

УДК 551.467(265)

Оценка качества результатов оперативных испытаний системы прогноза характеристик льда (сплоченность, толщина) Берингова, Японского и Охотского морей с заблаговременностью 10 суток

**Вражкин А.Н.¹, Кравчук Л.П.², Лебедев А.А.³,
Таин В.Н.⁴, Щербинина Т.П.⁵**

¹ Дальневосточный региональный научно-исследовательский гидрометеорологический институт, г. Владивосток, Россия;

² Камчатское управление по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды, г. Петропавловск-Камчатский, Россия;

³ Сахалинское управление по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды, г. Южно-Сахалинск, Россия;

⁴ Колымское управление по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды, г. Магадан, Россия;

⁵ Приморское управление по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды, г. Владивосток, Россия

К основным характеристикам замерзающих морей, оказывающих существенное влияние на морскую деятельность в холодный период года, относятся сплоченность и толщина льда. Возможность прогнозирования ледяного состояния и его динамики является одной из ключевых задач оперативных подразделений учреждений Росгидромета.

В ФГБУ «ДВНИГМИ» с 2018 по 2022 год разрабатывалась система среднесрочного прогноза характеристик льда Берингова, Охотского и Японского морей. Она включает в себя модель морского льда SICSE [4], модули подготовки исходной информации и корректировки начальных значений, метод прогноза температуры поверхности моря [1] и программы обработки выходной информации.

Входными метеорологическими данными выступают поля глобальной прогностической системы центра NCEP/NCAR с заблаговременностью до 10 суток и дискретностью 6 часов. Из океанических параметров используется температура поверхности моря (SST) проекта OSTIA [3]; климатическая среднемесячная соленость воды в поверхностном слое по всему морю из атласа Мирового океана; климатическая среднемесячная скорость течений в поверхностном слое моря архива GLOBUS12 [6].

Начальными данными выступают результаты предыдущего расчета за сутки от начала прогноза. Для исправления накапливающихся со временем расхождений разработан блок корректировки начальных условий.

На выходе строятся прогностические карты сплоченности (рис. 1), толщины (рис. 2), сжатия, скорости дрейфа льда и температуры поверхности воды. Дополнительно рассчитывается ледовитость моря. Соблюдается цветовая палитра согласно общепринятой номенклатуре, рекомендованной ВМО [5].

До пользователя продукция доставляется посредством Интернета один раз в сутки. В цифровом виде информация о характеристиках льда используется в оперативных технологиях при расчетах волнения и обледенения.

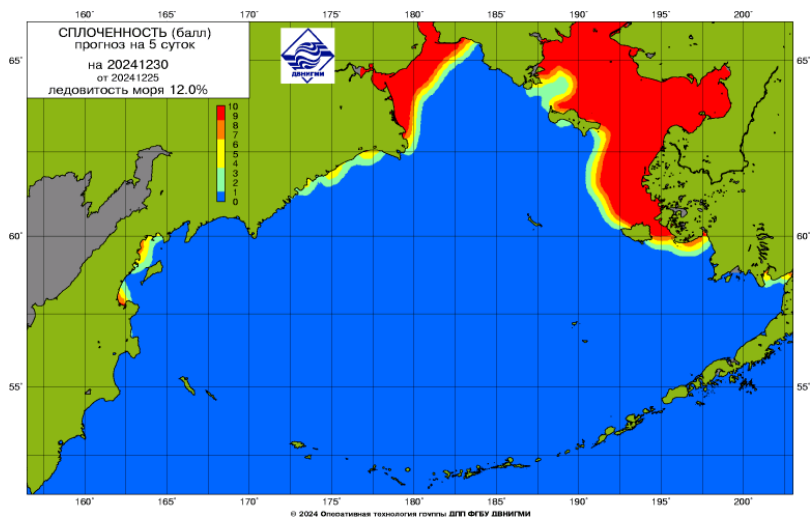


Рис. 1. Прогноз сплоченности и ледовитости Берингова моря.

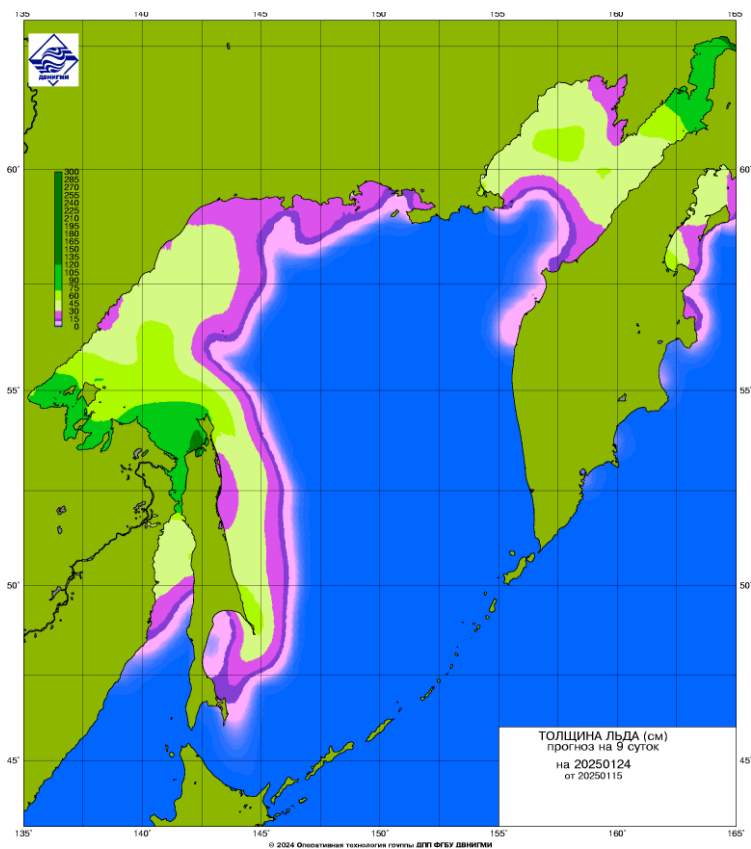


Рис. 2. Прогноз толщины льда в Охотском море и Татарском проливе.

Оперативные испытания проводились с октября 2023 г. по июнь 2024 года в соответствии с Планом испытания новых и усовершенствованных технологий (методов) гидрометеорологических и гелиогеофизических прогнозов Росгидромета в четырех дальневосточных УГМС.

Для сравнения использовались цифровые данные ФГБУ «НИЦ «Планета», Национального ледового центра США и ледовые карты Японского метеорологического агентства. Качество прогнозов оценивалось согласно Наставлению [2]. По причине того, что сплоченность и толщина льда в коде SIGRID указывается по градациям, при проведении сравнения факт-прогноз принималось условие попадания расчетной величины в соответствующие границы. Для сплоченности прогноз считается оправдавшимся в пределах градации или при расхождении не более 1 балла от крайней границы диапазона фактической сплоченности. По толщине – в пределах градации возраста льда, в остальных случаях при различии не более 30 % от крайней границы диапазона фактической толщины. Ледовитость моря и SST оценивались на расхождении $\pm 0,673$ от стандартного отклонения данных.

В табл. 1 приведены оценки прогнозов характеристик льда. По сплоченности льда за сезон наибольшая оправдываемость прогнозов получена для Берингова моря, на втором месте – Японское и затем Охотское. Толщина льда лучше предсказана в Японском, далее Беринговом море. Ледовитость моря по убыванию оценок: Берингово, Охотское, Японское.

Таблица 1. Оценка оправдываемости элементов ледового режима дальневосточных морей, %

| Месяц | Заблаговременность (сутки) | | | | |
|------------------------------|----------------------------|------|------|------|------|
| | 0 | 3 | 5 | 7 | 9 |
| Японское море | | | | | |
| Сплоченность льда | | | | | |
| XII–IV | 71,6 | 74,7 | 74,8 | 74,7 | 70,6 |
| I–III | 85,7 | 87,4 | 88,5 | 87,6 | 87,8 |
| Толщина льда | | | | | |
| XII–III | 83,4 | 84,0 | 83,2 | 82,8 | 78,7 |
| Ледовитость моря | | | | | |
| XII–IV | 83,3 | 83,3 | 83,3 | 77,8 | 72,2 |
| Температура поверхности моря | | | | | |
| XII–V | | 98,2 | 97,2 | 95,0 | 93,4 |
| Охотское море | | | | | |
| Сплоченность льда | | | | | |
| XII–IV | 82,8 | 83,1 | 82,4 | 81,0 | 80,8 |
| XI–V | 66,4 | 66,6 | 66,1 | 64,8 | 65,3 |
| Толщина льда | | | | | |
| XI–III | 78,8 | 73,3 | 70,5 | 72,9 | 71,8 |
| Ледовитость моря | | | | | |
| XI–V | 100 | 91,7 | 87,0 | 75,0 | 72,7 |
| Температура поверхности моря | | | | | |
| XI–VI | | 98,0 | 96,0 | 94,4 | 93,0 |

| Месяц | Заблаговременность (сутки) | | | | |
|------------------------------|----------------------------|------|------|------|------|
| | 0 | 3 | 5 | 7 | 9 |
| Берингово море | | | | | |
| Сплоченность льда | | | | | |
| XII–V | 84,5 | 83,8 | 84,6 | 83,6 | 83,3 |
| XI–VI | 78,3 | 77,0 | 77,2 | 77,6 | 77,1 |
| Толщина льда | | | | | |
| XI–IV | 79,6 | 77,3 | 77,2 | 77,8 | 77,9 |
| Ледовитость моря | | | | | |
| XI–VI | 97,0 | 97,0 | 97,0 | 93,9 | 90,9 |
| Температура поверхности моря | | | | | |
| XI–VII | | 94,7 | 91,1 | 88,2 | 85,0 |

Для всех трех морей отмечены неудовлетворительные прогнозы в течение 1–1,5 месяца от начала ледообразования, а также в последний месяц до окончательного очищения. Общая оценка за сезон – «удовлетворительно», а для ледовитости в отдельных случаях — «хорошо». Оправдываемость прогнозов температуры поверхности моря превышает 90 % по всем морям, что подтверждает возможность их использования в работе технологии.

Сравнительный анализ с другими методами, приведенный в табл. 2, показал, что в Охотском море по качеству преобладают прогнозы Нусом, а в Японском предпочтительны методические, как для сплоченности, так и для толщины льда.

Таблица 2. Оправдываемость (Р) и эффективность (эфф.), в процентах, прогнозов модели Нусом в Охотском и Японском морях

| Месяц | +0 суток | | +3 суток | | +5 суток | | +7 суток | |
|----------------------|----------|------|----------|------|----------|------|----------|------|
| | Р | эфф. | Р | эфф. | Р | эфф. | Р | эфф. |
| Охотское море | | | | | | | | |
| Сплоченность льда | | | | | | | | |
| XII–IV | 81,5 | 1,3 | 86,3 | -3,2 | 86,5 | -4,1 | 86,4 | -5,4 |
| XII–V | 74,3 | 3,2 | 77,9 | -0,2 | 78,8 | -1,7 | 82,7 | -7,1 |
| Толщина льда | | | | | | | | |
| XI–III | 83,5 | -4,7 | 78,9 | -5,6 | 77,4 | -6,9 | 77,2 | -4,3 |
| Японское море | | | | | | | | |
| Сплоченность льда | | | | | | | | |
| XII–IV | 71,2 | -0,1 | 80,4 | -5,6 | 81,0 | -0,9 | 79,6 | -4,5 |
| I–III | 80,2 | 5,5 | 83,0 | 4,4 | 84,2 | 4,3 | 84,8 | 2,8 |
| Толщина льда | | | | | | | | |
| XII–III | 81,3 | 2,6 | 79,7 | 4,5 | 77,2 | 5,8 | 77,6 | -5,2 |

Решением Центральной методической комиссии по гидрометеорологическим и геологическим прогнозам (ЦМКП) Росгидромета от 20.12.2024 рекомендовано внедрить систему прогноза характеристик льда в качестве

основного метода в четырех дальневосточных УГМС: Камчатском, Колымском, Сахалинском и Приморском и в ФГБУ «ДВНИГМИ».

Список литературы

1. *Вражкин А.Н.* Среднесрочный прогноз ледовой обстановки Берингова моря // Известия ТИНРО. 2020. Том 200, №. 1. С. 131-140. <https://doi.org/10.26428/1606-9919-2020-200-131-140>
2. РД 52.27.759-2011. Наставление по службе прогнозов. Раздел 3. Часть III. Служба морских гидрологических прогнозов. М.: ТРИАДА-ЛТД, 2011. 195 с.
3. *Donlon Craig J., Martin Matthew, Stark John, Roberts-Jones Jonah, Fiedler Emma, Wimmer Werenfrid.* The Operational Sea Surface Temperature and Sea Ice Analysis (OSTIA) system // *Remote Sensing of Environment*. 2012. Vol. 116. P. 140-158. DOI: 10.1016/j.rse.2010.10.017
4. *Hunke E.C., Lipscomb W.H., Turner A.K., Jeffery N., Elliott S.* CICE: the Los Alamos Sea Ice Model. Documentation and Software User's Manual. Version 5.1 LA-CC-06-012. Los Alamos National Laboratory, 2015. 116 p. URL: <http://oceans11.lanl.gov/trac/CICE/attachment/wiki/WikiStart/cicedoc.pdf> (дата обращения 2018-11-20)
5. Ice chart colour code standard // WMO/TD- No. 1215. 2004. JCOMM Technical Report No. 24. URL: http://www.wmo.int/pages/prog/amp/mmop/jcomm_reports.html (дата обращения 2018-11-22).
6. *Lellouche J.-M., Bourdalle-Badie R., Greiner E., Garric G., Melet A., Bricaud C., Legaloudec O., Hamon M., Candela T., Regnier C., Drevillon M.* The Copernicus global 1/12° oceanic and sea ice reanalysis. // EGU General Assembly 2021, online, 19–30 Apr 2021, EGU21-14961. DOI: 10.3389/feart.2021.698876