

ОСОБЕННОСТИ ПРИПАЙНЫХ ЛЬДОВ КАРСКОГО МОРЯ И ВОЗМОЖНЫЕ ПРИЧИНЫ МЕЖГОДОВОЙ ИЗМЕНЧИВОСТИ ИХ ПЛОЩАДИ

В.Е.БОРОДАЧЕВ., З.М.ГУДКОВИЧ, С.В.КЛЯЧКИН, В.М.СМОЛЯНИЦКИЙ

ГНИЦ РФ Арктический и антарктический научно-исследовательский институт

Рассмотрены основные особенности припая Карского моря. Выявлена зависимость площади припая северо-восточной части моря в конце зимы от направления зональных воздушных переносов в течение предшествующих 10 месяцев. Авторы объясняют причину обнаруженной закономерности влиянием нормальных и касательных напряжений в ледяном покрове, создаваемых градиентными течениями и наклонами уровня моря вблизи границы припая.

Наличие неподвижных (припайных) льдов — характерная особенность ледяного покрова арктических морей. Припай оказывает заметное влияние на направленность и интенсивность многих гидрометеорологических процессов, в частности на динамику и термодинамику морских вод и льдов в районе заприпайных польней, ледообмен с соседними бассейнами, температурный режим атмосферы.

Согласно исследованиям [3, 12], припай в Карском море обычно начинает образовываться в виде ледяного заберега у отдельных участков побережья и островов вскоре после начала устойчивого ледообразования, в основном в октябре. В дальнейшем в течение ноября—декабря граница припая незначительно отступает в море. Однако в северо-восточной части моря в течение второй половины декабря и в январе, а отчасти и в феврале площадь припая обычно заметно увеличивается, а граница его в феврале—марте нередко проходит вдоль линии, протянувшейся через острова Сергея Кирова — Известий — Арктического института. Лишь к западу от Северной Земли (за исключением о-ва Большевик) положение границы припая в это время изменяется незначительно. К апрелю—маю оно, как правило, стационарирует во всем море. Таким образом, только в северо-восточной части моря — к северу от п-ова Таймыр образуется достаточно развитый припай (рис. 1).

Данные о положении границ припая за конкретные годы свидетельствуют о значительной пространственно-временной их изменчивости. В зависимости от условий становления и развития припай может занимать в море различные площади, покрывать разные участки его акватории, иметь разную толщину.

Для исследования межгодовой изменчивости площади припая в северо-восточной части Карского моря были использованы результаты планиметрирования припая этого района, полученные И.Д.Карелиным по данным ИСЗ и визуальных авиаразведок в мае с 1949 по 1997 г. [12]. Они показывают, что площадь припая в этом районе в среднем составляет 110 тыс. км² (22 % от площади района), изменяясь от 46 до 142 тыс. км². Следовательно, размах межгодовых изменений достигает 87 % от средней величины. Анализ повторяемости различных величин площади припая показывает, что гистограмма распределения повторяемости имеет хорошо выраженный бимодальный характер: чаще всего площадь припая находится в пределах 85–95 тыс. км² (25 % случаев) и 115–125 тыс. км² (27 % случаев), тогда как на диапазон 95–115 тыс. км² приходится лишь 18 % случаев.

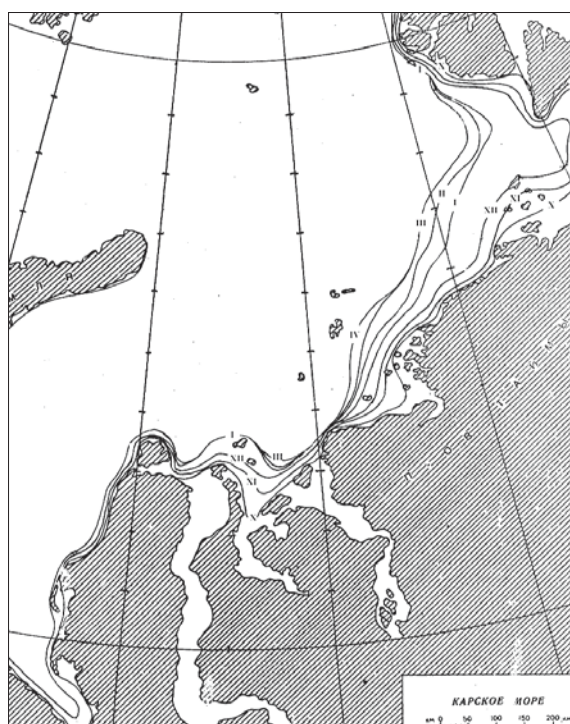


Рис. 1. Среднее положение границ припая в период его нарастания в Карском море по данным ИСЗ за период 1979–2003 гг.

Большие различия в ширине припая на разных участках арктических морей, значительная межгодовая изменчивость площади припая в некоторых районах потребовали исследований основных причин его становления и разрушения.

По мнению большинства исследователей, межгодовая изменчивость ширины припая в основном зависит от соотношения отжимных и нажимных ветровых потоков в течение зимнего сезона [1, 12–15], от течений и приливо-отливных явлений [6, 11], от изрезанности береговой черты и стамух [4–5, 7].

Существует и альтернативное мнение, согласно которому распространение припая определяется тепловыми процессами, которые регулируются речным стоком [16].

Для выявления особенностей полей ветра, оказывающих влияние на формирование припая северо-восточной части Карского моря и его межгодовую изменчивость, были выделены 10 лет, в которые площадь припая в мае в этом районе была понижена (менее $95 \cdot 10^3 \text{ км}^2$), и 10 лет, когда она существенно превышала норму (более $130 \cdot 10^3 \text{ км}^2$). В первую группу вошли годы: 1949, 1953, 1954, 1956, 1963, 1968, 1972, 1985, 1995, 1996; во вторую группу годы: 1959, 1969, 1971, 1979, 1981, 1989, 1991, 1992, 1994, 1997. Для каждой группы лет были построены средние карты атмосферного давления для предшествовавших моменту наблюдений месяцев – с июля по апрель. Карты показали, что в годы, когда припай слабо развит, характерная для региона ложбина атмосферного давления протянулась из Баренцева моря на северо-восток, тогда как в годы, когда площадь припая повышена, ось этой ложбины направлена на юго-восток. Это создает условия, характеризующиеся в первом случае усилением зональных западно-восточных воздушных переносов над морем, по сравнению со вторым случаем. Такие различия, вероятно, вызываются

соответствующими смещениями траекторий атлантических циклонов в связи с развитием блокирующих Сибирского либо Арктического антициклонов.

Характерные различия обнаруживаются и в средних барических полях предшествующих летних месяцев (июля-августа), относящихся к рассмотренным группам лет. В годы, предшествующие группе лет с повышенной площадью припая, над морем усилены северо-восточные воздушные переносы, по сравнению с годами со слабым развитием припая. При этом, согласно данным, любезно предоставленным нам В.В.Ивановым и З.С.Соловьевой, средний объем речного стока в море в течение обеих групп лет был практически одинаков.

Таким образом, можно заключить, что усиление в течение длительного времени западных и юго-западных ветров и ослабление восточных и северо-восточных ветров над Карским морем ограничивает развитие припая северо-восточной части моря, а господство ветров противоположных румбов способствует расширению припая.

На рис. 2 показаны характеризующие зональные воздушные переносы над морем средние разности атмосферного давления между параллелями 70 и 80° с.ш., вычисленные для меридианов 50, 60, 70, 80 и 90° в.д. для каждого месяца по двум рассмотренным группам лет. Как видно, при пониженной площади припая в течение предшествовавших лета и всей зимы в среднем преобладает составляющая воздушных переносов, направленная с запада на восток. Наоборот, при повышенной площади припая преобладает зональная составляющая воздушных переносов, направленная с востока на запад. Накопленные величины разности давления для двух групп лет имеют на протяжении всего года противоположный знак, а их различия возрастают от месяца к месяцу, что подтверждает неслучайность этих различий.

Известно, что усиление западных воздушных переносов над Карским морем сопровождается не только смещением распресненных речным стоком вод в восточную часть моря, но и увеличением поступления в это море более соленых вод из Баренцева моря. При этом горизонтальные градиенты плотности поверхностных вод заметно обостряются, что влечет за собой повышение скорости течения, направленного на северо-восток и север — в Арктический бассейн. Эти явления были экспериментально обнаружены во время экспедиции на ледоколе «Отто Шмидт» в октябре—ноябре 1979 г. [8]. Усиление этого течения, с которым связаны сдвиговые напряжения в ледяном покрове, должно препятствовать расширению припая.

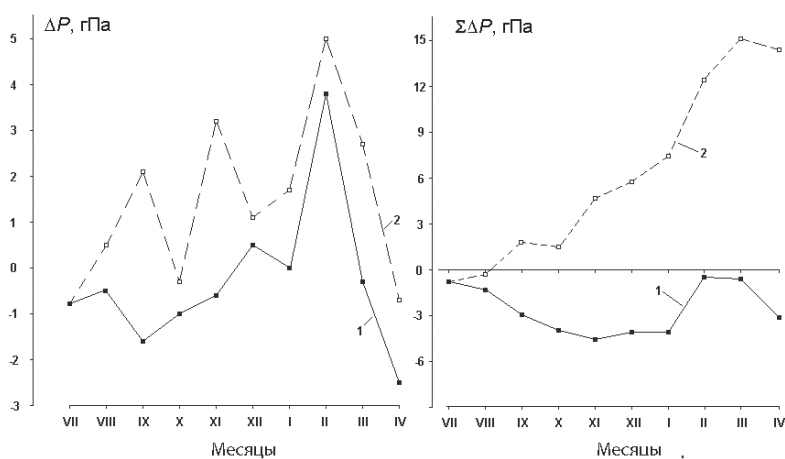


Рис. 2. Средняя разность атмосферного давления (ΔP , ГПа) между 70 и 80° с.ш. в Карском море (а) и значение накопленных разностей (б).

1 — годы с большой площадью припая, 2 — годы с малой площадью припая

Поле касательных напряжений на поверхности моря, вызываемое ветровым дрейфом льда, не распространяется на акваторию, покрытую припаем. Это создает условия, вызывающие у кромки припая нагон либо сгон (в зависимости от направления полного потока дрейфового течения относительно кромки припая). Учитывая, что этот поток имеет составляющую, направленную в Северном полушарии вправо от направления ветрового дрейфа [2], можно заключить, что если ветровой дрейф льда направлен вдоль кромки припая, расположенного справа, то вблизи нее возникает нагон вод и соответствующий наклон уровня в сторону моря. При противоположном направлении ветрового дрейфа – сгон и наклон уровня в сторону припая.

Это подтверждают результаты моделирования сгонно-нагонных колебаний уровня при наличии ледяного покрова [9]. Результаты моделирования распределения уровня и течений, приведенные в упомянутой работе, убедительно свидетельствуют о возникновении нагона в районе кромки и связанном с ним значительном усилении течений вдоль этой кромки при соответствующем направлении ветра. Возникающие под их воздействием в ледяном покрове напряжения сдвига дополняются напряжениями растяжения, связанными с влиянием наклона уровня моря от границы припая в сторону моря [10].

Следует заметить, что рассмотренные выше баротропные эффекты нагонов у границы припая под влиянием юго-западных ветров в Карском море складываются с бароклинным усилением течений, обусловленным отмеченным выше притоком более соленых вод с запада. Наоборот, явления сгонов при усилении ветров противоположных направлений вызывают составляющие течений, которые направлены навстречу характерным для этих районов «постоянным» течениям в основном бароклинной природы. Поэтому горизонтальный сдвиг в поле скорости дрейфа в этом случае будет ослаблен, а отжимная компонента скорости, обусловленная наклоном уровня, сменится нажимной компонентой, что создает условия для расширения припая.

Заметим также, что возникновение нагонов под воздействием западных ветров на подходах к проливу Вилькицкого усиливает восточное течение через этот пролив, что препятствует становлению в нем припая. В условиях сгонов это течение ослабевает, что способствует становлению припая.

С аномалиями воздушных переносов в Арктике связаны и аномалии температуры воздуха. В Карском море при усилении западных ветров зимой температура воздуха обычно повышается, восточные ветры вызывают противоположный эффект. Действительно, средняя температура воздуха за зимний период для группы лет с пониженной площадью припая оказалась на 2,3 °С выше, чем для группы лет с повышенной площадью припая. Однако соответствующая разность расчетной толщины льда составляет всего 11 см (6 % от средней толщины), что указывает на второстепенное значение этого механизма.

Предложенные гипотезы разрешают и кажущееся противоречие между закономерностями зависимости площади припая от преобладающего направления ветра в двух регионах – в северо-восточной части Карского и западной части Восточно-Сибирского морей. В первом из них преобладание «нажимных» западных ветров сопровождается сокращением площади припая, а «отжимных» восточных – ее увеличением. Во втором регионе – наоборот: «нажимные» северо-восточные ветры создают условия для расширения припая, а «отжимные» западные – для ее сокращения [15]. На самом деле – в свете рассмотренных гипотез – важно не только и не столько направление ветра (нажимной–отжимной) относительно границы припая, сколько процессы нагона – сгона, связанные с направлением дрейфовых течений в подледном слое моря. С учетом отклонения вправо ветрового дрейфа льда от ветра и дрейфового течения от дрейфа льда оказывается, что ветры восточной четверти создают у границы припая Восточно-Сибирского моря ситуацию сгона, а ветры

западной четверти – нагона. Как и в Карском море, в первом случае возникают условия для расширения припая, во втором – для его сокращения.

Выявленные закономерности открывают возможности для разработки математической модели становления и разрушения припая в арктических морях.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Бацких Ю.М., Бородачев В.Е., Потапов В.Р. Оценка влияния метеорологических факторов на безопасность проведения грузовых работ на припаях // Проблемы Арктики и Антарктики. 1987. Вып. 63. С. 102–107.
2. Беляков Л.Н. Дрейфовые течения подо льдом в Арктическом бассейне // Океанология. 1974. Т. 14. С. 256–262.
3. Бородачев В.Е. Льды Карского моря. СПб.: Гидрометеиздат, 1998. 182 с.
4. Горбунов Ю.А., Лосев С.М., Дымент Л.Н. Стамухи Карского моря // Ледяные образования морей Западной Арктики. СПб.: ААНИИ, 2006. С. 70–76.
5. Гордиенко П.А. Припайные льды арктических морей. Ч. I–II. Л.: Гидрометеиздат, 1971. 172 с.
6. Гудкович З.М. Воздействие тангенциальных сил ветра и течений на припай // Труды ААНИИ. 1974. Т. 316. С. 96–106.
7. Гудкович З.М., Клячкин С.В. Модель образования и разрушения припая в восточной части Финского залива // Метеорология и гидрология. 2000. № 5. С. 67–75.
8. Гудкович З.М., Кудряшов Л.И. Некоторые особенности океанологических условий Карского моря в начале зимы 1979 г. // Труды ААНИИ. 1985. Т. 400. С. 156–161.
9. Гудкович З.М., Прошутинский А.Ю. Моделирование сгонно-нагонных колебаний уровня с учетом ледяного покрова // Труды ААНИИ. 1988. Т. 413. С. 85–95.
10. Гудкович З.М., Захаров В.Ф. Роль прикромочных динамических процессов в изменении сплоченности льдов в арктических морях в летний период // Метеорология и гидрология. 1998. № 3. С. 65–71.
11. Зубов Н.Н. Льды Арктики. М.: Изд-во Главсевморпути, 1945. 360 с.
12. Карелин И.Д. Формирование припая в восточном районе Арктики по данным искусственных спутников Земли // Труды ААНИИ. 2001. Т. 443. С. 76–88.
13. Скоков Р.М. К прогнозу взлома припая // Труды Гидрометеорологического научно-исследовательского центра СССР. 1985. Вып. 270. С. 52–57.
14. Тарбеев Ю.В. Роль ветра в процессах разрушения припая // Труды Океанографической комиссии АН СССР. 1960. Т. 7. С. 116–126.
15. Юлин А.В. Сопряженность экстремального развития припая и летних ледовых условий в Восточно-Сибирском море // Труды ААНИИ. 1997. Т. 437. С. 115–123.
16. Dmitrenko I., Golovin P., Gribanov V., Kassens H., Holeman J. Influence of the summer river runoff on ice formation in the Kara and Laptev Seas // Proc. of the 14th Intern. symp. on ice, Potsdam/New York. USA. 27–31 July, 1998. Ice in Surface Waters. Balkema, Rotterdam, 1998. P. 251–257.

V.YE.BORODACHEV, Z.M.GUDKOVICH, S.V.KLYACHKIN, V.M.SMOLYANITSKY

THE PECULIARITIES OF THE KARA SEA LANDFAST ICE AND PROBABLE REASONS OF THE INTER-ANNUAL VARIABILITY OF ITS AREA

The basic peculiarities of the Kara Sea landfast ice are under consideration. The correlation between the landfast ice area in the north-eastern part of the sea at the end of winter and the direction of the zonal component of the atmospheric circulation during previous 10 months is revealed. The authors explain the reason of the revealed regularity as the influence of the normal and tangential stresses in the ice cover caused by the gradient currents and sea level tilt near the landfast ice boundary.