

МЕТОД ДОЛГОСРОЧНОГО ПРОГНОЗА ТИПА ЛЕДОВЫХ УСЛОВИЙ В ЗИМНИЙ ПЕРИОД ДЛЯ РАЙОНОВ КАРСКОГО МОРЯ

1. Общие положения

Анализ зимнего ледового режима Карского моря показывает, что существуют устойчивые преемственные связи в развитии ледовых условий, учет которых позволяет разработать долгосрочный прогноз типов ледовых условий для юго-западного и северо-восточного районов Карского моря (рисунок).

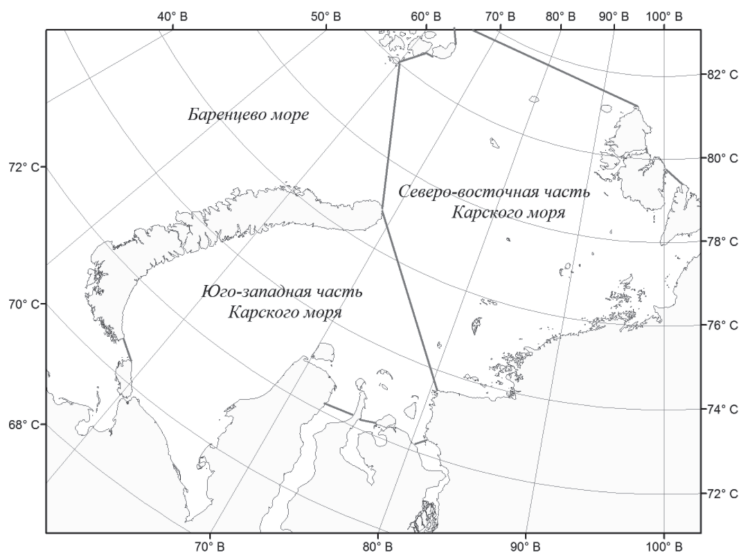


Рис. Районирование Карского моря.

Прогноз может быть основан на преемственности показателей метеорологических и ледовых условий с учетом однонаправленности их развития при формировании ледяного покрова.

Для реализации метода необходим постоянный мониторинг показателей метеорологических и ледовых условий и учет преемственности в развитии ледовых условий зимнего периода.

Постоянный мониторинг метеорологических и ледовых показателей включает:

- температуру воздуха по данным полярных станций (для расчета сумм градусодней мороза);
- сроки устойчивого ледообразования по данным полярных станций;
- толщину припайного льда по данным полярных станций;
- количество льдов разного возраста в районах моря в конце месяца (определяется по ледовым картам и приложениями программы ArcGis).

Комплекс этих показателей позволяет диагностировать текущие ледовые условия и оценить их тип по степени сложности (тяжелый, легкий или средний).

Ледовые условия в зимний период развиваются и усложняются в процессе формирования ледяного покрова. После появления начальных льдов, по мере нарастания толщины они последовательно переходят в стадию молодых, а затем однолетних (тонких, средних, толстых).

В табл. 1 и 2 приведено среднее количество льдов различного возраста в каждом месяце зимнего периода в районах Карского моря.

По данным, приведенным в табл. 1 и 2, можно выделить средние сроки начала массового перехода однолетних льдов в старшие возрастные градации.

В юго-западной части моря переход происходит в следующие сроки:

- однолетние тонкие льды переходят в градацию однолетних средних – в январе;
- однолетние средние переходят в градацию однолетних толстых – в марте.

В северо-восточной части моря переход происходит в следующие сроки:

- однолетние тонкие переходят в градацию однолетних средних – в декабре;
- однолетние средние переходят в градацию однолетних толстых – в феврале.

Таблица 1

Среднее количество льда разного возраста в период нарастания ледяного покрова в юго-западной части Карского моря, %

| Месяц | Возраст льда | | | | | | Старый лед |
|-------|----------------|--------------|------------|-----------------|---------|---------|------------|
| | Начальные виды | Молодые льды | | Однолетние льды | | | |
| | | серый | серо-белый | тонкий | средний | толстый | |
| X | 19 | 33 | 35 | 2 | 0 | 0 | 0 |
| XI | 9 | 17 | 48 | 21 | 0 | 0 | 0 |
| XII | 3 | 9 | 42 | 41 | 4 | 0 | 0 |
| I | 3 | 4 | 29 | 43 | 20 | 0 | 0 |
| II | 6 | 6 | 27 | 25 | 36 | 5 | 0 |
| III | 2 | 2 | 18 | 24 | 42 | 11 | 0 |
| IV | 2 | 1 | 16 | 13 | 41 | 25 | 0 |
| V | 0 | 0 | 11 | 11 | 39 | 32 | 0 |

Таблица 2

Среднее количество льда разного возраста в период нарастания ледяного покрова в северо-восточной части Карского моря, %

| Месяц | Возраст льда | | | | | | Старый лед |
|-------|----------------|--------------|------------|-----------------|---------|---------|------------|
| | Начальные виды | Молодые льды | | Однолетние льды | | | |
| | | серый | серо-белый | тонкий | средний | толстый | |
| X | 11 | 11 | 19 | 2 | 1 | 0 | 10 |
| XI | 3 | 8 | 44 | 31 | 3 | 0 | 6 |
| XII | 2 | 4 | 28 | 47 | 13 | 1 | 2 |
| I | 1 | 2 | 20 | 26 | 41 | 4 | 2 |
| II | 1 | 2 | 17 | 15 | 42 | 19 | 2 |
| III | 1 | 1 | 15 | 12 | 34 | 33 | 2 |
| IV | 1 | 1 | 13 | 11 | 28 | 42 | 2 |
| V | 1 | 1 | 11 | 6 | 22 | 53 | 2 |

Установлено также, что для перехода льдов в старшую возрастную градацию должно накопиться достаточно льдов предшествующей возрастной группы. Так, для перехода однолетних тонких льдов в градацию однолетних средних, количество тонких льдов должно составлять не менее 40–60 %. Такое же соответствие характерно и для перехода однолетних средних льдов в однолетние толстые.

Нарастание толщины льда (припайного и дрейфующего) зависит от сроков начала ледообразования и интенсивности нарастания льда. Интенсивность нарастания льда, в свою очередь, зависит от суровости зимы. Хорошим показателем суровости зим является сумма градусодней мороза. Величины суммы градусодней мороза дают возможность диагностировать тип зимы – суровый, умеренный или мягкий.

Величины сумм градусодней мороза и соответствующие им типы зимы, позволяют составить представление об интенсивности нарастании льда и сроках ожидаемых переходов льдов в более старшие возрастные категории.

Важно отметить особенность различия в нарастании толщины льда в припайных и дрейфующих льдах. В припае толщина льда нарастает быстрее, чем в дрейфующих льдах. По данным полярных станций и картам распределения льда установлено, что переход толщины припайных льдов в следующую возрастную градацию происходит на 2–4 декады раньше, чем в дрейфующих льдах. Это очень важная закономерность, поскольку данные полярных станций по толщинам льда – надежный и информативный показатель ледовых условий.

Таким образом, учет преемственности и режимных особенностей формирования ледяного покрова позволяет установить ряд закономерностей, которые могут быть использованы для разработки метода долгосрочного прогноза типа ледовых условий:

- скачкообразный переход возраста льда через градацию невозможен;
- для перехода льда в следующие возрастную градацию необходимо накопление определенного количества льда (более 40 %);
- переход припайных льдов из одной возрастной градации в более старшую происходит на 2–4 декады раньше, чем в дрейфующих льдах;
- сроки переходов возрастных градаций определяются типом зимы, характеризуемой суммой градусодней мороза.

2. Критерии типизации для диагностики текущих и прогнозируемых ледовых условий по трем типам сложности

Типизации ледовых условий для зимнего периода года ранее никогда не выполнялись. Расширение промышленного освоения севера, районов и сроков навигации привели к необходимости создать такую типизацию для нужд Администрации Северного морского пути (СМП) Росморречфлота.

Ледовые условия в арктических морях развиваются по сложной схеме, в которой участвуют процессы ледообразования, нарастания толщины, дрейфа и перераспределения льда. В результате совокупного действия этих факторов возникает особенная для каждого года система распределения ледяного покрова, основным отличительным показателем которого для зимнего периода может служить количество льдов разного возраста (толщины). Особенностью зимних ледовых условий является их постоянное усложнение в течение зимы, вследствие нарастания толщины льда. Зимой возможно быстрое ухудшение ледовых условий, вследствие постоянно действующих динамических процессов – дрейфа, торошения, сжатия, наслоения.

Ледовые условия зимнего периода разбиваются на три типа – легкий, средний, тяжелый, которые впоследствии используются АСМП для выдачи разрешения плавания судов. Основными принципами, положенными в основу типизации являются:

- обоснованность выбранных критериев для типизации (они должны отвечать основной задаче типизации – обеспечение безопасности плавания судов);

- объективность выбранных критериев для типизации (они не должны зависеть от субъективного мнения эксперта);

- однозначность выбранных критериев для типизации (они должны давать возможность однозначного выделения одного из трех типов ледовых условий – легкий, средний и тяжелый).

Прямые указания на то, какие ледовые условия можно считать легкими, средними, тяжелыми в нормативных документах Росморречфлота и Росгидромета отсутствуют. Существует ряд документов, в которых приведены указания по допуску судов на трассу СМП в различных ледовых условиях [1] и некоторая осредненная количественная информация о допускаемых районах эксплуатации и условиях

ледового плавания [2]. Есть накопленный опыт зимних навигаций в Карском море, плавания судов ОАО «Норильский Никель» в зимний период в юго-западной части Карского моря.

Из приведенных сведений можно установить, что ориентировочная предельная толщина ледяного покрова для судов с категориями ледовых усилений Arc 4 – Arc 6, при которой им разрешено самостоятельное плавание со скоростью до 6–8 узлов (легкие ледовые условия), составляет 0,6–1,1 м при частной сплоченности такого льда до 6 баллов. Различные вариации скорости движения, толщины и частной сплоченности льда могут дать несколько наборов разных сочетаний скорость – толщина – сплоченность, но определяющим в этом случае все равно остается толщина льда, при которой судам разрешено находиться на трассах СМП.

При строгой оценке критерия типизации к легким ледовым условиям для судов с категориями ледовых усилений Arc 4 – Arc 6 и, тем более, для судов с более высокими ледовыми категориями, Arc 7 – Arc 9, можно отнести условия, при которых *преобладают начальные, молодые и однолетние тонкие льды толщиной до 0,7 м.*

Границей средних ледовых условий, при которых разрешено плавание судов с категориями ледовых усилений Arc 6 под проводкой ледокола и самостоятельно плавание для судов с категориями ледовых усилений Arc 7, являются толщины льда до 1,2 и 1,4 м соответственно.

Средними ледовыми условиям для судов с категориями ледовых усилений Arc 6 – Arc 7 и, тем более, для судов с более высокими категориями Arc 7 – Arc 9, могут считаться условия, при которых преобладают льды возрастной градации не более однолетних средних льдов толщиной до 1,2 м.

Тяжелыми ледовыми условиями, в которых без ограничения разрешено плавать судам с категориями ледовых усилений Arc 8 – Arc 9 и ограничено судам Arc 7 могут считаться условия, при которых в районах плавания наблюдаются однолетние толстые и старые льды толщиной более 1,2 м.

Эти границы хорошо совпадают с основными возрастными градациями льда, которые надежно выделяются на ледовых картах, предусмотрены международной и национальной символикой для морских ледовых карт и номенклатурой морских льдов. Это означает, что

определение этих возрастных градаций общепринято, не вызывает затруднений у капитанов и штурманского состава судов и ледоколов [3].

Однако необходимо учитывать, что ледяной покров по мере нарастания толщины льда переходит в следующую возрастную градацию постепенно. Исследования показали, что переход ледяного покрова из однолетних тонких в однолетние средние, и далее в однолетние толстые может занимать от 1 до 4–5 декад. Первое появление более толстого льда не означает смену типа ледовых условий. В противном случае это может существенно уменьшить продолжительность навигационных периодов. Появление более старшей возрастной градации льдов должно надежно определяться по данным ИСЗ и судовым наблюдениям.

Опыт навигаций и статистические расчеты показывают, что при частной сплоченности в 1–2 балла судно при движении и маневрировании может свободно избегать встречи с льдами критичной для него возрастной градации. При частной сплоченности более 2–3 баллов избежать встречи со льдами критичной для него возрастной градации гораздо труднее, а при сплоченности более 4–5 баллов практически невозможно.

Это позволяет несколько расширить границы выбранных критериев для определения типа ледовых условий. Но необходимо учитывать, что точность при дешифрировании спутниковых снимков и определении возраста льдов и границ распространения льдов составляет около ± 1 балла. Поэтому предлагается установить границу возможного присутствия нежелательных льдов в 2–3 балла (25 % от общего количества всех льдов). Это гарантирует, что количество нежелательных льдов при ошибке дешифрирования (что случается достаточно редко) не превысит 4 баллов (40 %) общего количества льдов, сплоченность, при которой избежать встречи с такими льдами будет невозможно.

В юго-западной части Карского моря припайные льды расположены узкой полосой вдоль берега, *на мелководье*, и не имеют навигационного значения. Поэтому их *предлагается* не учитывать в возрастном составе льдов, среди которых происходит плавание.

В северо-восточной части моря припай с определенного момента перекрывает западные подходы к проливу Вилькицкого. Припай является средой активного судоходства и состав льдов в нем необходимо учитывать.

С учетом вышеназванного предлагается установить (разработаны) следующие критерии (граничные условия) для определения типов ледовых условий в Карском море для зимнего периода.

Легкий тип ледовых условий – на акватории района наблюдаются начальные, молодые и однолетние тонкие льды (до 0,7 м), возможно появление и присутствие однолетних средних льдов в количестве до 25 % ($S_{\text{средн}} < 25\%$);

Средний тип ледовых условий – на акватории района наблюдаются однолетний средний лед (до 1,2 м) в количестве от 25 % и более ($S_{\text{средн}} \geq 25\%$), возможно появление и присутствие однолетних толстых льдов в количестве до 25 % ($S_{\text{толст}} < 25\%$);

Тяжелый тип ледовых условий – на акватории района наблюдаются однолетний толстый лед (более 1,2 м) и старые льды в количестве от 25 % ($S_{\text{толст}} \geq 25\%$) и более.

3. Метод долгосрочного прогноза типа зимних ледовых условий на основе использования взаимосвязей и преемственности в развитии ледовых условий

При построении прогностической схемы долгосрочного прогноза типа зимних ледовых условий (было решено) используется ряд устойчивых и хорошо проявляющихся признаков:

– связь нарастания льда (в связи) с типом суровости зимы (суммой градусодней мороза);

– преемственность в последовательном развитии ледовых условий (последовательное накопление льдов младшей возрастной градации для перехода его в старшую градацию);

– более ранний переход припайных льдов в старшую возрастную градацию.

Для прогноза появления льдов различных возрастных градаций и изменения их количества в качестве исходных данных используются следующие показатели:

– тип зимы по данным долгосрочного метеорологического прогноза;

– суммы градусодней мороза для определения типа зимы – суровый, умеренный или мягкий, и даты устойчивого ледообразования на полярных станциях;

- толщина припайных льдов на полярных станциях для определения срока достижения градации однолетних тонких, средних и толстых льдов;
- количество льдов разного возраста в районах Карского моря (рассчитывается по оцифрованной ледовой карте, построенной по данным ИСЗ в центре ледовой и гидрометеорологической информации ФГБУ «ААНИИ»).

Каждый из показателей надежно рассчитывается по данным полярных станций или по данным ИСЗ.

Прогнозируемым показателем в разработанной прогностической схеме являются даты устойчивого перехода льдов (***D***) в возрастные градации однолетнего среднего и однолетнего толстого льда в количестве достаточном для идентификации среднего или тяжелого типов ледовых условий в соответствии с критерием (равно или более 25 %) на прогнозируемый месяц.

Для получения прогнозируемой величины ***D*** необходимо определить дату ***d*** которая соответствует дате перехода льдов в следующую возрастную градацию (градации однолетних средних или однолетних толстых) для каждого типа лет по суровости зимы. Для этого используются прогностические таблицы, приведенные ниже для каждого района Карского моря, в которых по двум основным входным параметрам – тип суровости зимы и дата перехода толщины припайных льдов в следующую возрастную градацию, определяется дата устойчивого перехода дрейфующих льдов в следующую возрастную градацию (табл. 3–6).

Таблица 3

Сроки достижения льда в припае толщины однолетнего среднего (70 см) и перехода дрейфующих однолетних тонких льдов в градацию однолетних средних в различные типы зим в юго-западной части Карского моря

| Тип зимы | Дата перехода однолетних тонких льдов в градацию однолетних средних в припае (месяц, декада) | | | | | | |
|-----------|---------------------------------------------------------------------------------------------------|-------|-------|------|-------|-------|-------|
| | XII–1 | XII–2 | XII–3 | I–1 | I–2 | I–3 | II–1 |
| | Дата возможного перехода однолетних тонких льдов в градацию однолетних средних в дрейфующих льдах | | | | | | |
| Суровый | XII–3 | I–1 | I–2 | I–3 | II–1 | – | – |
| Умеренный | I–2 | I–3 | II–1 | II–2 | II–3 | III–1 | |
| Мягкий | – | II–1 | II–2 | II–3 | III–1 | III–2 | III–3 |

Таблица 4

Сроки достижения льда в припае толщины однолетнего толстого (120 см) и перехода дрейфующих однолетних средних льдов в градиацию однолетних толстых в различные типы зим в юго-западной части Карского моря

| Тип зимы | Дата перехода однолетних средних льдов в градиацию однолетних толстых в припае (месяц, декада) | | | | | | |
|-----------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| | I-3 | II-1 | II-2 | II-3 | III-1 | III-2 | III-3 |
| | Дата возможного перехода однолетних средних льдов в градиацию однолетних толстых в дрейфующих льдах | | | | | | |
| Суровый | II-3 | III-1 | III-2 | III-3 | IV-1 | — | — |
| Умеренный | III-2 | III-3 | IV-1 | IV-2 | IV-3 | V-1 | — |
| Мягкий | IV-1 | IV-2 | IV-3 | V-1 | V-2 | V-3 | — |

Таблица 5

Сроки достижения льда в припае толщины однолетнего среднего (70 см) и перехода дрейфующих однолетних тонких льдов в градиацию однолетних средних в различные типы зим в северо-восточной части Карского моря

| Тип зимы | Дата перехода однолетних тонких льдов в градиацию однолетних средних в припае (месяц, декада) | | | | | | |
|-----------|----------------------------------------------------------------------------------------------------|-------|-------|-------|-------|------|------|
| | XI-2 | XI-3 | XII-1 | XII-2 | XII-3 | I-1 | I-2 |
| | Дата возможного перехода однолетних тонких льдов в градиацию однолетних средних в дрейфующих льдах | | | | | | |
| Суровый | XII-1 | XII-2 | XII-3 | I-1 | I-2 | I-3 | — |
| Умеренный | XII-2 | XII-3 | I-1 | I-2 | I-3 | II-1 | — |
| Мягкий | — | I-1 | I-2 | I-3 | II-1 | II-2 | II-3 |

Таблица 6

Сроки достижения льда в припае толщины однолетнего толстого (120 см) и перехода дрейфующих однолетних средних льдов в градиацию однолетних толстых в различные типы зим в северо-восточной части Карского моря

| Тип зимы | Дата перехода однолетних средних льдов в градиацию однолетнего толстые в припае (месяц, декада) | | | | | | |
|-----------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------|-------|-------|-------|-------|------|-------|
| | I-1 | I-2 | I-3 | II-1 | II-2 | II-3 | III-1 |
| | Дата возможного перехода однолетних средних льдов в градиацию однолетних толстых в дрейфующих льдах | | | | | | |
| Суровый | I-3 | II-1 | II-2 | II-3 | III-1 | — | — |
| Умеренный | II-2 | II-3 | III-1 | III-2 | III-3 | IV-1 | — |
| Мягкий | — | III-2 | III-3 | IV-1 | IV-2 | IV-3 | V-1 |

Таким образом, по данным табл. 3–6 определяется предварительная дата (d) устойчивого перехода дрейфующих льдов в следующую возрастную градацию, которая определяется по двум параметрам – дата перехода припайных льдов в следующую возрастную градацию и тип зимы по степени суровости.

Приведенные в табл. 3–6 соотношения справедливы для ледовых условий, при которых на акватории района наблюдается достаточное количество льда младшей возрастной градации от 20 до 40 %. Если накопленного льда младшей возрастной градации недостаточно, менее 20 %, переход может задерживаться, а если избыточно – более 40 % – осуществиться раньше.

Таким образом, окончательный результат прогноза – дата перехода дрейфующего льда в следующую возрастную градацию D – определяется с учетом количества льдов разного возраста в конце месяца, который предшествует прогнозируемому месяцу, и может быть сформулирован следующим образом:

– при среднем количестве льда младшей возрастной градации в пределах 20–40 % $D = d$;

– при количестве льда младшей возрастной градации менее 20 % $D = d$ плюс 1 декада;

– при избыточном количестве льда младшей возрастной градации более 40 % $D = d$ минус 1 декада.

Окончательно прогноз состоит в формулировке ожидаемого типа ледовых условий (легкий, средний, тяжелый) в юго-западном и северо-восточном районах Карского моря.

4. Пример составления прогноза

Ниже приведен пример разработки прогноза типа ледовых условий для юго-западной части Карского моря.

1. Входные данные прогноза:

Район – юго-западная часть моря.

Дата составления прогноза – 30 декабря 2012 г.

Прогнозируемый период – январь 2013 г.

Исходный тип ледовых условий в декабре – легкий по количеству молодых и однолетних тонких льдов в конце декабря.

2. Исходные данные:

Температура воздуха, по которой определена сумма градусодней мороза на конец декабря по данным полярной станции о. Диксон – 1487.

Тип зимы в соответствии с величиной суммы градусодней мороза – умеренный.

Дата перехода толщины припайного льда из градации однолетнего тонкого в градацию однолетнего среднего по данным полярной станции Диксон – вторая декада декабря (ХП₂).

Количество дрейфующих льдов разного возраста на акватории юго-западного района Карского моря на 30.12.2012 г. составляет 96%, из них:
– начальные виды и молодые льды – соответственно, 15 % и 21%,
– однолетние тонкие льды 64 %, однолетние средние льды – 0 %, однолетние толстые льды – 0 %.

3. Определение типа зимних ледовых условий

По типу суровости зимы (умеренный) и дате перехода однолетних тонких льдов в припае в возрастную градацию однолетних средних (ХП–2) по табл. 3, определяем, что ожидаемая дата перехода дрейфующих однолетних тонких льдов в однолетние средние:

$$d = \text{третья декада января } (I_3).$$

Уточняем дату перехода D с учетом количества накопленного однолетнего тонкого льда в юго-западной части Карского моря, равного 64%:

$$D = d \text{ минус 1 декада.}$$

Таким образом, дата перехода дрейфующих однолетних тонких льдов в однолетние средние льды ожидается начинаая со второй декады января.

Окончательная формулировка прогноза типа ледовых условий выглядит так: переход от легкого типа ледовых условий к среднему типу в январе 2013 г. в юго-западной части Карского моря ожидается со второй декады января; таким образом, в январе 2013 г. в целом ожидается средний тип ледовых условий.

5. Результаты испытаний метода прогноза

В период октябрь 2014 г. – май 2015 г. проводились авторские ретроспективные испытания (за прошедший период), в период октябрь 2015 г. – май 2016 г. проводились производственные испытания с предоставлением результата прогноза непосредственно потребителю (как опытного прогноза).

Всего за период испытаний было составлено восемь долгосрочных прогнозов для каждого из районов моря в период испытаний 2014–2015 гг. (16 прогнозов по морю) и восемь долгосрочных прогнозов для каждого из районов моря в период испытаний 2015–2016 гг. (16 прогнозов по морю). Итого в общей сложности было разработано 32 долгосрочных прогноза с месячной заблаговременностью. Оправдываемость прогнозов для юго-западной части Карского моря составила 88 %, для северо-восточной части моря – 94 %. Средняя оправдываемость составила 91 % при климатической обеспеченности 75 % и эффективности 16 %.

Выводы

ЦМКП Росгидромета на заседании 7 декабря 2016 г. рекомендовала:

– одобрить работу ФГБУ «ААНИИ» по разработке критериев типизации ледовых условий для плавания судов по трем типам (легкий, средний, тяжелый) и метода прогноза типа ледовых условий в юго-западном и северо-восточном районах Карского моря в зимний период с нулевой заблаговременностью на 30 суток.

– ФГБУ «ААНИИ» внедрить метод долгосрочного прогноза типа ледовых условий в юго-западном и северо-восточном районах Карского моря в зимний период на 30 суток в оперативную практику ФГБУ «ААНИИ» в качестве основного.

Список литературы

1. *Правила* плавания в акватории Северного морского пути. – М.: Изд-во Минтранс России, 2013. – 18 с.
2. *Правила* классификации и постройки морских судов. Том 1. – СПб.: Изд-во Российского морского регистра судоходства, 2015. – 580 с.
3. *Международная* символика для морских ледовых карт и номенклатура морских льдов. – Л.: Гидрометеиздат, 1984. – 56 с.
4. *Юлин А.В.* Автоматизированный программный комплекс по обработке и обобщению гидрометеоинформации, используемой в системе «Пегас» // Труды ААНИИ. – 1990. – Т. 418. – С. 25–36.