

РАЗВИТИЕ ЛЕДОВЫХ И МЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИХ УСЛОВИЙ В АРКТИКЕ В ПЕРИОД 2007–2013 гг.

д-р геогр. наук З.М.ГУДКОВИЧ, канд. геогр. наук В.П.КАРКЛИН,
д-р геогр. наук Е.У.МИРОНОВ, канд. геогр. наук В.В.ИВАНОВ,
канд. геогр. наук С.М.ЛОСЕВ, канд. геогр. наук Л.Н.ДЫМЕНТ,
канд. геогр. наук В.М.СМОЛЯНИЦКИЙ, зав. лаб. С.В.ФРОЛОВ,
канд. геогр. наук А.В.ЮЛИН, мл. науч. сотр. Е.А.УСОЛЬЦЕВА.

ГНЦ РФ Арктический и антарктический научно-исследовательский институт, Санкт-Петербург, e-mail: karklin@aari.ru, mir@aari.ru, vms@aari.ru, icefor@aari.rusvflaari.ru.

На фоне продолжающегося потепления период 2007–2013 гг. характеризовался крупномасштабной перестройкой в развитии атмосферных процессов и крупными аномалиями в развитии ледяного покрова. В осенне-зимний период увеличилась повторяемость Арктического антициклона, его усиление и смещение на запад приводит к блокированию атлантических циклонов, что сопровождается интенсивным выносом тепла в зону западных арктических морей и Арктического бассейна, примыкающую к Северной Атлантике. Увеличение повторяемости Арктического антициклона в зимнее время сформировало устойчивый антициклонический дрейф льдов в Арктическом бассейне, при этом центр циркуляции также смещался в западном направлении.

Вследствие перестройки атмосферных процессов, условия формирования ледяного покрова в западном и восточном регионах Арктики в период 2007–2013 гг. существенно отличались. Это проявилось в положении границ остаточных и старых льдов в Арктическом бассейне, а также в изменениях режимных характеристик ледяного покрова арктических морей сибирского шельфа, в которых появились признаки завершения периода потепления, особенно заметные в восточных арктических морях. Смена циклонической циркуляции на антициклоническую, которая эпизодически наблюдалась в период таяния ледяного покрова и устойчиво проявлялась в осенние, а затем и в зимние месяцы, характерна при переходе от «теплого» климатического периода к «холодному».

Ключевые слова: признаки похолодания, перестройка атмосферной циркуляции, Арктический антициклон, циркуляция льдов, смещение центра циркуляции, сроки замерзания, площадь припая, повторяемость полыней, толстые льды, остаточная ледовитость, старые льды.

АРКТИЧЕСКИЙ БАССЕЙН

Ледяной покров Арктики в 2007–2013 гг. отличался исключительно большими аномалиями за весь период ледовых наблюдений. Эти аномалии соответствовали происходящим общеклиматическим изменениям не только в Арктике, но и на всей планете. Исторические сведения, а также анализ различных показателей палеоклимата (керны из ледников Арктики, позднее и Антарктики, донные осадки, дендрологические характеристики) позволили определить долговременные значительные изменения климата в период голоцена (последние 10000 лет). Согласно [Гриббин, Лэм, 1980], этот период включает четыре характерные фазы.

Кульминационная стадия первой фазы («Послеледниковый климатический оптимум») относится к промежутку времени между 5000 и 3000 лет до н.э. В течение этого времени поверхностная температура воздуха (ПТВ) во многих регионах Земли была на 2–3 °С выше современной. Кульминационная стадия второй фазы (похолодание «железного века») относится к промежутку времени между 900 и 300 лет до н.э. Судя по распространению растительности, ПТВ в течение этой фазы была заметно ниже, чем во время послеледникового оптимума. Третья фаза изменений климата – второй («средневековый») климатический оптимум – продолжалась в течение 1000–1200 гг. (местами до 1300 г.). Она была короче послеледникового оптимума и отличалась от него меньшими аномалиями ПТВ (примерно до +1 °С). Тем не менее она оставила заметный след в истории народов, не только оказав влияние на сельское хозяйство, но и способствуя колонизации Исландии, Гренландии и Северной Америки в «эпоху викингов». Наступившая в дальнейшем четвертая фаза климатических изменений в историческое время – «Малая ледниковая эпоха» – продолжалась примерно с 1430 до 1850 г. Она отличалась довольно низкими ПТВ (на побережье Атлантического океана к северу от 50° с.ш. она была на 1–3 °С ниже современной), увеличением площади арктических льдов и ростом континентального оледенения. Все это происходило при смещении преобладающих путей циклонов в Северном полушарии к югу и увеличении повторяемости полярных антициклонов.

Примерно с середины XIX в. наступила современная фаза климатических изменений. Анализ данных ледовых и гидрометеорологических наблюдений позволил прийти к выводу о том, что изменения климата во времени имеют полициклический характер [Фролов и др., 2007; Frolov et al., 2009]. Частотная структура этих изменений включает более или менее значимые пики на периодах около 60, 20, 8–12, 5–7 и 2–3 лет. Колебания с квазипериодами короче 10 лет обычно относят к разряду «погодного шума». Среди указанных циклов наиболее энергоемким является 60-летний цикл. Этот же цикл лучше выражен в высоких широтах, чем в умеренных и низких.

На протяжении последних примерно 150 лет указанные колебания происходили на фоне квазипостоянного тренда потепления, который, по мнению ряда ученых [Абдусаматов, 2009; Башкирцев, Машнич, 2004; Фролов и др., 2007], отражает восходящую ветвь 200-летнего и более продолжительных циклов. На рубеже XX и XXI вв. совпали максимумы 60-летнего и 200-летнего циклов, что и определило довольно высокий уровень потепления в эти годы. Однако потепление последней трети XX в. не было «глобальным». На значительных пространствах Арктики и Антарктики зимой температура воздуха к концу XX в. заметно понизилась относительно середины этого века. Значительно возросла ледовитость Баренцева моря [Фролов и др., 2007; Buzin, 2006] и большинства антарктических морей в зимние сезоны. Это нашло отражение в изменениях толщины и площади припайных льдов и средней сплоченности ледяного покрова арктических морей. Понизилась ПТВ в указанный период и над Северной Атлантикой, тогда как в умеренных широтах (40–60° с.ш.) над материками Евразии и Америки она возросла на 3–5 °С относительно ее значений в начале XX в. [Клименко, 2007].

По данным многих исследователей, в начале XXI в. рост глобальной ПТВ прекратился, а по некоторым данным [Абдусаматов, 2009; Покровский, 2009; Шерстюков, Салугашвили, 2010; Humlum, 2012], она начала понижаться. Вопросы, связанные с начавшимся похолоданием климата и его причинами, более подробно рассмотрены в работах [Гудкович и др., 2012б; Фролов и др., 2010].

В отличие от глобальных изменений климата, в Арктике в весенне-летние периоды начала XXI в. продолжалось потепление. Оно проявилось как в аномалиях ПТВ полярной области, так и, что особенно важно, в изменениях площади ледяного покрова. При рассмотрении климатических колебаний площади морских льдов необходимо учитывать различия в характере этих изменений между акваториями, прилежащими к Северной Атлантике и расположенными восточнее – вплоть до меридиана Берингова пролива. Как показано в работах [Фролов и др., 2007; Frolov et al., 2009], в спектре изменений площади льдов первого региона преобладают относительно низкочастотные составляющие (период от 20 лет и выше), тогда как для восточного региона характерны более высокочастотные составляющие (период от 10 лет и ниже). В XX в. влияние главным образом 60-летнего цикла в западном регионе Арктики проявилось в чередовании холодных и теплых эпох, которые происходили на фоне тренда потепления, причем величина тренда заметно уменьшилась от начала века к его концу. В восточном регионе Арктики в это время преобладали относительно кратковременные колебания, амплитуда которых постепенно возрастала от начала к концу века.

В результате продолжавшегося в начале XXI в. потепления площадь льдов в Северном Ледовитом океане (СЛО) в сентябре 2007 г. уменьшилась до минимальной за весь ряд предшествующих наблюдений величины (табл. 1). При этом отрицательная аномалия превысила 2 млн км².

Таблица 1

Площадь льдов в Северном Ледовитом океане в сентябре по данным наблюдений SSMR-SSM/I, алгоритм NASATEAM

Годы	S, млн км ²	Аномалии, млн км ²	
		от среднего	от 2007 г.
1979–2010	6,677	–	–
2007	4,486	–2,190	–
2008	4,893	–1,783	+0,407
2009	5,455	–1,221	+0,969
2010	5,081	–1,595	+0,595
2011	4,565	–2,112	+0,079
2012	3,580	–3,097	–0,906

Как видно из рис. 1, кромка остаточных льдов к северу от Восточно-Сибирского и Чукотского морей местами поднялась выше 85° с.ш. Однако в течение последующих четырех лет остаточная ледовитость СЛО оставалась выше, чем в 2007 г., а кромка этих льдов в указанном районе опустилась до 80° с.ш. Такие изменения подтверждают отмеченную выше закономерность: преобладание относительно короткопериодных колебаний площади льдов в восточном регионе Арктики.

Как следует из табл. 1, с 2010 г. ледовитость СЛО стала вновь уменьшаться, достигнув в 2012 г. нового минимума, который почти на 1 млн км² оказался ниже минимума 2007 г. На рис. 1 видно, что, в отличие от условий этого года, зона наибольшего сокращения площади ледяного покрова к 2012 г. оказалась в первом регионе (сектор приатлантических морей, включая западную часть моря Лаптевых). Здесь, как отмечено выше, изменения ледовитости определяются в основном 60-летним циклом, фаза минимума которого отмечается в 2011–2015 гг. На эти же годы приходится отрицательный экстремум другого заметного в этом регионе 20-летнего цикла.

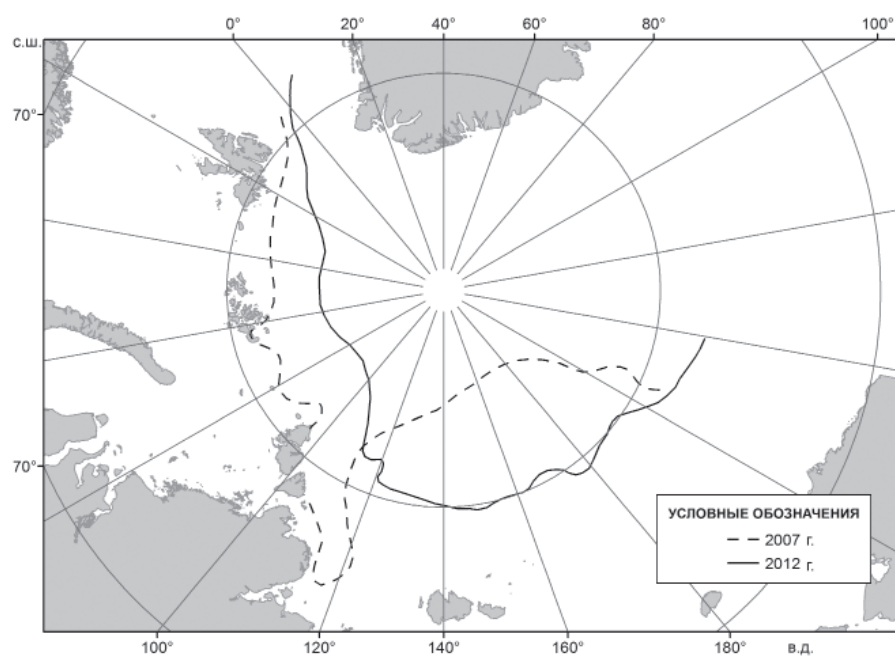


Рис. 1. Положение кромок остаточных льдов в сентябре 2007 и 2012 гг.

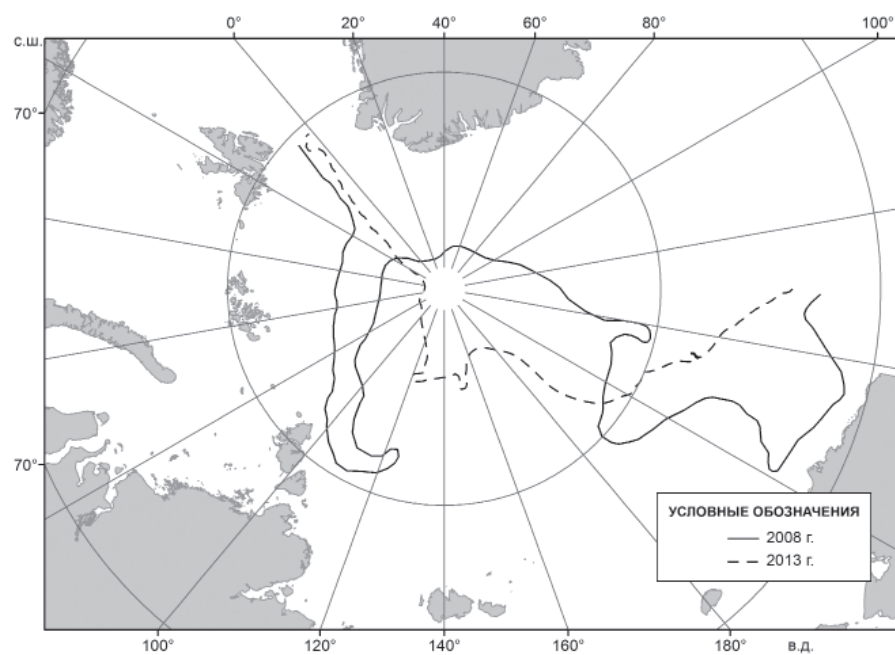


Рис. 2. Положение границы преобладания старых льдов в марте 2008 и 2013 гг.

В соответствии с прогнозом, опубликованным в 2007 г. [Фролов и др., 2007], переход к похолоданию здесь должен произойти после 2014–2015 гг.

Соответственно изменялись положение и площадь старых льдов в Арктическом бассейне в конце зимы (рис. 2). После минимума ледовитости 2007 г. граница преобладания старых льдов в секторе морей Лаптевых и Восточносибирского в 2008 г. отступила в Западное полушарие. В последующие годы эта граница вновь перешла в Восточное полушарие, в среднем оставаясь на 600 км южнее, чем в 2008 г. Лишь к северу от приатлантических морей эта граница в 2013 г. оказалась на широте 85° с.ш., что примерно на 400 км севернее, чем в 2008 г.

Представление об изменениях толщины дрейфующих льдов в Арктическом бассейне можно получить по данным измерений, выполненных с помощью телевизионного комплекса (ТК) во время плаваний российских ледоколов и судов по маршруту Земля Франца-Иосифа – Северный полюс. Плавание ледоколов в летний период по этому маршруту регулярно осуществляются с 1990 г., что позволило получить достаточно представительный материал для оценки климатических изменений толщины льда. Общий объем данных, полученных в этих рейсах, составляет более 85 тыс. измерений толщины льда.

Сравнение распределений толщины льда, полученных в июле 2006–2011 гг., и данных за базовый период (1991–1996 гг.) показывает, что в течение 2006–2011 гг. средняя толщина льда на пути плавания уменьшалась (табл. 2). Наибольшее уменьшение (на 34 %), произошло к 2007 г., после чего на протяжении трех лет она изменялась незначительно. Только в 2011 г. средняя толщина льда уменьшилась еще на 6 см

Таблица 2

Средняя толщина льдов различного возраста в Арктическом бассейне на участке Земля Франца-Иосифа – Северный полюс в июле 2006–2011 гг. и за период 1991–1996 гг.

Возраст льда	Годы						
	1991–1996	2006	2007	2008	2009	2010	2011
Однолетний	150	132	119	124	118	124	111
Старый	249	239	225	216	221	226	231
Весь лед	188	156	124	128	125	134	118

(относительно базового периода уменьшение составило 37 %). Изменение толщины однолетних льдов в рассматриваемый период происходило аналогично. В 2011 г. оно составило –26 % относительно базового периода. Однако изменение толщины старых льдов в этом районе имело свои особенности: до 2008 г. происходило уменьшение толщины до –13 %, после чего до 2011 г. она стала увеличиваться (изменение –7 %).

Непосредственной причиной упомянутых выше пространственно-временных изменений ледовитости СЛО были взаимосвязанные тепловые и динамические процессы в атмосфере и океане. В работах [Гудкович и др., 2012б; Фролов и др., 2010] было показано, что климатические изменения на Земле зависят от состояния циркумполярных вихрей, большое влияние на которое оказывает солнечная активность (СА). Увеличение СА приводит к углублению вихрей, сопровождающемуся усилением западно-восточных переносов в атмосфере, уменьшение СА – к противоположному эффекту (60-летние циклы), а также к расширению либо сокращению горизонтальных размеров вихрей и соответствующему смещению срежня указанных переносов в меридиональном направлении (200-летние циклы). От интенсивности западно-восточ-

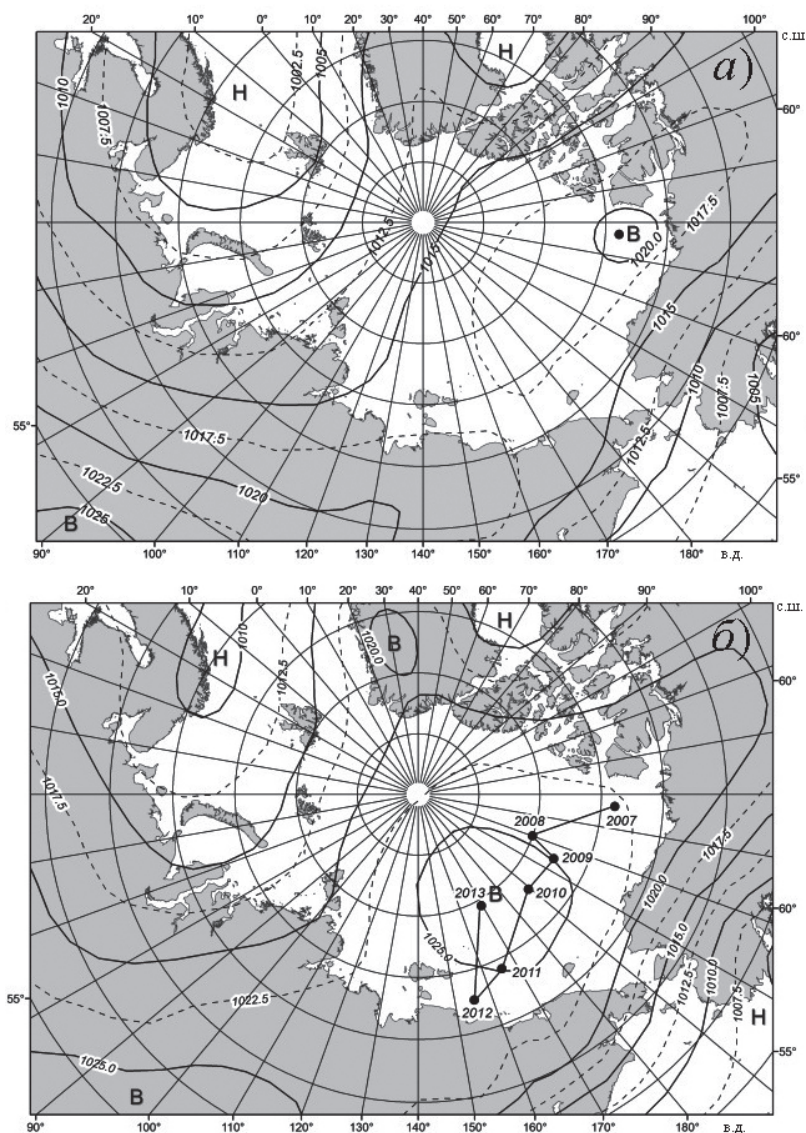


Рис. 3. Средние поля атмосферного давления за зимние полугодия (октябрь–март) в 2006–2007 гг. (а) и в 2012–2013 гг. (б). Точки – положения центров Арктического антициклона в 2007–2013 гг.

ных воздушных переносов зависят особенности барических полей над континентами, тепловой баланс их поверхности, а также скорость Североатлантического течения и объем атлантических вод, поступающих в СЛО.

Анализ аэрологических данных позволил установить, что в течение большей части второй половины XX в. циркуполярные вихри углублялись, что привело к росту глобальной ПТВ. Однако в конце века наметилась обратная тенденция, что сопровождалось соответствующими изменениями климата.

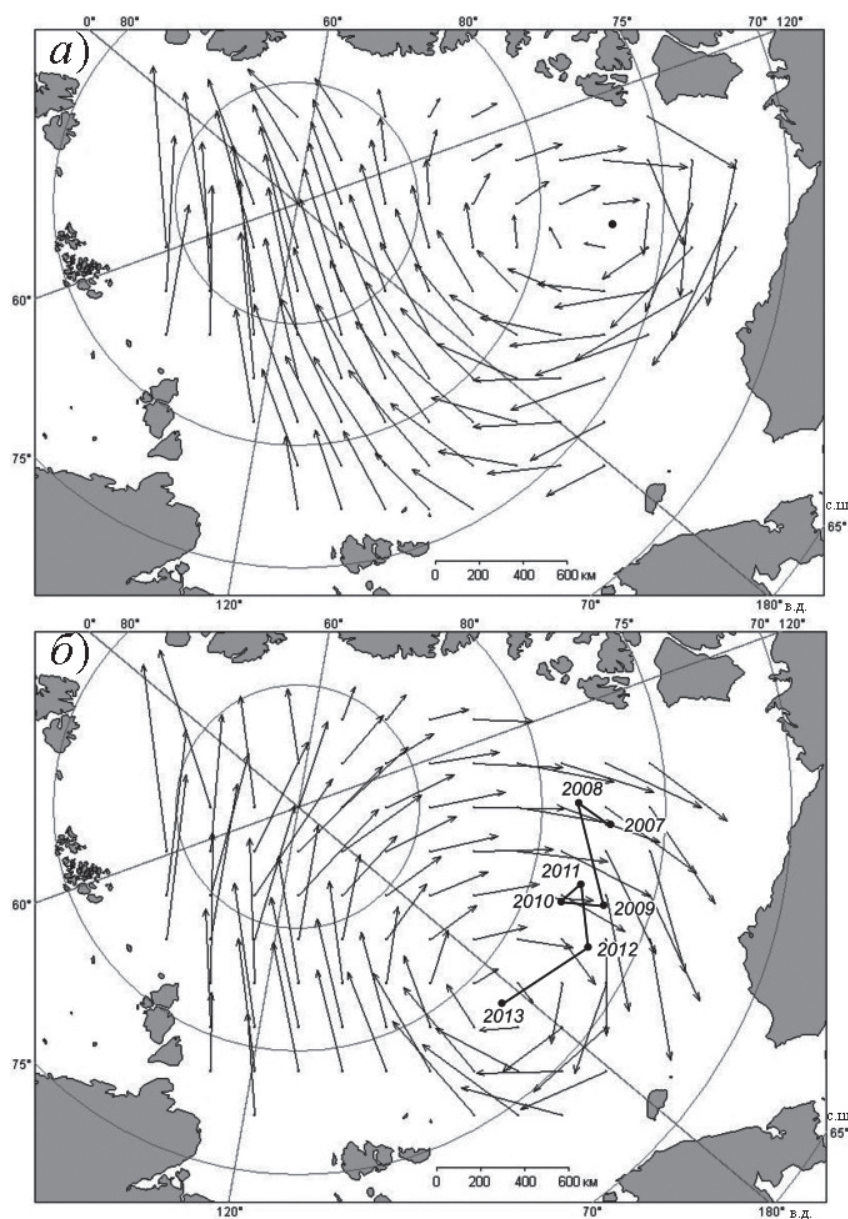


Рис. 4. Результирующее перемещение льда за зимние полугодия (октябрь–март) в 2006–2007 гг. (а) и в 2012–2013 гг. (б). Ломаная линия – траектория перемещения центра антициклонической циркуляции льдов в 2007–2013 гг.

Важно отметить, что ослабление циркумполярных вихрей сопровождается увеличением повторяемости полярных антициклонов, а углубление вихрей – ее уменьшением [Гудкович и др., 2008; Дмитриев, 2000]. Как показывают наблюдения, при повышении повторяемости Арктического антициклона в зимнее время отмеча-

ется похолодание в высоких и умеренных широтах Северного полушария и усиление континентальности климата. При этом Арктический антициклон постепенно смещается с востока на запад. За период 2007–2013 гг. результирующее смещение центра Арктического антициклона в западном направлении составило около 1500 км (рис. 3).

Увеличение повторяемости Арктического антициклона в зимнее время формирует антициклонический дрейф льдов в Арктическом бассейне, при этом центр циркуляции также смещается в западном направлении (рис. 4). Схема результирующего перемещения льда построена на основании наблюдений за дрейфом буев с учетом положения изобар атмосферного давления.

Усиление Арктического антициклона и смещение его на запад приводит к блокированию атлантических циклонов, вследствие чего возрастает повторяемость северных траекторий этих циклонов, что сопровождается интенсивным выносом тепла на север – в зону арктических морей и Арктического бассейна, примыкающую к Северной Атлантике. Это особенно заметно в годы формирования теплой фазы 20-летнего цикла, который в Североевропейском бассейне возникает в основном вследствие автоколебательных процессов в системе океан – ледяной покров – атмосфера [Гудкович, Ковалев 2002].

Отмеченные закономерности климатических изменений, произошедших в начале XXI в., вытекают из новой теории, являющейся альтернативой по отношению к господствующей среди климатологов «парниковой теории», согласно которой основной причиной изменений климата на Земле является накопление антропогенных парниковых газов (CO_2 и других), которые, уменьшая длинноволновое излучение планеты, приводят к прогрессивному потеплению. Многие климатологи считают, что существенное влияние углекислого газа на климатические изменения научно не обосновано. Содержание этого газа в атмосфере Земли не превышает 0,03–0,04 %, а его парниковые свойства гораздо ниже, чем у широко распространенного газа – водяного пара. При этом содержание водяного пара в атмосфере во много раз больше, чем углекислого газа, а его изменчивость во времени и пространстве, а следовательно, и влияние на климат несравненно сильнее. За XX в. содержание углекислого газа в атмосфере увеличилось примерно на 0,01 %, что вряд ли могло вызвать столь масштабные климатические изменения.

Как уже отмечалось, по данным исследований последних лет, в начале XXI в. глобальная ПТВ начала снижаться. Между тем содержание углекислого газа в атмосфере в течение последних 50 лет прогрессивно возрастало. Нельзя не отметить и тот факт, что как в масштабе чередования ледниковых эпох, так и при относительно кратковременных флуктуациях концентрация CO_2 в атмосфере отставала от изменений температуры. Следовательно, первая является не причиной, а следствием вторых.

Основные закономерности реальных изменений климата противоречат результатам расчетов по совместным моделям атмосферы и океана (МОЦАО), лежащим в основе «парниковой теории». Наиболее важными из них являются: колебания климата во времени и в пространстве, их связь с общей циркуляцией атмосферы, с изменениями полной энергии, приходящей от Солнца, включающей солнечную активность, которая проявляется в комплексе физических процессов на Солнце. Реальные изменения климата происходят в основном под влиянием естественных, а не антропогенных причин [Frolov et al., 2009].

АРКТИЧЕСКИЕ МОРЯ СИБИРСКОГО ШЕЛЬФА

В связи с перестройкой в развитии крупномасштабных атмосферных процессов и связанных с нею термобарических условий в Арктике, в период 2007–2013 гг. происходили изменения в режимных характеристиках ледяного покрова арктических морей сибирского шельфа, в которых появились признаки завершения периода потепления, особенно заметные в восточных арктических морях.

На фоне продолжающегося теплого периода устойчивое ледообразование в арктических морях сибирского шельфа в период 2007–2012 гг. начиналось в среднем на 12–15 сут. позже средних сроков (табл. 3). Однако по сравнению с первой половиной

Таблица 3

Средние аномалии сроков устойчивого ледообразования в арктических морях в различные периоды 2007–2012 гг., сутки

Море	Период, годы		
	2007–2012	2007–2009	2010–2012
Карское	15	17	13
Лаптевых	12	12	12
Восточно-Сибирское	13	13	12
Чукотское	15	19	11

этого периода во второй его половине положительные аномалии сроков ледообразования в Карском и Чукотском морях уменьшились на 4 и 8 сут. соответственно.

Более ранние (чем в предыдущие годы) сроки ледообразования в Чукотском море обусловлены антициклональным типом погодных условий в осенний период, которые способствуют быстрому выхолаживанию морской поверхности. С усилением влияния Арктического антициклона связано более быстрое по сравнению с первой половиной рассматриваемого периода смещение кромки молодых льдов к югу и полное замерзание восточных морей (табл. 4).

Таблица 4

Средние сроки полного замерзания арктических морей и их аномалии в морях в различные периоды 2007–2012 гг.

Море	Средние сроки	Период, сутки		
		2007–2012	2007–2009	2010–2012
Карское	20 XI	50	42	57
Лаптевых	5 X	18	19	18
Восточно-Сибирское	5 X	34	41	31
Чукотское	15 X	16	21	6

По многолетним данным от момента начала ледообразования акватории морей Лаптевых и Восточно-Сибирского полностью покрываются молодыми льдами в среднем через 35–40 сут., акватории Карского и Чукотского морей – через 80–85 сут. Как видно из табл. 4, по сравнению с первой половиной рассматриваемого периода во второй его половине замерзание Восточно-Сибирского и Чукотского морей в среднем происходило быстрее на 10 и 15 сут. соответственно. Отметим, что осенью 2012 г. Чукотское море впервые за последние 10 лет замерзло в средние сроки – около 15 ноября.

Условия формирования ледяного покрова в холодное время (октябрь–май) в период 2007–2013 гг. существенно отличались в западных и восточных арктических морях. Западный сектор Арктики чаще находился под влиянием циклонов, распространявшихся из Северной Атлантики, которые обуславливали устойчивую адвекцию теплых воздушных масс с юго-западными и юго-восточными ветрами над западными морями (Карским и Лаптевых). Метеорологические условия в восточных морях (Восточно-Сибирском и Чукотском) формировались чаще под влиянием гребней высокого давления арктического и сибирского антициклонов, которые блокировали проникновение теплых тихоокеанских циклонов. В результате этого над районами восточных морей преобладали северо-западные и северо-восточные ветры, обусловившие пониженный температурный фон.

Вследствие преобладания антициклональных погодных условий в ледяном покрове восточных арктических морях от первой ко второй половине периода 2007–2013 гг. увеличилось количество наиболее мощных однолетних толстых льдов (табл. 5). В марте 2013 г. количество этих льдов в ледяном покрове Чукотского моря достигло 45 %.

Таблица 5

Площадь однолетних толстых льдов (более 120 см) в конце марта среди льдов арктических морей в различные периоды 2007–2013 гг., %

Море	Период, годы		
	2007–2013	2007–2009	2010–2013
Карское	21	25	18
Лаптевых	57	56	58
Восточно-Сибирское	69	64	73
Чукотское	11	5	16

Различия в условиях формирования ледяного покрова отразились на неотъемлемых элементах зимнего режима арктических морей, которыми являются припай и заприпайные полыньи. Как следует из табл. 6, площадь припая к периоду 2010–2013 гг. в восточных морях в среднем увеличилась почти на 60 тыс. км², или на 13 %, на такую же величину уменьшилась в среднем площадь припая в западных морях.

Таблица 6

Площадь припая в западных и восточных арктических морях в различные периоды 2007–2013 гг., тыс. км²

Моря	Период, годы		
	2007–2013	2007–2009	2010–2013
Западные моря (Карское, Лаптевых)	325	351	305
Восточные моря (Восточно-Сибирское, Чукотское)	499	464	525

Заприпайные полыньи появляются с момента образования припая в течение всего зимнего периода и могут существовать постоянно или эпизодически. Полыньи арктических морей ветрового происхождения. Их существование зависит от направления и устойчивости ветровых потоков относительно границы припая [Карелин, Карклин, 2012]. В соответствии с ветровым режимом в зимний период, большинство заприпайных полыней в морях Карском и Лаптевых являются устойчивыми. Их повто-

ряемость в среднем выше 75 %. Полыньи восточных морей появляются эпизодически вследствие большой повторяемости нажимных ветров [Карелин, Карклин, 2012].

Теплый период, к которому относятся 2007–2012 гг., оказался благоприятным для образования полыней. Их повторяемость во всех морях существенно увеличилась по сравнению со средней повторяемостью (табл. 7). Однако усиление Арктического антициклона от 2007 к 2012 г. в восточном секторе Арктики обусловило повышенную повторяемость северных и северо-восточных ветров, что, в свою очередь, понизило повторяемость полыней в восточных морях во второй половине этого периода. При этом повторяемость полыней в западных морях осталась прежней (табл. 7).

Таблица 7

Средняя повторяемость заприпайных полыней в западных и восточных арктических морях в различные периоды 2007–2012 гг., %

Моря	Средняя	Период, годы	
		2007–2009	2010–2012
Западные моря (Карское, Лаптевых)	71	86	86
Восточные моря (Восточно-Сибирское, Чукотское)	40	66	51

В весенне-летние месяцы периода 2007–2012 гг. усиливалось влияние циклонических погодных условий, сопровождавшихся адвекцией теплых воздушных масс, поэтому таяние и разрушение ледяного покрова и очищение морей ото льда в этот период начиналось в более ранние сроки и происходило интенсивно. В результате количество остаточных льдов перед началом ледообразования (в конце сентября) во всех морях было существенно меньше средних многолетних значений (табл. 8).

Таблица 8

Средние площади остаточных льдов в конце сентября в арктических морях и их величины в различные периоды 2007–2012 гг., %

Море	Средняя	Период, годы		
		2007–2012	2007–2009	2010–2012
Карское	29	4	4	4
Лаптевых	33	10	16	5
Восточно-Сибирское	57	10	5	15
Чукотское	15	2	0	3

Однако, как видно из табл. 8, во второй половине периода процессы очищения восточных арктических морей замедлились и количество остаточных льдов в среднем несколько возросло, что связано с эпизодической сменой циклонической циркуляции на антициклоническую в период таяния льда.

Смена циклонической циркуляции на антициклоническую, которая эпизодически проявлялась в период таяния ледяного покрова и устойчиво проявлялась в осенние, а затем и в зимние месяцы, характерна при переходе от «теплого» климатического периода к «холодному».

Таким образом, из вышеизложенного следует, что в восточном секторе Российской Арктики начался переход к похолоданию, тогда как в приатлантическом секторе продолжается теплый период.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Абдусаматов Х.И.* Солнце диктует климат Земли. СПб.: Из-во Logos, 2009. 198 с.
- Баширцев В.С., Машинич Г.П.* Переменность Солнца и климат Земли // Солнечно-земная физика. 2004. Вып. 6. С.135–137.
- Гриббин, Дж., Лэм Г.Г.* Изменение климата за исторический период // Изменения климата / Под ред. Дж. Гриббин, пер. с англ. Л.: Гидрометеиздат, 1980. С. 102–121.
- Гудкович З.М., Ковалев Е.Г.* О некоторых механизмах циклических изменений климата в Арктике и Антарктике // Океанология. 2002. Т. 42. № 6. С. 1–7.
- Гудкович З.М., Карклин В.П., Ковалев Е.Г., Смоляницкий В.М., Фролов И.Е.* Изменение морского ледяного покрова и других составляющих климатической системы в Арктике в связи с эволюцией полярных вихрей // Проблемы Арктики и Антарктики. 2008. № 1 (78). С. 48–58.
- Гудкович З.М., Карклин В.П., Смоляницкий В.М., Фролов И.Е.* Что происходит с климатом Земли? // Экологический вестник России. 2012а. № 5. С. 34–41.
- Гудкович З.М., Карклин В.П., Смоляницкий В.М., Фролов И.Е.* Переход от потепления к похолоданию климата Земли как результат действия естественных причин // Материалы Международной научной конференции «Глобальные экологические процессы» (Москва, 2–4 октября 2012 г.). М., 2012б. С. 23–30.
- Дмитриев А.А.* Динамика атмосферных процессов над морями российской Арктики. СПб.: Гидрометеиздат, 2000. 234 с.
- Карелин И.Д., Карклин В.П.* Припай и заприпайные полыньи арктических морей сибирского шельфа в конце XX – начале XXI века. СПб.: ААНИИ, 2012. 180 с.
- Клименко В.В.* Климатическая сенсация. Что нас ожидает в ближайшем и отдаленном будущем? «Публичные лекции «Полит.ру». URL: www.polit.ru/lectures/2007/02/15/klimenko.html [дата посещения 2.04.2013].
- Покровский О.М.* Экономические, политические и физические аспекты изменений климата // Проблемы анализа риска. 2009. Т. 6. № 4. С. 48–75.
- Фролов И.Е., Гудкович З.М., Карклин В.П., Ковалев Е.Г., Смоляницкий В.М.* Научные исследования в Арктике. Т. 2. Климатические изменения ледяного покрова морей Евразийского шельфа. СПб.: Наука, 2007. 136 с.
- Фролов И.Е., Гудкович З.М., Карклин В.П., Смоляницкий В.М.* Изменения климата – результат действия естественных причин // Экологический Вестник России. 2010. № 1. С. 49–54.
- Шерстюков Б.Г., Салугашвили Р.С.* Новые тенденции в изменениях климата Северного полушария Земли в последнее десятилетие // Труды ВНИИГМИ-МЦД, Обнинск. 2010. Вып. 175. С. 43–51.
- Buzin I.V.* Estimations of Some Components of Ice Conditions in Northeastern Barents Sea // International Journal of Offshore and Polar Engineering. 2006. Vol. 16. № 4. P. 274–282.
- Frolov I., Gudkovich Z., Karklin V., Kovalev E., Smolyanitsky V.* Climate Change in Eurasian Arctic Shelf Seas. Centennial Ice Cover Observations. Chichester, UK: Praxis Publishing Ltd, 2009. 164 p.
- Humlum O.* Climate 4you update August 2012. URL: <http://www.climate4you.com/index.htm> [дата посещения 2.04.2013].

*Z.M.GUDKOVICH, V.P.KARKLIN, E.U.MIRONOV, V.V.IVANOV, S.M.LOSEV, L.N.DYMENT,
V.M.SMOLYANITSKY, S.V.FROLOV, A.V.YULIN, E.A.USOLTSEVA*

DEVELOPMENT OF ICE AND WEATHER CONDITIONS IN THE ARCTIC DURING 2007–2013

The period 2007–2013 was characterized by a large-scale restructuring in the development of atmospheric processes and large anomalies in the development of the ice cover occurring against

the background of continued warming. Frequency of Arctic anticyclone increased in the autumn-winter period while its amplification and westward displacement lead to the blockage of the Atlantic cyclones, accompanied by an intense heat transfer towards the western Arctic seas and the Arctic Basin, adjacent to the North Atlantic. The increase in the frequency of the Arctic anticyclone in the winter time formed a stable anticyclonic ice drift in the Arctic Basin, with the center of circulation also shifted westward.

Due to restructuring of the atmospheric processes, conditions of the ice cover formation were significantly different in the western and eastern regions of the Arctic during 2007–2013. This manifested itself in the position of the residual and old ice boundaries in the Arctic Basin, as well as changes in the sea ice seasonal phenomena in the Arctic Siberian shelf seas, where the signs of the warming period completion were revealed, particularly noticeable in the eastern Arctic seas. Change of cyclonic circulation to anticyclonic one, which was occasionally observed during the period of ice melt and stably occurred in the autumn, and then further during winter time, is characteristic for a transition process from a «warm» to a «cold» climate period.

Keywords: *Signs of cooling, restructuring of the atmospheric circulation, Arctic anticyclone, ice circulation, displacement of the center of ice circulation, freezing time, fast ice area, frequency of polynyas, thick ice, residual ice cover, old ice.*