., 2004). В целом же устойчивая тенденция к смягчению климата в районе арх. Шпицберген соответствует хорошо известной концепции «быстрого потепления» Арктики (Алексеев, 2014, 2015; Polyakov et al., 2002; Bekryaev et al., 2010).

В последние годы появился ряд серьезных исследований (Фролов и др., 2010; Haas et al., 2008; Frolov et al., 2009; Renner et al., 2014), посвященных проблемам многолетних изменений площади и толщины ледяного покрова как в районе арх. Шпицберген (пролив Фрама), так и в Арктике в целом. Например, для района Северного полюса за период 2001–2007 гг. наблюдалось уменьшение средней толщины ледяного покрова в августе–сентябре на 44 %, а в качестве причины предлагалось рассмотреть повышение значений ПТВ (Haas et al., 2008). Для района пролива Фрама уменьшение толщины льда за 2003–2012 гг. составило более 50 %, а рассчитанный для этого периода тренд составил 0,3 м/год (Renner et al., 2014). Однако детальных исследований, посвященных изучению закономерностей и особенностей сезонного и многолетнего ледового режима вод, омывающих арх. Шпицберген, до настоящего времени выполнено не было.

В последние годы в лаборатории режимных пособий ААНИИ собраны и обобщены уникальные данные о ледовых характеристиках за весь доступный период визуальных и инструментальных наблюдений (Фролов и др., 2010; Frolov et al., 2009). Период с 1979 г. обеспечен высококачественными однородными рядами с высокой степенью пространственного и временного разрешения, полученными по данным спутниковых наблюдений. Это обстоятельство позволило нам выполнить количественную оценку пространственной и временной изменчивости ледовых условий в водах, омывающих арх. Шпицберген, для периода 1979–2015 гг.

ИСПОЛЬЗОВАННЫЕ ДАННЫЕ

Для получения количественных оценок использовались следующие открытые источники информации, представленные в «Глобальном банке цифровых данных по морскому льду» (Фролов и др., 2010; Frolov et al., 2009):

– региональные 7–30-дневные ледовые карты из архива Мирового центра данных по морскому льду ААНИИ (Гренландское, Баренцево моря за период 1933–2013 гг. (http://wdc.aari.ru);

– ежедневные данные об оценках общей сплоченности по алгоритму NASATEAM на основе данных SSMR-SSM/I-SSMIS на сетке 25×25 км за период 1978–2015 гг. из архива NSIDC (ftp://sidads.colorado.edu/DATASETS/nsidc0051_gsfc_nasateam_seaice/final-gsfc/).

Исследуемые нами готовые ряды данных являются продуктом, позволяющим оценить сезонную и многолетнюю изменчивость ледовитости и площади ледяного покрова в ряде квазиоднородных районов, примыкающих к арх. Шпицберген. Выделение районов выполнено на основе экспертного анализа значений повторяемости встречи со льдом в зимний (ноябрь–май) и летний (июнь–сентябрь) сезоны, а также в месяцы максимального (март) и минимального (сентябрь) развития ледяного покрова

на основе ледового картирования за период 1933–2013 гг. Всего выделено 6 районов (см. рис. 1 цвет. вклейки), имеющих следующую общегеографическую специфику (названия условны): *1* — восточный Шпицберген, *2* — Баренцевоморский, *3* — южный Шпицберген, *4* — западный Шпицберген, *5* — пролив Фрама, *6* — северный Шпицберген («Китовая бухта»). Оценка качества выделения районов подтверждена на основе анализа реализаций сезонных изменений ледовитости по данным SSMR-SSM/I-SSMIS, показавшим значимые различия в сезонной динамике, абсолютных величинах ледовитости и ее многолетних трендах.

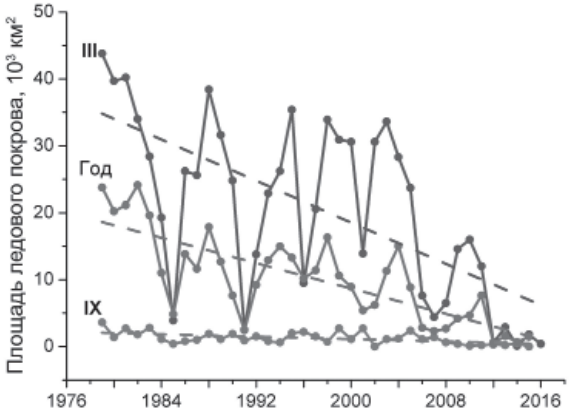

Рис. 2. Временная изменчивость площади ледяного покрова для района № 4 за период с 1979 по 2015 г. (III — март; IX — сентябрь).

РЕЗУЛЬТАТЫ

В качестве примера использования данных «Глобального банка….» на рис. 2 представлен график временной изменчивости среднегодовой площади морского льда для района, расположенного у западного побережья арх. Шпицберген (пролив Фрама, район 4).

Как следует из приведенных графиков, несмотря на высокую межгодовую изменчивость в зимний период (март), наблюдается значительное уменьшение зимней и среднегодовой площади ледяного покрова для всего рассматриваемого периода. В терминах линейного тренда это сокращение (среднегодовые оценки) составляет

Таблица 1

Коэффициенты наклона линейного тренда («–*a*», тыс. км^2/год) для шести районов архипелага Шпицберген

Район/ Месяц	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	Год
1	0,32	0,28	0,11	*0,08*	*0,27*	0,94	1,35	0,50	0,15	1,02	1,37	0,45	0,57
2	0,42	0,37	0,18	0,10	0,35	0,68	0,69	0,30	0,14	0,53	1,05	0,49	0,44
3	0,85	0,68	0,37	0,37	0,66	0,68	0,33	*0,01*	*0,01*	0,17	0,81	1.03	0,49
4	0,86	0,90	0,74	0,75	0,59	0,38	0,23	0,14	0,04	0,04	0,29	0,73	0,47
5	0,17	0,24	0,17	*0,09*	*0,07*	*0,06*	*0,09*	*0,02*	*0,11*	*0,00*	*0,05*	0,13	*0,07*
6	0,80	0,77	0,44	*0,18*	*0,23*	*0,22*	0,43	*0,45*	*0,36*	0,53	0,65	0,72	0,48

Примечание: курсивом выделены значения «*a*», которые не являются статистически значимыми на уровне $P < 0,05$.

около 0,5 тыс. км^2 в год. Отметим, что полученный тренд является статистически значимым на уровне $P < 0{,}05$. Величина коэффициента детерминации составляет 0,59, т.е. полученный линейный тренд описывает более 50 % общей дисперсии анализируемого временного ряда.

В табл. 1 представлены коэффициенты углов наклона линейного тренда, как для отдельных месяцев, так и для среднегодовых значений для всех шести районов. Сокращение площади ледяного покрова (среднегодовые значения) происходит практически с одинаковой скоростью во всех районах, за исключением района 5, выделяющегося на общем фоне. Здесь для периода апрель–ноябрь линейные тренды не являются статистически значимыми, а в другие месяцы года сокращение площади ледяного покрова происходит со скоростями в 2–6 раз меньшими, чем в других районах. По-видимому, такой характер изменчивости связан с особенностями циркуляции вод и льдов — однонаправленный и устойчивый вынос многолетних льдов из центральных частей Арктического бассейна Восточно-Гренландским течением. Для остальных районов наблюдается в целом одинаковая картина изменчивости. Коэффициенты наклона тренда, как правило, максимальны в холодный период (октябрь–март) и минимальны в теплый (апрель–сентябрь). Однако для районов (1–3), расположенных к востоку от архипелага, высокие значения скорости изменения площади льда наблюдаются и в июле–сентябре. Максимальные значения выявлены в районе 1 в июле и ноябре (–1,35 и –1,37 тыс. км^2/год соответственно). Для среднегодовых значений максимальное сокращение площади льда также наблюдается в районе 1 и составляет –0,57 тыс. км^2/год. Таким образом, на основе полученных данных можно сделать вывод: в водах, окружающих арх. Шпицберген, в течение последних 35 лет на-

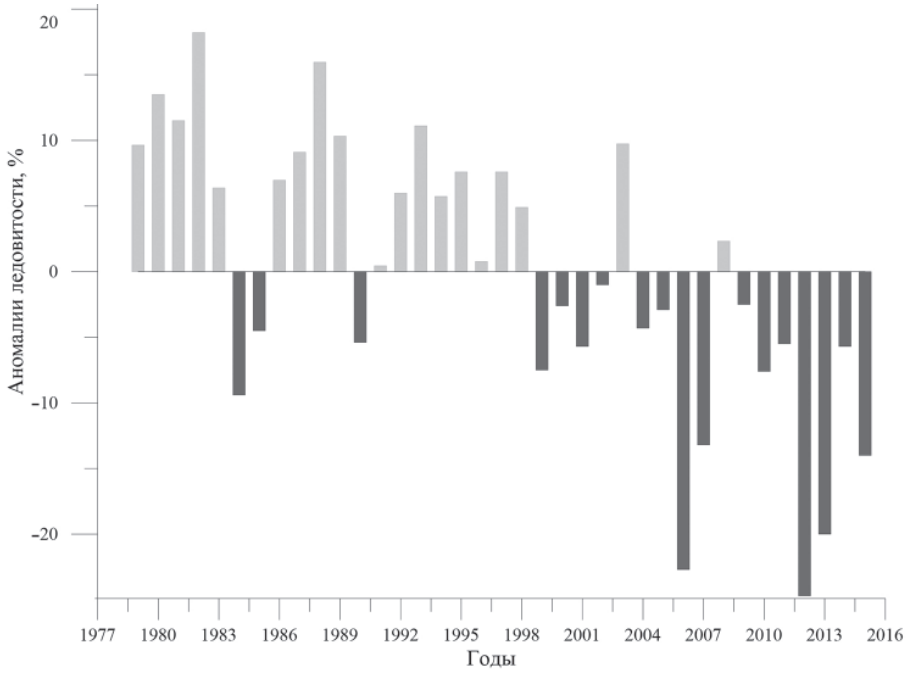

Рис. 3. Аномалии ледовитости в районе арх. Шпицберген за 1979–2015 гг.

Таблица 2

Статистические характеристики общей ледовитости (%)

Характеристика	Месяцы											
	IX	X	XI	XII	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII
Среднее	29	40	61	73	78	82	86	86	81	74	53	34
Минимум	10	16	22	29	37	43	54	53	43	34	19	9
Максимум	56	72	90	98	99	98	98	100	98	92	85	56
СКО	11	16	21	18	17	15	10	8	10	13	16	12

блюдается устойчивая тенденция к смягчению ледовых условий, как в среднем за год, так и для отдельных сезонов.

На рис. 3 представлен график временной изменчивости аномалий общей ледовитости в районе арх. Шпицберген за 1979–2015 гг. (по всем районам в целом), рассчитанный по методике, предложенной в работе (Жичкин, 2014). Смысл подхода заключается в представлении численных значений аномалий в процентах. За 100 % принимается среднее значение ледовитости за весь анализируемый период времени.

Анализ полученных данных показал, что в водах, окружающих арх. Шпицберген, на фоне заметной межгодовой изменчивости ледовитости наблюдается ее общее уменьшение за последние три десятилетия. При этом в среднем положительные аномалии (1979–1998 гг.) уменьшаются по абсолютной величине, а отрицательные с 1999 г. по настоящее время увеличиваются.

В табл. 2 представлены статистические характеристики общей ледовитости для каждого месяца года для всего анализируемого периода.

Как следует из представленных данных, ледяной покров в водах, омывающих Шпицберген, наблюдается практически в течение всего года. В среднем к ноябрю большая часть акватории покрывается льдами. Однако в последние 10–15 лет участились случаи, когда ледовитость в ноябре составляет не более 20–40 %. Отдельно можно выделить сезон 2006/07 г., когда вслед за закономерным увеличением площади ледяного покрова от сентября к октябрю в ноябре было зафиксировано его заметное уменьшение, составившее в среднем от 7 до 12 %. Наибольшие значения ледовитости соответствуют периоду январь–май (78–86 %). Максимальные значения наблюдаются в марте и апреле. Абсолютный максимум зафиксирован в апреле 1979 г. Для периода март–май характерна наименьшая изменчивость, стандартное отклонение для этих месяцев составляет 8–10 %. Полного очищения ото льда не наблюдалось ни в один из месяцев за исследуемый интервал времени. В среднем наименее ледовитым месяцем можно считать сентябрь (менее 30 %). Абсолютный минимум ледовитости в районе арх. Шпицберген наблюдался в августе 2004 г. и составил 9 %. Наибольшая изменчивость характерна для периода октябрь–январь и июля, стандартное отклонение составляет 16–21 %.

Для более детального анализа особенностей пространственной и временной изменчивости ледовых условий аналогичный статистический анализ был выполнен индивидуально для каждого из 6 районов. Результаты представлены в табл. 3.

Максимальные значения ледовитости наблюдаются в марте и апреле, минимальные в августе и сентябре. Для районов 1–4 с июля по ноябрь ледяной покров может полностью отсутствовать. Для районов 5–6 полного отсутствия морского

Таблица 3

Статистические характеристики ледовитости (%) для отдельных районов

Характеристика	Месяцы											
	IX	X	XI	XII	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII
Район 1												
Среднее	21,9	44,7	77,0	91,4	94,8	96,4	98,5	98,7	96,6	88,0	55,7	27,0
Минимум	0,0	0,0	0,0	19,3	51,3	61,2	82,2	59,4	32,2	14,8	0,0	0,0
Максимум	75,7	98,1	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	99,5	71,9
СКО	24,7	33,6	33,1	18,6	11,0	9,0	3,7	6,7	11,8	21,5	30,8	25,1
Район 2												
Среднее	5,0	24,1	65,4	84,1	89,2	91,7	95,1	96,3	92,7	81,3	43,1	9,1
Минимум	0,0	0,0	0,0	8,8	45,9	38,5	67,5	65,8	56,1	19,9	0,2	0,2
Максимум	51,8	80,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	95,5	58,5
СКО	10,7	24,8	35,4	25,0	15,2	13,7	7,9	6,3	11,1	24,0	26,3	14,4
Район 3												
Среднее	1,7	5,9	32,8	60,4	73,2	79,5	85,7	86,1	74,3	52,2	17,5	3,1
Минимум	0,2	0,2	0,4	1,1	4,8	13,2	22,7	48,8	22,2	2,8	0,7	0,7
Максимум	15,3	42,6	93,7	99,8	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	72,3	16,8
СКО	2,4	9,6	28,6	32,8	30,5	26,3	18,0	14,0	20,8	26,4	16,7	2,9
Район 4												
Среднее	2,7	1,9	8,6	22,8	38,7	43,2	45,6	38,5	23,7	17,7	10,3	6,4
Минимум	0,0	0,0	0,0	0,2	0,2	0,0	0,2	1,1	2,4	1,1	0,2	0,2
Максимум	7,8	8,4	53,2	90,9	97,6	93,1	94,8	99,4	88,7	51,9	31,0	18,4
СКО	2,0	1,7	12,6	24,0	31,6	31,7	28,1	24,2	21,9	14,2	8,3	4,6
Район 5												
Среднее	72,9	80,3	82,4	82,9	82,9	85,3	86,6	87,6	86,8	88,7	83,7	72,7
Минимум	40,5	66,8	67,4	71,1	69,2	67,2	73,5	71,5	67,5	73,8	63,5	13,1
Максимум	89,3	95,9	93,9	99,4	99,6	98,7	99,7	100,0	98,9	99,1	96,4	91,0
СКО	11,1	6,7	6,3	6,4	8,0	8,8	6,3	7,2	7,9	7,0	8,8	15,7
Район 6												
Среднее	48,6	58,4	71,2	76,9	73,9	79,1	89,0	92,0	90,8	91,5	81,6	62,0
Минимум	2,0	17,8	23,7	26,4	12,8	26,7	42,3	46,5	47,6	53,1	28,8	15,1
Максимум	83,7	96,6	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	99,9	92,7
СКО	23,8	22,7	22,9	21,5	24,7	22,1	14,3	10,7	11,5	10,6	18,8	22,6

льда по среднемесячным значениям не наблюдалось. В районе 5 зафиксированы минимальные значения СКО для отдельных месяцев, составляющие от 6 до 16 %. Наибольшая изменчивость наблюдается в районе 4, где СКО изменяется по месяцам от 2 до 32 %.

Межгодовая изменчивость ледовитости в районе 4 (восточная часть пролива Фрама), находящемся под сильным влиянием атлантических вод (Западно-Шпицбергенское течение), требует несколько более подробного описания. Для данной акватории характерны наименьшие средние значения ледовитости по всем месяцам

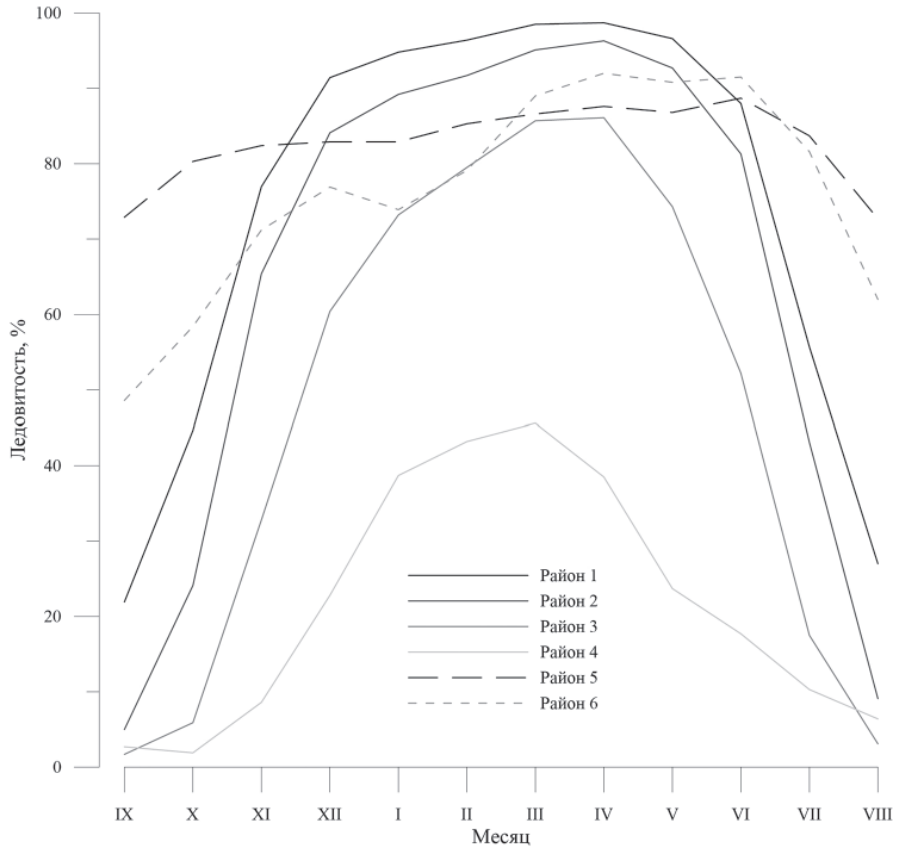

Рис. 4. Сезонные изменения ледовитости в районе арх. Шпицберген.

в сравнении с другими районами. За последние 10 лет средняя ледовитость данного района составляет не более 7 %. Также отмечается тот факт, что наиболее сильная изменчивость наблюдается не в теплый период, когда происходит сезонное таяние ледяного покрова, а в холодный (январь–апрель). СКО для периода январь–апрель составляет от 24 до 32 % при разнице максимального и минимального значений 91–98 %, в июле–октябре от 2 до 8 % при разнице от 8 до 18 % соответственно.

По данным табл. 3 были построены графики изменения средней ледовитости, позволяющие оценить пространственные особенности сезонной изменчивости (см. рис. 4). Так, для районов 1–4 наблюдается ярко выраженный сезонный ход, при этом размах сезонных колебаний в районах 1–3 близок по абсолютной величине, но значительно выше (примерно в 2 раза), чем в районе 4. Для районов 5 и 6 сезонный ход ледовитости выражен в меньшей степени. Причины различий, как это указывалось выше, обусловлены особенностями циркуляции вод в проливе между Гренландией и Шпицбергеном (район № 5) и существованием зимней стационарной полыньи «Китовая бухта» к северу от арх. Шпицберген (район 6).

Для оценки пространственных особенностей изменчивости ледовитости мы сравнили полученные нами результаты с данными, характеризующими другой крупный арктический архипелаг — Землю Франца-Иосифа (ЗФИ) (Жичкин, 2014).

Так, на основании сравнения средних месячных оценок площади ледяного покрова район арх. ЗФИ является, безусловно, более ледовитым. Наименьшая изменчивость ледовитости в акватории ЗФИ приходится на холодный период года (ноябрь–апрель), СКО изменяется от 0 до 2 %, тогда как для арх. Шпицберген данным месяцам соответствует максимальная изменчивость, особенно периоду ноябрь–февраль (СКО изменяется от 15 до 21 %). Обратная картина наблюдается в теплый период года (август–сентябрь). В районе арх. Шпицберген разница максимального и минимального значений ледовитости составляет 46–48 % (СКО составляет 11–12 %) для указанных месяцев, тогда как для акватории арх. ЗФИ это величина равна 90–95 % (СКО составляет 27 %). В то же время имеется и ряд особенностей, характерных для обоих районов. Например, многолетняя изменчивость ледовитости имеет очень близкий характер. В первую очередь это касается интервалов времени, когда в обоих районах аномалии ледовитости имели одинаковый знак. Положительные аномалии («холодная» фаза) наблюдались с 1979 по 1998 г., отрицательные («теплая» фаза) с 1999 г. по настоящее время. На наш взгляд, это может указывать на наличие общего внешнего источника наблюдаемых изменений.

На следующем этапе исследований мы планируем выполнить взаимный анализ особенностей сезонных и многолетних колебаний ледовитости и аналогичной изменчивости приземной температуры воздуха, данные о которой собраны и обобщены в рамках совместных российско-норвежских исследований на арх. Шпицберген.

ВЫВОДЫ

Выполненная работа посвящена предварительному анализу долгопериодной изменчивости ледовых условий в акваториях, омывающих арх. Шпицберген.

1. На основе проанализированных данных сделан вывод, что в водах, омывающих арх. Шпицберген, в течение последних 35 лет наблюдается устойчивая тенденция к смягчению ледовых условий, как в среднем за год, так и для отдельных сезонов. Общее сокращение площади ледяного покрова в терминах линейного тренда по среднегодовым значениям составляет 2,6 тыс. км^2 в год.

2. Характер сезонной изменчивости ледовитости обусловлен особенностями циркуляции вод и льдов в районе арх. Шпицберген.

3. С 1979 по 1998 г. наблюдается уменьшение величин положительных аномалий ледовитости, а с 1999 г. по настоящее время наблюдается увеличение величин отрицательных аномалий.

4. Выявлены различия и сходства в характере сезонной и многолетней изменчивости ледовитости на примере вод, омывающих арх. Шпицберген и ЗФИ.

Исследования выполнены в рамках плановой тематики НИОКР ЦНТП Росгидромета (раздел 1.5.3.3) и при поддержке российско-норвежского проекта «Исфьорд — прошлый и современный климат» (ААНИИ – MET-Norway).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Алексеев Г.В. Проявление и усиление глобального потепления в Арктике // Фундаментальная и прикладная климатология. 2015. Т. 1. С. 11–26.

Алексеев Г.В. Арктическое измерение глобального потепления // Лед и снег. 2014. № 2. С. 53–68.

Жичкин А.П. Ледовые условия в районе архипелага Земля Франца-Иосифа // Труды Кольского научного центра. Океанология. 2014. № 4. Вып. 2. С. 82–89.

Иванов Б.В., Павлов А.К., Андреев О.М., Журавский Д.М., Священников П.Н. Исследования снежно-ледяного покрова залива Грен-фьорд (арх. Шпицберген): исторические данные, натурные исследования, моделирование // Проблемы Арктики и Антарктики. 2012. № 2 (92). С. 43–54.

Иванов Б.В., Журавский Д.М. Ледовые условия в заливе Грен-фьорд (Шпицберген) в течение 1974–2008 гг. // Проблемы Арктики и Антарктики. 2010. № 2 (85). С. 27–31.

Павлов А.К., Иванов Б.В., Журавский Д.М., Тверберг В. Потепление в фьордах Западного Шпицбергена. Аномалия или естественная изменчивость // Проблемы Арктики и Антарктики. 2010. № 3 (86). С. 78–84.

Священников П.Н., Иванов Б.В., Бочаров П.В., Журавский Д.М., Тимачев В.Ф., Семенов А.В., Солдатова Т.А., Анциферова А.Р. Исследование радиационных климатических факторов и метеорологического режима архипелага Шпицберген // Российские исследования по программе МПГ 2007/08. Т. 3. Метеорологические и геофизические исследования / Под ред. Г.В. Алексеева. М.: Изд-во Паулсен, 2011. С. 78–84.

Священников П.Н., Иванов Б.В., Бочаров П.В. Влияние характеристик облачности на радиационный режим острова Западный Шпицберген // Природа шельфа и архипелагов Европейской Арктики. Комплексные исследования архипелага Шпицберген /Под ред. Г.Г. Матишова. М.: Изд-во ГЕОС, 2010. С. 474–480.

Тисленко Д.И., Иванов Б.В. Долгопериодная изменчивость температуры атлантических вод в фьордах острова Западный Шпицберген в период первого (1920–1940 гг.) и современного потепления в Арктике // Проблемы Арктики и Антарктики. 2015. № 2 (104). С. 93–100.

Фролов И. Е., Гудкович З.М., Карклин В.П., Смоляницкий В.М. Изменения климата Арктики и Антарктики — результат действия естественных причин // Проблемы Арктики и Антарктики. 2010. № 2. С. 52–61.

Bekryaev R.V., Polyakov I.V., Alekseev V.A. Role of Polar Amplification in Long-Term Surface Air Temperature Variations and Modern Arctic Warming // Journal of Climate. 2010. Vol. 23. P. 3888–3906.

Frolov I.E., Gudkovich Z.M., Karklin V.P., Kovalev E.G., Smolanitsky V.M. Climate change in Eurasian Arctic Shelf seas. Chichester, UK: Praxis publishing Ltd, 2009. 164 p.

Haas C., Pfaffling A., Hendricks S., Rabenstein L., Etienne J.-L., Rigor I. Reduced ice thickness in Arctic Transpolar Drift favors rapid ice retreat // Geophysical Research Letters. 2008. Vol. 35. Issue 17. P. 2564–2576.

Marsz A., Styszyńska A. Climate and Climate Change at Hornsund, Svalbard. Gdynia Maritime University, Gdynia, 2013. 402 p.

Nordli Ø, Przybylak R., Ogilvie A., Isaksen K. Long-term temperature trends and variability on Spitsbergen: the extended Svalbard Airport temperature series, 1898–2012 // Polar Research. 2014. Vol. 33. URL: http://dx.doi.org/10.3402/polar.v33.21349 [дата обращения 05.07.2016].

Pavlov A.K., Tverberg V., Ivanov B.V., Nilsen F., Falk-Petersen S., Granskog M.A. Warming of Atlantic Water in two west Spitsbergen fjords over the last century (1912-2009) // Polar Research. 2013. Vol. 32. URL: http://dx.doi.org/10.3402/polar.v32i0.11206 [дата обращения 05.07.2016].

Polyakov I.V, Alekseev G.V., Timokhov L.A., Bhatt U.S., Colony R.L., Simmons H.L., Walsh D., Walsh J.E., Zakharov V.F. Variability of the Intermediate Atlantic Water of the Arctic Ocean over the Last 100 Years // Journal of Climate. 2004. Vol. 17. P. 4485–4497.

Polyakov I.V., Alekseev G.V., Bekryaev R.V., Bhatt U., Colony R., Johnson M.A., Karklin V.P., Makshtas A.P., Walsh D., Yulin A.V. Observationally based assessment of polar amplification of global warming // Geophysical Research Letters. 2002. № 29. P. 1878–1891.

Renner A.H., Gerland S., Haas C., Spreen G., Beckers J.F., Hansen E., Nicolaus M., Goodwin H. Evidence of Arctic sea ice thinning from direct observations // Geophysical Research Letters. 2014. Vol. 41. Issue 14. P. 5029–5036.

D.I. TISLENKO, B.V. IVANOV, V.M. SMOLYANITKY, P.N. SVYASHCHENNIKOV,
K. ISAKSEN, M. HERDIS

SEASONAL AND LONG-TERM CHANGES OF SEA ICE EXTENT IN THE SVALBARD ARCHIPELAGO AREA DURING 1979–2015

The analysis of the ice extent variability in the waters surrounding Svalbard archipelago (Fram Strait area, Whalers Bay, adjacent areas of the Barents, Greenland and Norwegian seas) is provided on a basis of Russian and foreign data collected in the AARI. Ice extent seasonal changes are investigated; linear trends of the ice extent and ice area long-term variability during 1979–2015 are quantified.

Keywords: Spitsbergen, climate change, ice conditions.