

УДК 551.467.3:523.9

DOI: 10.15587/2313-8416.2016.67027

## ИЗМЕНЕНИЯ ЛЕДОВИТОСТИ КАРСКОГО МОРЯ И СОЛНЕЧНАЯ АКТИВНОСТЬ

© А. В. Холопцев, М. П. Никифорова

*Изучены особенности телеконнекций современных изменений среднегодовых значений ледовитости различных районов Карского моря с солнечной активностью и арктическим колебанием. Выявлены районы, где эти связи являются значимыми при временных сдвигах этих процессов до 22 лет и при дальнейшем потеплении климата могут усиливаться, что позволяет предполагать возможность их использования при сверхдолгосрочном прогнозировании ледовитости*

**Ключевые слова:** ледовитость, солнечная активность, арктическое колебание, связи, временные сдвиги, Карское море

*The teleconnections peculiarities of the modern changes of yearly mean ice cover values in different Kara sea areas with solar activity and Arctic oscillation were investigated. Areas where these relationships are significant when time shifts of these processes are up to 22 years and with further climate warming may force were revealed. This suggests the possibility of their use in long-term forecast of sea ice cover*

**Keywords:** ice cover, solar activity, Arctic oscillation, relationships, time shifts, Kara sea

### 1. Введение

Ледовитость Арктических морей существенно влияет на развитие ландшафтных комплексов их побережий, а также судоходства на их водных путях. Вероятные в ближайшие десятилетия изменения ледовитости этих морей необходимо учитывать и при проектировании технических средств, которые предназначены для освоения их природных ресурсов. Поэтому совершенствование методик моделирования и прогнозирования изменений их ледовитости является актуальной проблемой физической географии, океанотехники и эксплуатации водного транспорта.

Наибольший интерес решение рассматриваемой проблемы представляет в отношении морей, где обнаружены перспективные месторождения углеводородов, которые предполагается осваивать в ближайшие годы.

Как известно, многие богатейшие газовые и газоконденсатные месторождения России, в том числе уникальные морские газоконденсатные месторождения – Русановское и Ленинградское, расположены на Приямальском шельфе Карского моря. Здесь же расположены и весьма богатые прибрежные газовые месторождения – Харасавэйское, Крузенштернское и др., которые, в соответствии с Энергетической стратегией развития России [1], предполагается ввести в эксплуатацию к 2025 г. Учитывая исключительно высокую их перспективность, на побережьях полуострова Ямал уже ведется строительство новых мор-

ских портов, начаты работы по созданию всех прочих компонентов газодобывающей, транспортной и перерабатывающей инфраструктуры [2]. По Карскому морю проходит также один из ключевых участков Северного Морского пути – настоящей «Дороги жизни» – важнейшей транспортной коммуникации России, обеспечивающей жизнедеятельность большинства ее населенных пунктов и промышленных предприятий, расположенных в Заполярье. Поэтому Карское море относится к числу регионов Арктики, для которых решение рассматриваемой проблемы представляет не только теоретический, но немалый практический интерес.

### 2. Обзор литературы

Основы современных представлений о факторах изменений ледовитости различных океанических районов, которые могут быть использованы при их прогнозировании, заложены в работах В. Ю. Визе [3], Н. Н. Зубова [4], В. В. Шулейкина [5].

В. Ю. Визе выявил наличие статистической связи солнечной активности с ледовитостью арктических морей, а также зависимость ее количественной меры от места, где за последней проводятся наблюдения и от периода времени, для которого они проводятся [3]. Тем самым получили дальнейшее развитие представления о солнечной активности как возможном предикторе изменений ледовитости, основывающиеся на работах Г. Клейтона [6] и Л. Мекинга [7], опубликованных в начале XX в.

Н. Н. Зубов [4] установил, что к числу факторов ледовитости Баренцева моря относятся изменения аномалий температуры его поверхностного слоя, обусловленные влиянием вод, приносимых из Атлантики Нордкапским течением. Адекватность данных выводов на примере Карского моря подтвердил В. В. Шулейкин, который впервые рассчитал его тепловой баланс [5].

Дальнейшие исследования особенностей телеконнекций изменений ледовитости арктических морей и солнечной активности, осуществил И. М. Соскин, который пришел к выводу, что влияние последней на гидросферу осуществляется не непосредственно, а через атмосферную циркуляцию [8].

По мнению С. И. Кан, существенно влияют на изменения ледовитости арктических морей не только солнечная активность, но и предшествующие метеорологические, гидрологические и ледовые условия [9]. Данную точку зрения относительно учета солнечной активности при сверхдолгосрочном прогнозировании ледовитости разделяет также И. В. Максимов [10].

А. И. Каракаш [11] подтвердил наличие значимых статистических связей между ледовитостью арктических морей, а также предшествующей атмосферной циркуляцией, температурой воздуха и температурой воды, которые пригодны для прогнозирования ее изменений.

Анализ изложенных представлений о причинах изменения ледовитости арктических морей свидетельствует о том, что к числу наиболее существенных для многих из них, в том числе и Карского моря, могут относиться изменения характеристик приводного ветра, а также поверхностных течений. Эти факторы непосредственно приводят в движение их ледовые поля и влияют на потоки тепла, которые поступают к ним и вызывают их таяние [12, 13]. Вместе с тем единого мнения о физическом механизме, обуславливающем влияние солнечной активности на ледовитость тех или иных океанических районов, а также характере этого влияния, до сих пор не сформировалось. Большинство авторов допускают, что подобное влияние если и существует, то является опосредованным и оказывается благодаря воздействию солнечной активности на атмосферную циркуляцию.

Характеристики поля скорости ветра в приземном слое атмосферы над Арктикой определяются синоптическим положением над всем Северным полушарием. Тем не менее, наиболее существенно влияют на них барические градиенты, возникающие между приполярными регионами Арктики и регионами Северного субарктического и Северного умеренного климатического пояса. В зимне-весенние и в летне-осенние месяцы направления этих градиентов противоположны, а их модули достигают экстремальных значений соответственно в марте и октябре. В результате этого в конце лета над Карским морем преобладают ветры с северных румбов, а в конце зимы – с южных [14]. Поскольку в зимние и весенние месяцы большая часть акватории Карского моря скована льдами [15], наиболее существенное влияние

на его ледовитость рассматриваемый фактор оказывает в летне-осенние месяцы.

В указанный период характеристики барических градиентов над Арктикой в основном определяются изменениями поверхностных температур регионов Северного полушария, которые расположены в его Субарктическом и Умеренном климатическом поясе [16]. Поскольку летом и в начале осени подстилающая поверхность этих регионов в основном свободна от снега и льда, значимое влияние на эти изменения способны оказывать вариации потоков поступающей на нее суммарной солнечной радиации, которые в значительной мере обусловлены состоянием расположенной над ними облачности [17].

Состояние облачности верхнего яруса слоистых форм в значительной мере зависит от температурного режима соответствующих воздушных слоев, а также концентраций в них атмосферных ядер конденсации [18].

К числу наиболее эффективных ядер конденсации относятся твердые либо жидкие наночастицы, а также ионы, несущие тот или иной электрический заряд. Поскольку одним из основных ионизирующих факторов в верхних слоях тропосферы являются потоки вторичных космических лучей, образующихся в верхних слоях атмосферы, при взаимодействии содержащихся в них молекул и атомов с галактическими космическими лучами, оптическая плотность упомянутой облачности непосредственно связана с вариациями потоков этих лучей, проникающих в земную атмосферу [19]. Вследствие этого, а также благодаря наличию Форбуш-эффекта [20, 21], к числу значимых факторов оптической плотности облачности верхнего яруса может относиться солнечная активность [22].

Другой причиной, повышающей значимость подобного влияния, может служить зависимость от солнечной активности потоков ультрафиолетовой и инфракрасной радиации, поглощаемой стратосферным озоном. При повышении солнечной активности эти потоки ощутимо увеличиваются, что приводит к росту средних температур слоев стратосферы, в которых происходит их поглощение. Как следствие, увеличиваются также потоки тепла, поступающие из стратосферы в тропосферу, что приводит к потеплению в ее верхних слоях и уменьшению оптической плотности содержащейся в них облачности [23].

Изложенные факты позволяют выдвинуть следующую гипотезу:

В современный период и в ближайшем будущем значимым фактором изменений среднегодовых значений ледовитости многих шельфовых районов Карского моря может являться солнечная активность. При ее повышении, ледовитость подобных районов возрастает. Физическим механизмом, обуславливающим влияние на их ледовитость солнечной активности, является непосредственное воздействие этого фактора на оптическую плотность облачности над регионами Субарктического и Северного умеренного климатического пояса.

Как отмечал В. Ю. Визе, значимость статистической связи между солнечной активностью и ледо-

витостью того или иного моря зависит от его расположения, а также отрезка времени, для которого она оценивается. Следовательно, ее значимость для различных районов Карского моря и для современного периода не очевидна и нуждается в оценке. Выдвинутая гипотеза тривиальной не является, еще и потому, что изменения ледовитости морских акваторий могут быть вызваны не только ветровым сгоном или нагоном ледовых полей, но и другими причинами, в том числе и не связанными с ветром. К последним, в частности, может относиться изменения годовых объемов поступающего в данное море речного стока, увеличение которых приводит к снижению солености поверхностного слоя отдельных его районов и способствует более раннему началу в них льдообразования осенью [3].

Ледовитость некоторых прибрежных районов Карского моря может увеличиваться и в случаях, когда возрастают объемы льда, выносимого в них реками [12]. Даже в случаях, когда изменения ледовитости действительно вызвано вариациями характеристик ветра, далеко не очевидно, что причиной последних являются перемены распределения в Северном полушарии планеты оптической плотности облачности, которые обусловлены влиянием на нее солнечная активность.

К тому же значимость влияния солнечной активности на оптическую плотность облачности над регионами мира, в которых изменения их поверхностных температур способны значимо влиять на вариации барических градиентов над Арктикой и Субарктикой, не доказана, а расположение таких районов не установлено.

Косвенным подтверждением непротиворечивости выдвинутой гипотезы могло бы являться совпадение расположений некоторых районов Карского моря районов, в которых изменения среднегодовых значений ледовитости значимо связаны с солнечной активностью, а также районов, где они связаны с вариациями состояния Арктического колебания [24]. Тем не менее, существование и таких районов до сих пор не установлено.

Подтверждение адекватности данной гипотезы позволило бы использовать для прогнозирования ледовитости в соответствующих регионах Карского моря результаты мониторинга солнечной активности, которая является квазипериодическим процессом. Так как данный процесс содержит в своем спектре мощные составляющие с периодами, близкими к 11 годам (цикл Швабе), 22 годам (цикл Хейла), 80 годам (цикл Глейсберга), 210 годам (цикл Зюсса) и др. [22], его учет в качестве предиктора, позволил бы более адекватно прогнозировать их ледовитость с упреждениями, сопоставимыми с нормативными сроками эксплуатации проектируемых судов и океанотехнических сооружений.

Инструментальные наблюдения за изменениями различных индексов солнечной активности уже более столетия ведутся многими астрономическими обсерваториями мира, а их результаты представлены в Интернете [25]. Спутниковый мониторинг ледовитости различных районов Арктики осуществляется с

1982 г., а полученные при этом результаты содержатся в [26]. Информация об изменениях состояния Арктического колебания в период с 1948 года содержится в [27]. Тем не менее, ранее проверка адекватности выдвинутой гипотезы не производилась.

Учитывая изложенное, как объект исследования, в данной работе рассмотрены изменения среднегодовых значений ледовитости всех районов Карского моря. Предметом исследования являются статистические связи изменений среднегодовых значений ледовитости всех районов Карского моря, а также солнечной активности.

### 3. Цель и задачи исследования

Целью работы является проверка адекватности выдвинутой гипотезы, а также выявление расположений районов Карского моря, в которых изменения среднегодовых значений их ледовитости значимо статистически связаны с солнечной активностью.

Для достижения указанной цели решены следующие задачи:

1. Анализ значимости статистических связей изменений среднегодовых значений ледовитости всех районов Карского моря с солнечной активностью.

2. Анализ значимости статистических связей изменений среднемесячных значений ледовитости всех районов Карского моря в любые месяцы с солнечной активностью.

3. Анализ значимости статистических связей изменений среднегодовых значений ледовитости всех районов Карского моря с Арктическим колебанием.

### 4. Фактический материал и методика исследований

Состояние солнечной активности принято характеризовать различными ее индексами. Один из них – поток солнечного радиоизлучения с длиной волны 10,7 см, может регистрироваться при любом состоянии облачности над пунктом наблюдения, вследствие чего, в отличие от других индексов, временные ряды результатов его мониторинга не содержат пропусков. Поэтому при решении указанных задач, как фактический материал о солнечной активности, использованы временные ряды среднемесячных значений указанного ее индекса, полученные из [25]. В указанном источнике представлены временные ряды значений данного индекса для всех месяцев за период с января 1948 г.

При решении первой задачи по среднемесячным значениям рассматриваемого индекса для каждого года, относящегося к периоду его регистрации, вычислены его среднегодовые значения. При решении второй задачи использованы временные ряды данного индекса за все месяцы.

Как фактический материал о ледовитости Карского моря, использованы данные о ее среднемесячных значениях для всех районов этого моря, ограниченных квадратами координатной сетки размерами  $1^\circ \times 1^\circ$ , за период с января 1982 г., представленные в [26]. При решении первой задачи для каждого года вычислены среднегодовые значения изучаемой характеристики. При решении второй задачи использо-

ваны временные ряды данного индекса за все месяцы. Необходимые для решения третьей задачи сведения об изменениях среднемесячных значений индекса Арктического колебания, использованные для вычисления его среднегодовых значений для периода с 1948 г., содержатся в [27].

Поскольку все три решаемые задачи состоят в оценке характеристик статистической связи между теми или иными рассматриваемыми процессами, при их решении использован метод корреляционного анализа. Для ослабления влияния на его результаты нестационарности временных рядов изучаемых процессов, в каждом из них выделены и скомпенсированы их линейные тренды [28].

Как известно [29], статистическая связь между изучаемым процессом и 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. Учитывая это, при вычислениях значений упомянутого коэффициента использованы фрагменты временных рядов изучаемых процессов, содержащие по 33 члена, а значимыми признаны статистические связи, которым соответствуют их уровни, превышающие 95 % порог достоверной корреляции по критерию Стьюдента (превосходящий вероятное отклонение оценок данного коэффициента, при указанной длине таких фрагментов в 7 раз) [28].

Учитывая вероятную инерционность изменений характеристик движения ледовых полей в Карском море, при решении первой задачи оценена значимость связи между рядами среднегодовых значений ледовитости каждого района Карского моря и рядами солнечной активности, которые опережают их на 0–22 года. При решении второй задачи оценена значимость связи между рядами среднемесячных значений ледовитости каждого рассматриваемого квадрата Карского моря в том или ином месяце, а также опережающими их по времени на 0–3 мес. рядами солнечной активности. Результаты, полученные для летне-осенних месяцев, сопоставлены с результатами для зимне-весенних месяцев. При решении третьей задачи оценена значимость связи между рядами среднегодовых значений ледовитости каждого района Карского моря и рядами соответствующих значений индекса Арктического колебания, которые опережают их на 0–22 года, а полученные при этом ре-

зультаты, сопоставлены с результатами решения первой задачи. Расположения районов Карского моря, для которых выявлены значимые статистические связи тех или иных изучаемых процессов, отображены на контурных картах Карского моря с использованием метода триангуляции Делоне [30].

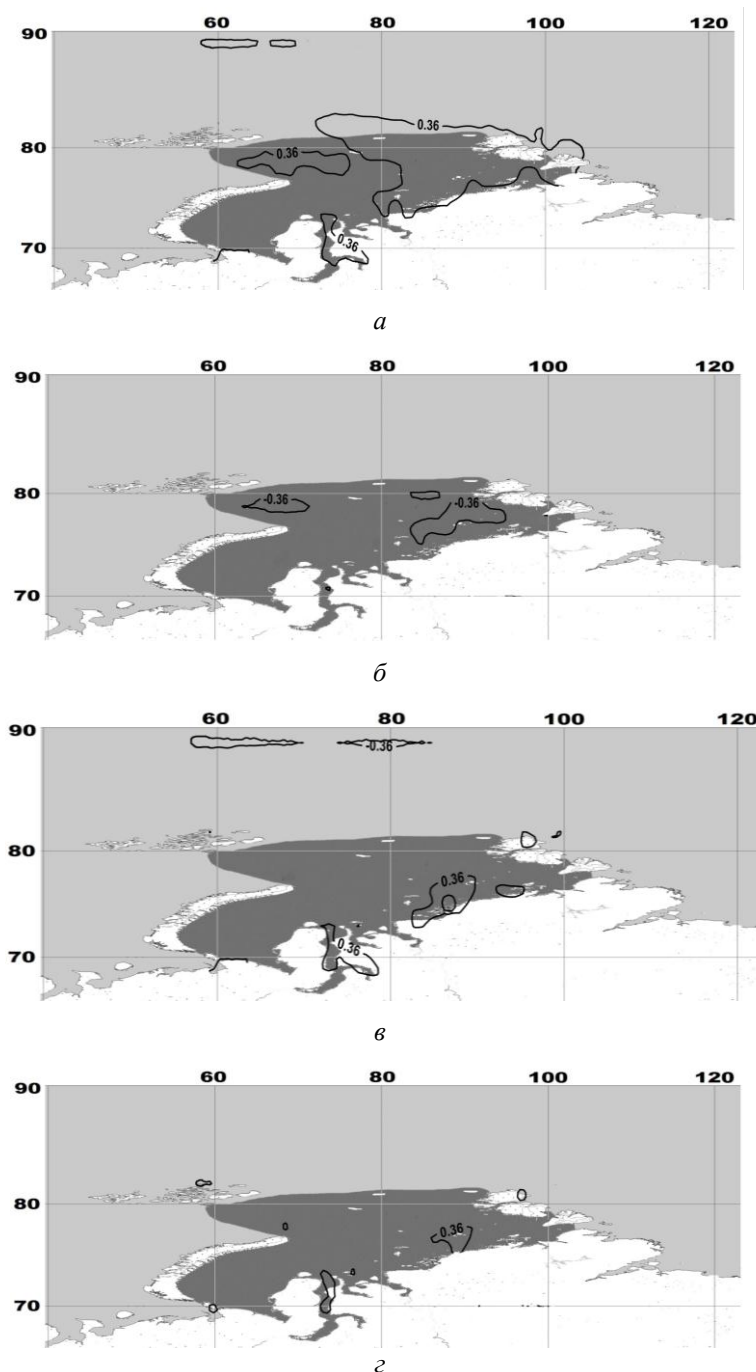


Рис. 1. Расположения районов Карского моря, для которых выявлены значимые статистические связи изменений среднегодовых значений их ледовитости, а также вариаций солнечной активности, опережающих их на время: а – 0 лет; б – 5 лет; в – 11 лет; з – 22 года

### 5. Результаты исследований и их анализ

В соответствии с описанной методикой, в результате решения первой задачи оценены статистические связи между изменениями среднегодовых

значений ледовитости всех районов Карского моря, а также солнечной активностью. При этом выполнены оценки для случаев, временной сдвиг между началами рассматриваемых процессов составлял 0–22 года. Примеры полученных результатов для некоторых значений этого сдвига, представлены на рис. 1.

Из рис. 1, *а* следует, что районы Карского моря, для которых изменения среднегодовых значений их ледовитости, а также солнечная активность, на совпадающих отрезках времени значимо связаны между собой, существуют в весьма большом количестве, а корреляция этих процессов всюду положительна. Располагаются подобные районы преимущественно в Северо-Восточной части моря, хотя немало их и в его Юго-Западной части, в том числе в Обской губе и районе морских газоконденсатных месторождений Русановского и Ленинградского.

Рис. 1, *б* показывает, что при временном сдвиге между изменениями среднегодовых значений ледовитости, а также солнечной активности 5 лет районы Карского моря, где их корреляция значима, существуют и в Северо-Восточной части моря, и в его Юго-Западной части, в том числе в Обской губе. При этом корреляция подобных процессов всюду отрицательна, а количество выявленных районов меньше, чем при отсутствии временных сдвигов.

Как видно из рис. 1, *в*, при временном сдвиге между рассматриваемыми процессами 11 лет районы Карского моря, где их корреляция значима, существуют лишь в Северо-Восточной части моря и в Обской губе. При этом их корреляция всюду положительна, а количество выявленных районов еще меньше, чем показано на предыдущих рисунках.

Такие же особенности свойственны расположениям выявленных районов Карского моря и при временных сдвигах изменений среднегодовых значений их ледовитости, относительно солнечной активности 22 года. В этом нетрудно убедиться, рассмотрев рис. 1, *г*.

Сопоставляя рис. 1, *а–г*, нетрудно заметить, что для некоторых районов Карского моря связи изменений среднегодовых значений их ледовитости, а также солнечной активности, значимы даже при временных сдвигах 22 г. К подобным его районам относятся Об-Обская губа, а также акватории его Северо-Восточной части, расположенные непосредственно на трассе Северного морского пути.

Данный результат соответствует представлениям об адекватности выдвинутой гипотезы и целесообразности изучения возможностей использования солнечной активности в качестве предиктора при разработке сверхдолгосрочных прогнозов ледовитости для указанных районов.

При решении второй задачи оценены статистические связи межгодовых изменений среднемесячных значений ледовитости различных районов Карского моря, с опережающими их по времени рядами солнечной активности. При этом установлено, что расположения его районов, для которых подобные связи являются значимыми, практически не зависят от временных сдвигов на единицы месяцев между началами соответствующих временных рядов. В тоже время от номера месяца их зависимость существенна.

Как примеры, полученные результаты для сентября (одного из летне-осенних месяцев) и декабря (зимнего месяца), сопоставлены на рис. 2.

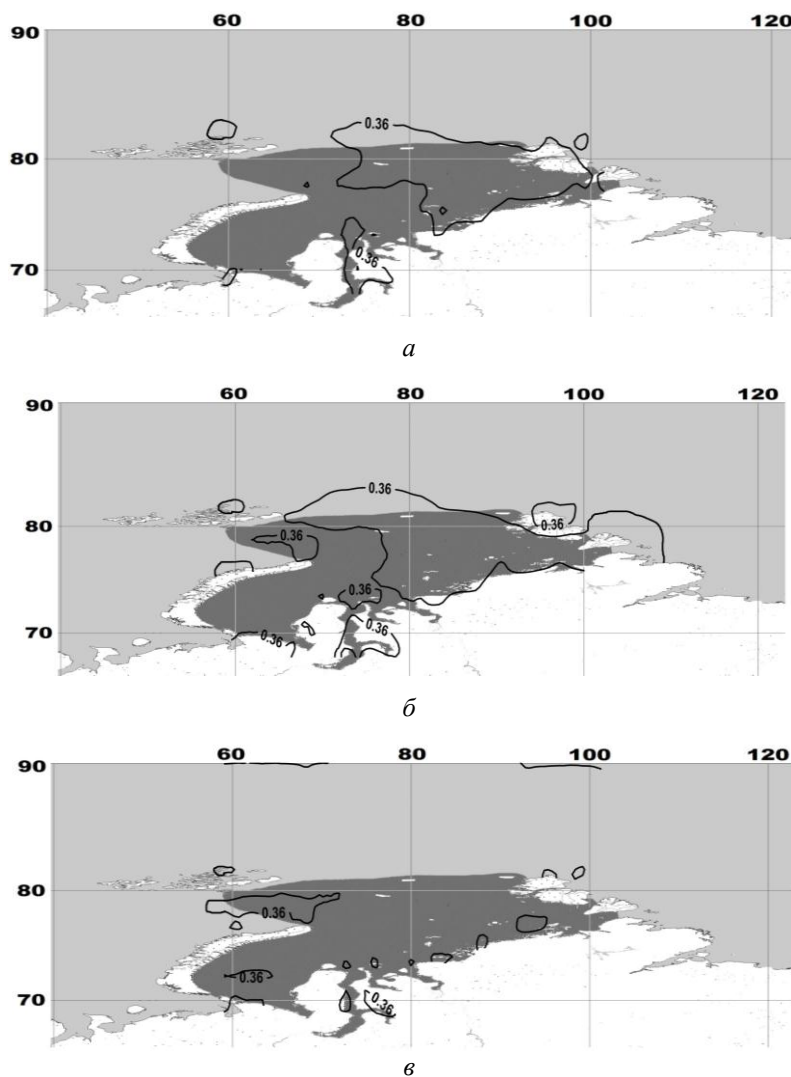


Рис. 2. Расположения районов Карского моря, для которых выявлены значимые статистические связи межгодовых изменений среднемесячных значений их ледовитости, а также совпадающих с ними по времени вариаций солнечной активности: *а* – сентябрь; *б* – ноябрь; *в* – декабрь



Из рис. 2, *а* видно, что в сентябре к числу районов Карского моря, где межгодовые изменения среднемесячных значений их ледовитости значимо связаны с солнечной активностью, относятся практически все районы его Северо-Восточной части, начиная с Обской губы. Аналогичные результаты получены для месяцев июля и августа (от июля к сентябрю суммарная площадь выявленных районов возрастает).

Из рис. 2, *б* следует, что в ноябре количество изучаемых районов Карского моря несколько меньше, но их расположение границы области, в которой они локализованы, остается практически таким же.

Рис. 2, *в* показывает, что в декабре количество районов Карского моря, где межгодовые изменения среднемесячных значений их ледовитости значимо связаны с солнечной активностью, резко снижается. В январе—мае такие районы полностью отсутствуют. В июне рассматриваемые районы появляются вновь, но их количество весьма не велико (их еще меньше, чем в декабре).

Как видим, выявленные особенности внутригодовой изменчивости расположения выявляемых районов качественно соответствуют изложенным выше представлениям о том, какими они могли бы быть, при условии, что первопричиной этой изменчивости являются сезонные вариации состояний Арктического колебания и межгодовые изменения солнечной активности.

При решении третьей задачи оценены статистические связи межгодовых изменений среднегодовых значений ледовитости различных районов Карского моря, с опережающими их по времени рядами среднегодовых значений Арктического колебания. Установлено, что районы данного моря, в которых эти процессы между собой значимо связаны, действительно существуют. Их расположение зависит от временных сдвигов между рассматриваемыми процессами.

Как пример, на рис. 3 представлены расположения районов Карского моря, где рассматриваемые процессы между собой значимо связаны.

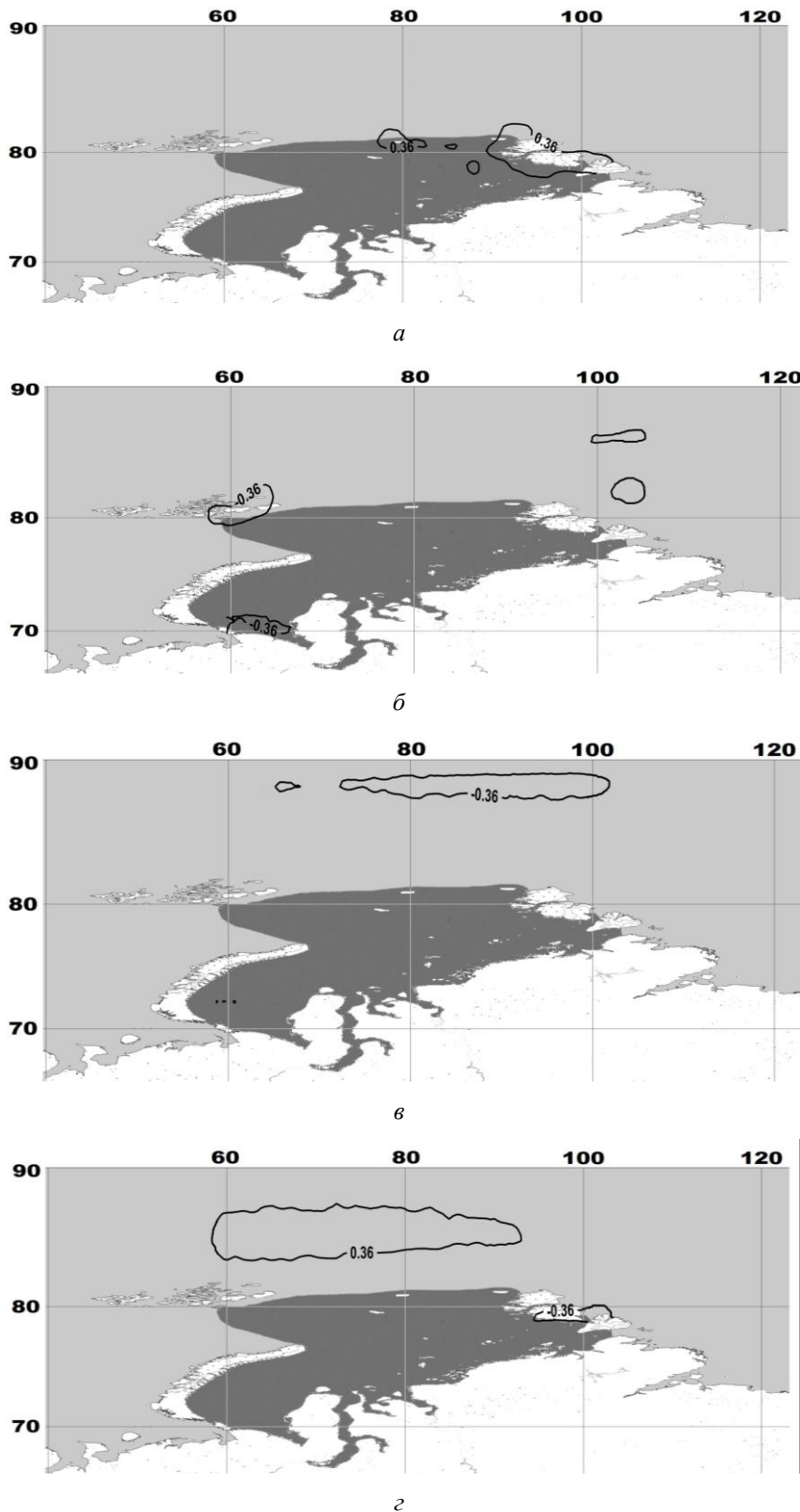


Рис. 3. Расположения районов Карского моря, для которых выявлены значимые статистические связи межгодовых изменений среднегодовых значений их ледовитости, а также вариаций индекса Арктического колебания: *а* – сдвиг=0; *б* – сдвиг=1 год; *в* – сдвиг=2 года; *г* – сдвиг=3 года

Рис. 3, *a* указывает на то, что районы Карского моря, где межгодовые изменения среднегодовых значений их ледовитости, а также совпадающие с ними по времени вариации индекса Арктического колебания, значимо и положительно коррелированы между собой, существуют. Сопоставляя рис. 3, *a* и рис. 1, *a* нетрудно заметить, что в большинстве из этих районов изменения их ледовитости значимо связаны с солнечной активностью. Это косвенно подтверждает непротиворечивость выдвинутого предположения и свидетельствует в пользу его адекватности.

Поскольку в Карском море выявлено много районов, для которых изменения в период 1982–2014 гг. среднегодовых значений их ледовитости значимо и положительно коррелированы как с солнечной активностью, так и с Арктическим колебанием, представляется вероятным, что значимая положительная корреляция может существовать также между этими факторами.

При этом значения коэффициента их корреляции могут изменяться в зависимости от года начала рассматриваемых фрагментов их временных рядов. Для проверки справедливости данного предположения выполнен корреляционный анализ связей между совпадающими по времени фрагментами временных рядов среднегодовых значений индексов солнечной активности и Арктического колебания. Рассматривались все фрагменты рядов этих процессов длиной 33 г., начала которых лежат в пределах от 1950 г. до 1982 г. Установлено, что в рассматриваемой зависимости присутствует возрастающий тренд, а оцененная по критерию Стьюдента достоверность статистического вывода о значимости связи между изучаемыми процессами на отрезке времени 1982–2014 гг. превышает 0,99.

Выявленный характер изменения силы связи совпадающих по времени фрагментов длиной 33 года рядов среднегодовых значений индекса солнечной активности, а также индекса Арктического колебания при переменах года их начала позволяет предполагать, что и в ближайшие годы, а быть может и десятилетия он сохранится таким же. В пользу справедливости этого предположения свидетельствуют следующие соображения, которые основаны на допущении, что средние концентрации в земной атмосфере диоксида углерода и метана в XXI в. будут увеличиваться (что соответствует представлениям об этом процессе, предложенным IPCC).

В результате этого будет происходить увеличение потоков обратного теплового излучения, поступающего на земную поверхность. Подобное излучение, возвращающееся на каждый участок земной поверхности, пропорционально потоку уходящего от него теплового излучения земной поверхности (ТИЗП). Коэффициент их пропорциональности определяется содержанием в атмосфере парниковых газов и тем больше, чем оно больше. Поток ТИЗП, формирующегося на каждом участке земной поверхности, тем больше, чем больше его температура.

В результате этого при одинаковом увеличении концентраций парниковых газов в атмосфере над приполярными районами Арктики и регионами Суб-

арктики и Северного климатического пояса, поступающие на различные участки их поверхности потоки обратного теплового излучения атмосферы, будут возрастать в различной степени. Увеличение этих потоков для покрытых льдами приполярных районов Арктики будет ощутимо меньше чем для свободных ото льда и снега регионов Субарктики и Северного климатического пояса. Как следствие, в летние месяцы разность атмосферных давлений между этими регионами (АО) будет возрастать гораздо в большей степени, чем в зимние месяцы.

В свою очередь ТИЗП в значительной мере формируется с участием суммарной солнечной радиации, поглощенной земной поверхностью. Поэтому изменения оптической плотности облачности, обусловленные солнечной активностью, летом будут вызывать в регионах Субарктики и Северного климатического пояса соответствующие вариации ТИЗП, с существенно большими амплитудами, чем в приполярных районах.

Следовательно, представляется вероятным, что в XXI в. влияние солнечной активности на ледовитость Карского моря будет лишь усиливаться, а эффективность данного предиктора возрастать.

Несмотря на то, что установленные факты не доказывают адекватность рассматриваемой гипотезы, а лишь соответствуют представлениям о ее справедливости, вся их совокупность свидетельствует о целесообразности учета солнечной активности при разработке сверхдолгосрочных прогнозов ледовитости многих районов Карского моря.

## 6. Выводы

Таким образом, установлено, что:

1. В Карском море существуют многочисленные районы, где значимым фактором изменений их ледовитости является солнечная активность. Расположены они на трассе Северного морского пути (в основном в Северо-восточной части моря), а также Пряймальском шельфе и в Обской губе.

2. Влияние этого фактора сказывается на изменениях как среднегодовых значений ледовитости указанных районов, так и ее среднемесячных значений в месяцы с июля по ноябрь. При дальнейшем увеличении содержания в земной атмосфере парниковых газов это влияние будет лишь усиливаться, что будет приводить к повышению эффективности солнечной активности, как предиктора, при прогнозировании изменений ледовитости.

3. Для большинства из выявленных районов изменения их ледовитости значимо и положительно коррелированы с совпадающими по времени вариациями состояний и солнечной активности и Арктического колебания. Последнее позволяет объяснять влияние солнечной активности на ледовитость через ее воздействие на поле атмосферного давления Северного полушария и, в частности, состояние Арктического колебания.

## Литература

1. Природный газ. Государственный доклад «О состоянии и использовании минерально-сырьевых ресурсов

Российской Федерации за 2012» [Текст]. – Информационно-аналитический центр «Минерал».

2. Имшенецкий, В. В. Технология СПГ – перспективный вариант освоения ресурсов газа п-ва Ямал [Текст] / В. В. Имшенецкий, Ю. Н. Орлов. – Москва, 2007. – 220 с.

3. Визе, В. Ю. Основы долгосрочных ледовых прогнозов для арктических морей [Текст] / В. Ю. Визе. – М.: Труды ААНИИ, 1944. – 273 с.

4. Зубов, Н. Н. Морские воды и льды [Текст] / Н. Н. Зубов. – М.: Гидрометиздат, 1938. – 454 с.

5. Шулейкин, В. В. Физика моря [Текст] / В. В. Шулейкин. – М.: Наука, 1968. – 1083 с.

6. Герман, Дж. Р. Солнце, погода, климат [Текст] / Дж. Р. Герман, Р. А. Голдберг. – Л.: Гидрометеоздат, 1981. – 109 с.

7. Meking, L. Nordamerika, Nordeuropa und der Golfstorm in der elfjarigen Klimaperiode A.n.n.d. Hydrographil usw [Text] / L. Meking. – 1918.

8. Абузаров, З. К. Морские гидрологические информации и прогнозы [Текст] / З. К. Абузаров, Ю. И. Шамраев. – Л.: Гидрометеоздат, 1974. – 219 с.

9. Кан, С. И. Современное состояние методов ледовых прогнозов на морях СССР [Текст] / С. И. Кан // Океанология. – 1967. – Т. 7, Вып. 5. – С. 786–792.

10. Максимов, И. В. Геофизические силы и воды океана [Текст] / И. В. Максимов. – Л.: Гидрометеоздат, 1970. – 447 с.

11. Каракаш, А. И. Ледовые прогнозы на неарктических морях СССР [Текст] / А. И. Каракаш // Тр. Центр. Ин-та прогнозов. – 1969. – Вып. 51. – С. 101–119.

12. Бородачев, В. Е. Льды Карского моря [Текст] / В. Е. Бородачев. – СПб.: «Гидрометеоздат», 1998. – 182 с.

13. 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.

14. Алексеев, Г. В. Исследования изменений климата Арктики в XX столетии [Текст] / Г. В. Алексеев // Труды ААНИИ. – 2003. – Т. 446. – С. 6–21.

15. 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. Смоляницкий // Проблемы Арктики и Антарктики. – 2007. – Вып. 75. – С. 149–160.

16. Ермаков, Ю. Г. Физическая география морей и океанов [Текст]: учебник / Ю. Г. Ермаков, Г. М. Игнатъев, Л. И. Куракова и др.; под общей ред. А. М. Рябчикова. – М.: Высш. Шк., 1988. – 592 с.

17. Salby, M. L. Fundamentals of Atmospheric Physics [Text] / M. L. Salby. – New York: Academic Press, 1996. – 560 p.

18. Хромов, С. П. Метеорология и климатология [Текст] / С. П. Хромов, М. А. Петросянц. – изд. 7-е. – М.: МГУ, 2006. – 582 с.

19. Калмыков, Н. Н. Галактические космические лучи [Электронный ресурс] / Н. Н. Калмыков, Г. В. Куликов, Т. М. Роганова // Режим доступа: <http://www.kosmofizika.ru/abmn/kalmikov/cosrays.htm>

20. Максимов, В. П. Солнечные факторы, определяющие состояние космической погоды и задачи их прогнозирования [Электронный ресурс] / В. П. Максимов // Режим доступа: <http://www.kosmofizika.ru/irkutsk/maksimov.htm>

21. Еселевич, В. Г. Физические основы прогнозирования возмущений в околоземной среде по характеристикам Солнца [Электронный ресурс] / В. Г. Еселевич // Режим доступа: <http://www.kosmofizika.ru/irkutsk/eselevich.htm>

22. Абусаматов, Х. И. Солнце диктует климат Земли [Текст] / Х. И. Абусаматов. – С.-Пб.: «Logos», 2009. – 200 с.

23. Холопцев, А. В. Роль изменений солнечной активности и состояния озоносферы в глобальном затемнении земной атмосферы [Текст] / А. В. Холопцев, М. П. Никифорова // ScienceRise. – 2014. – Т. 5, № 1 (5). – С. 23–35. doi: 10.15587/2313-8416.2014.29735

24. Володин, Е. М. Естественные колебания климата на временных масштабах порядка десятилетия [Текст] / Е. М. Володин // Фундаментальная и прикладная климатология. – 2015. – № 1. – С. 78–95.

25. База данных об изменениях потока солнечного радиоизлучения с длиной волны 10,7 см [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.ngdc.noaa.gov/>

26. База данных об изменениях ледовитости различных районов мира.

27. База данных об изменениях состояния Арктического колебания.

28. База данных изменений глобальных климатических индексов [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.cpc.noaa.gov/>

29. Кобзарь, А. И. Прикладная математическая статистика [Текст] / А. И. Кобзарь. – М.: Физматлит, 2006. – 816 с.

30. Наставление по службе прогнозов. Раздел 3, часть. III. Служба морских гидрологических прогнозов [Текст]. – Л.: Гидрометеоздат, 1982. – 143 с.

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

#### References

1. Prirodnyj gaz. Gosudarstvennyj doklad «O sostojanii i ispol'zovanii mineral'no-syr'evykh resursov Rossijskoj Federacii za 2012». Informacionno-analitcheskij centr «Mineral».

2. Imsheneckij, V. V., Orlov, Ju. N. (2007). Tehnologija SPG – perspektivnyj variant osvoenija resursov gaza p-va Jamal. Moscow, 220.

3. Vize, V. Ju. (1944). Osnovy dolgosrochnykh ledovykh prognozov dlja arkticheskikh morej. Moscow: Trudy AANII, 273.

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

5. Shulejkin, V. V. (1968). Fizika morja. Moscow: Nauka, 1083.

6. German, Dzh. R., Goldberg, R. A. (1981). Solnce, pogoda, klimat. Leningrad: Gidrometeoizdat, 109.

7. Meking, L. (1918). Nordamerika, Nordeuropa und der Golfstorm in der elfjarigen Klimaperiode A.n.n.d. Hydrographil usw.

8. Abuzjarov, Z. K., Shamraev, Ju. I. (1974). Morskie gidrologicheskie informacii i prognozy. Leningrad: Gidrometeoizdat, 219.

9. Kan, S. I. (1967). Sovremennoe sostojanie metodov ledovykh prognozov na morjah SSSR. Okeanologija, 7 (5), 786–792.

10. Maksimov, I. V. (1970). Geofizicheskie sily i vody okeana. Leningrad: Gidrometeoizdat, 447.

11. Karakash, A. I. (1969). Ledovye prognozy na nearkticheskikh morjah SSSR. Tr. Centr. In-ta prognozov, 51, 101–119.

12. Borodachev, V. E. (1998). L'dy Karskogo morja. Sankr-Peterburg: «Gidrometeoizdat», 182.

13. Dumanskaja, I. O., Fedorenko, A. V. (2008). Analiz svjazi ledovykh harakteristik morej evropejskoj chasti Rossii s makrocirkuljacionnymi atmosfernymi processami. Meteorologija i gidrologija, 12, 82–94.

14. Alekseev, G. V. (2003). Issledovanija izmenenij klimata Arktiki v XX stoletii. Trudy AANII, 446, 6–21.

15. Frolov, I. E., Gudkovich, Z. M., Karklin, V. P., Kovalev, E. G., Smoljanickij, V. M. (2007). Klimaticheskie iz-



menenija ledovih uslovij v arkticheskikh morjah Evrazijskogo shel'fa. Problemy Arktiki i Antarktiki, 75, 149–160.

16. Ermakov, Ju. G., Ignat'ev, G. M., Kurakova, L. I. et al; Rjabchikov, A. M. (Ed.) (1988). Fizicheskaja geografija morej i okeanov. Moscow: Vyssh. Shk., 592.

17. Salby, M. L. (1996). Fundamentals of Atmospheric Physics. New York: Academic Press, 560.

18. Hromov, S. P., Petrosjanc, M. A. (2006). Meteorologija i klimatologija. Moscow: MGU, 582.

19. Kalmykov, N. N., Kulikov, G. V., Roganova, T. M. Galakticheskie kosmicheskie luchi. Available at: <http://www.kosmofizika.ru/abmn/kalmikov/cosrays.htm>

20. Maksimov, V. P. Solnechnye faktory, opredelajushhie sostojanie kosmicheskoj pogody i zadachi ih prognozirovanija. Available at: <http://www.kosmofizika.ru/irkutsk/maksimov.htm>

21. Eselevich, V. G. Fizicheskie osnoovy prognozirovanija vozmushhenij v okolozemnooj srede po harakteristikam Solnca. Available at: <http://www.kosmofizika.ru/irkutsk/eselevich.htm>

22. Abusamatov, H. I. (2009). Solnce diktuet klimat Zemli. Sankt-Peterburg: «Logos», 200.

23. Holopcev, A. V., Nikiforova, M. P. (2014). The role of solar activity variations and ozonosphere state as global

dimming of earth's atmosphere. ScienceRise, 5/1 (5), 23–35. doi: 10.15587/2313-8416.2014.29735

24. Volodin, E. M. (2015). Estestvennye kolebanija klimata na vremennyh masshtabah porjadka desjatiletija. Fundamental'naja i prikladnaja klimatologija, 1, 78–95.

25. Baza dannyh ob izmenenijah potoka solnechnogo radioizluchenija s dlinoj volny 10,7 sm. Available at: <https://www.ngdc.noaa.gov/>

26. Baza dannyh ob izmenenijah ledovitosti razlichnyh rajonov mira.

27. Baza dannyh ob izmenenijah sostojanija Arkticheskogo kolebanija.

28. Baza dannyh izmenenij global'nyh klimaticheskikh indeksov. Available at: <http://www.cpc.noaa.gov/>

29. Kobzar', A. I. (2006). Prikladnaja matematicheskaja statistika. Moscow: Fizmatlit, 816.

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

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

*Дата надходження рукопису 16.03.2016*

**Холопцев Александр Вадимович**, доктор географических наук, профессор, кафедра Судовождения и безопасности судоходства, Севастопольский государственный университет, ул. Университетская, 33, г. Севастополь, 299053

E-mail: [kholoptsev@mail.ru](mailto:kholoptsev@mail.ru)

**Никифорова Мария Павловна**, кандидат географических наук, старший преподаватель, кафедра Туризма, Севастопольский экономико-гуманитарный институт, ул. Кесаева, 14, г. Севастополь, 299038

E-mail: [maha.ukraine@gmail.com](mailto:maha.ukraine@gmail.com)