

ВОЗМОЖНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ДИНАМИЧЕСКИХ ЛОКАЛЬНЫХ СИНУСОИД ДЛЯ КРАТКОСРОЧНОГО ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ЛЕДОВОЙ ОБСТАНОВКИ В ПРОЛИВЕ КАРСКИЕ ВОРОТА ПО ДАННЫМ КОСМИЧЕСКОЙ РАДИОЛОКАЦИОННОЙ СЪЕМКИ

В.И. Майорова¹, Д.А. Гришко¹, В.А. Чагина¹, С.В. Хардаминава²

¹МГТУ им. Н.Э. Баумана, Москва

e-mail: victoria.mayorova@gmail.com; dim.gr@mail.ru; chaginalera@gmail.com

²Центр космического мониторинга Арктики, САФУ им. М.В. Ломоносова, Архангельск, Россия

Рассмотрены вопросы моделирования количества льда в прибрежных арктических областях с использованием данных космических средств наблюдения. Основное внимание уделено выявлению географических особенностей исследуемого региона, предложен новый алгоритм прогнозирования ледовой обстановки.

Ключевые слова: локальные экосистемы, математическое моделирование, ледовая обстановка.

POSSIBILITIES OF USING DYNAMICAL LOCAL SINUSOIDS FOR SHORT-TERM FORECAST OF ICE CONDITION IN THE KARA GATE STRAIT FROM SPACE-BASED RADAR IMAGING

V.I. Mayorova¹, D.A. Grishko¹, V.A. Chagina¹, S.V. Khardaminova²

¹Bauman Moscow State Technical University, Moscow

e-mail: victoria.mayorova@gmail.com; dim.gr@mail.ru; chaginalera@gmail.com

²Center for Arctic Space Monitoring, Lomonosov Northern (Arctic) Federal University, Arkhangelsk, Russia

Problems of simulation of ice amount in the coastal Arctic areas using the data from space-borne observation aids are considered. The main attention is paid to revealing the geographic peculiarities of the investigated region; a new algorithm for forecasting the ice condition is proposed.

Keywords: local ecosystems, mathematical simulation, ice condition.

Вопросы, связанные с краткосрочным прогнозированием ледовой обстановки в прибрежных арктических областях, рассмотрены на примере пролива Карские Ворота. В качестве основного источника информации о состоянии системы приняты космические радиолокационные снимки интересующего региона. По результатам обработки временного ряда изображений с космических аппаратов (КА) RadarSat-1 и RadarSat-2 рассмотрена новая методика прогнозирования, основанная на специфических физических особенностях объекта наблюдения.

С появлением атомных ледоколов, способных обеспечивать круглогодичную навигацию в северных водах, Северный морской путь

(СМП) получил возможность функционировать в полную силу. В условиях освоения труднодоступных месторождений полезных ископаемых на полуострове Ямал, в Северной Сибири, а в перспективе и на Арктическом шельфе [1], эта водная артерия имеет большое значение [2]. Кроме того, такие крупные реки Сибири, как Обь, Енисей и Лена, впадают в Северный Ледовитый океан, открывая водный путь для важных грузов к городам, находящимся вдоль берегов этих рек, что немаловажно, учитывая хозяйственную направленность региона [3]. Использование СМП существенно ограничивается природными факторами: главным препятствием для прохода судов по трассе является лед, а также изменение ледовой обстановки на пути следования в зависимости от физико-географических особенностей и сезонно-погодных условий [4].

Очевидно, что знание текущей ледовой обстановки на пути следования судов приобретает первостепенное значение. Средства космического мониторинга Земли в настоящее время способны предоставлять с обширным территориальным охватом наиболее точную информацию о состоянии трассы судна.

Постановка задачи, выбор объекта исследования. Анализ данных позволяет оптимизировать пути следования с тем, чтобы потери на преодоление ледяных заторов были минимальны. Так, например, атомоход “Россия” в период 13–17 мая 2012 г. осуществил проводку теплохода “Капитан Данилкин” от пролива Карские Ворота до бухты Солнечная на о. Большевик (архипелаг Северная Земля) на основании радиолокационных изображений с КА RadarSat-1 и RadarSat-2. Наличие объективной и своевременной информации о ледовой обстановке позволило каравану пройти оптимальным маршрутом (рис. 1) — сначала по заприпайной полынье в разреженном льду со скоростью 12 узлов, а затем по ровному тонкому припайному льду со скоростью 10 узлов [5].

Необходимо отметить, что космический сегмент мониторинга, несмотря на все свои несомненные преимущества, в случае полярных областей должен постоянно находиться в тесном взаимодействии со службами гидрометеорологической статистики по исследуемому региону, что позволит обеспечить наиболее качественный прогноз поведения интересующего объекта.

По данным многолетних наблюдений [6–8] известно, что с октября по май Карское море полностью замерзает. Северная часть моря, куда спускаются океанические отроги ледяных массивов, всегда покрыта льдами. Самые напряженные месяцы для судоходства — с февраля по май, когда приходится проводить суда через окрепший за зиму лед.



Рис. 1. Путь атомохода “Россия”, планировавшийся на основании космических снимков [7]

Пролив Карские Ворота, расположенный между островами Вайгач и Новая Земля, имеет наиболее тяжелые условия для навигации вследствие обмена льдом с Карским морем [9]. Преобладают однолетние дрейфующие льды, толщина которых в конце зимы достигает 0,12–0,14 м. В проливе часто имеет место сжатие и торошение ледяных полей, что значительно затрудняет их преодоление. В данном районе периодически наблюдается одно из малоизученных явлений, характерное для проливов арктических морей, так называемая ледовая река — поток дрейфующего с большой скоростью льда, способный блокировать работу даже атомных ледоколов [10].

Обычно лед затрудняет подход к проливу только до первой декады июля. Это местный лед Баренцева моря и более крепкий лед Карского моря, выносимый через пролив Карские Ворота в Баренцево море. Если значительного выноса льда из Карского моря нет, местный лед Баренцева моря уже в конце июня не создает трудностей для прохода судов. В некоторые годы лед, выносимый из Карского моря, может блокировать подход с запада к проливу Карские Ворота до 15–25 июля.

Большой территориальный охват, повторяемость поступления информации и оперативность обработки позволяют использовать спутниковые данные для обеспечения навигации и круглогодичного плавания по СМП, особенно для этих целей эффективно применение данных всепогодной радиолокационной съемки различного пространственного разрешения и охвата [4]. В отличие от оптических средств наблюдения, фиксирующих отраженное излучение, в основном, в видимой и инфракрасной областях спектра, радиолокационная съемка

осуществляется путем сканирования подстилающей поверхности с использованием волн С-диапазона. Электромагнитные волны беспрепятственно проходят в обе стороны через облачный покров, позволяя выполнять съемку поверхности в любое время суток и при любых погодных условиях, что очень выгодно отличает радарные снимки от оптических. Действительно, для арктического региона, вследствие его климатических особенностей, помимо короткого светового дня, характерна ситуация, когда облачность держится неделю и более, поэтому применение именно радиолокационной съемки позволяет получить актуальную информацию об объекте наблюдения. Возможность получения информации независимо от освещенности и наличия облачного покрова с помощью спутниковых радиолокационных устройств представляет особый интерес для России, так как географическое расположение северной части России определяет слабую освещенность (короткий световой день) и высокий процент покрытия облачностью [11]. На черно-белых радарных снимках с КА RadarSat-1 и RadarSat-2, хорошо различимы как линия раздела лед/вода, так и качественное состояние льда — сплошные поля, поля с разломами и трещинами, ледяная крошка.

Наибольшую актуальность приобретают динамические карты ледовой обстановки, созданные на основе снимков за период навигации либо за определенный временной отрезок. Например, в осенне-зимний и весенний период во время наступления ледостава образуются ледовые поля, которые под действием ветра и течений постоянно находятся в движении [4]. Создание Центра космического мониторинга Арктики (ЦКМА) при Северном (Арктическом) федеральном университете имени М.В. Ломоносова и появление общедоступного портала ЦКМА, предоставляющего оперативные данные по ледовой обстановке района, существенно помогло народному хозяйству северных районов РФ. Очевидно, что требования к обеспечению безопасности навигации, рыболовства, добычи нефти и газа в полярных районах диктуют необходимость иметь в наличии оперативные данные о пространственном распределении, дрейфе, типе, возрасте и концентрации льда. Вместе с тем, не менее важную роль с появлением вышеописанных и перспективных средств оперативного космического наблюдения приобретает прогнозирование динамики ледовой обстановки, которая представляет собой систему, свойства которой постоянно изменяются с течением времени в результате протекания сложных физических, химических, биологических процессов, что делает длительные прогнозы состояния сомнительными по достоверности. Тем не менее, представляется возможным, имея в распоряжении оперативные данные, разработать модель прогнозирования ледовой обстановки на краткосроч-

ный период, если в качестве используемого математического аппарата применить тригонометрическую схему.

Отметим, что для построения схожих моделей наиболее распространенным способом является составление уравнений регрессии и поиск коэффициентов корреляции исследуемого характерного параметра и возмущающих факторов, число которых может меняться в самом широком диапазоне в зависимости от характера объекта наблюдения. Между тем, ледовая обстановка в прибрежных зонах Арктики обладает ярко выраженной сезонной повторяемостью, что открывает возможности ухода от стандартных алгоритмов и позволяет учесть все внешние факторы в неявном виде, так как линия тенденции строится для реальных точек. В зависимости от принимаемых в предполагаемой схеме допущений для построения первичной линии тенденции необходимо иметь в наличии данные как минимум по трем последовательным моментам времени, при этом шаг по времени, с учетом высокой динамичности рассматриваемой системы, должен быть относительно небольшим.

Экспериментальная проверка и обобщение результатов. В качестве исходных данных для эксперимента, целью которого являлось наблюдение за динамикой ледовой обстановки и выявление закономерных тенденций, которые можно было бы описать при моделировании, использовались радарные снимки пролива Карские Ворота и прилегающей территории с пространственным разрешением 50 м с космических аппаратов RadarSat-1 и RadarSat-2 для временного периода с марта 2011 г. по август 2012 г. Для каждого снимка с использованием программы ScanEx Image Processor была проведена векторизация ледовой обстановки, классифицированы области, свободные ото льда, области с ледяной крошкой и полыньями и области с ледяными полями. Несмотря на то что орбиты аппаратов Radarsat-1 и Radarsat-2 совпадают, возникает небольшое смещение снимков друг относительно друга из-за более точной геопривязки изображений, полученных с КА Radarsat-2 (устраняется проведением корегистрации). Кроме того, съемка одной и той же территории может производиться с нескольких соседних витков, под разными углами, что необходимо учитывать при совместном использовании снимков с двух КА.

Данные, полученные после обработки ряда космических снимков, свидетельствуют об ожидаемой цикличности процесса льдообразования и последующего таяния (таблица).

Для подтверждения правильности дешифрирования радиолокационных изображений удобно использовать релизы Гидрометцентра России. Так, например, из таблицы обработанных данных и рис. 2, согласующихся с данными [12] Арктического и Антарктического научно-исследовательского института Росгидромета (АНИИ), на середину

Результаты обработки серии космических снимков

| Дата | Суша, % | Вода, % | Лед, % | Крошка, % | Лед + крошка, % |
|------------|---------|---------|---------|-----------|-----------------|
| 19.04.2011 | 23,6607 | 45,5357 | 13,3929 | 17,4107 | 30,8036 |
| 02.09.2011 | 23,6607 | 6,2500 | 70,0893 | 0,0000 | 70,0893 |
| 16.12.2011 | 23,6607 | 76,3393 | 0,0000 | 0,0000 | 0,0000 |
| 26.01.2012 | 23,6607 | 67,8571 | 8,4822 | 0,0000 | 8,4821 |
| 11.02.2012 | 23,6607 | 65,6250 | 10,7143 | 0,0000 | 10,7143 |
| 03.03.2012 | 23,6607 | 0,0000 | 59,8214 | 16,5179 | 76,3393 |
| 16.04.2012 | 23,6607 | 34,8214 | 4,9107 | 36,6072 | 41,5179 |
| 30.05.2012 | 23,6607 | 0,0000 | 50,8929 | 25,4464 | 76,3393 |
| 12.06.2012 | 23,6607 | 73,3393 | 3 | 0 | 3 |

декабря 2011 г. ледовая обстановка в Арктике была легче нормальной. В связи с продолжительным периодом аномально теплой погоды и влиянием атлантических циклонов в западной части Карского моря лед наблюдался только вдоль побережья, в самом проливе Карские Ворота лед отсутствовал, это хорошо согласуется с полученными данными [13]. Погрешность определения относительного количества льда в проливе не превышает 5 %.

Необходимо отметить, что использованные для предварительных оценок радиолокационные снимки, поставляемые ЦКМА, характеризуются чрезмерно большими временными промежутками между соседними датами съемки. Это объясняется тем, что съемка вследствие высокой стоимости заказывается по мере надобности, а не является непрерывной.

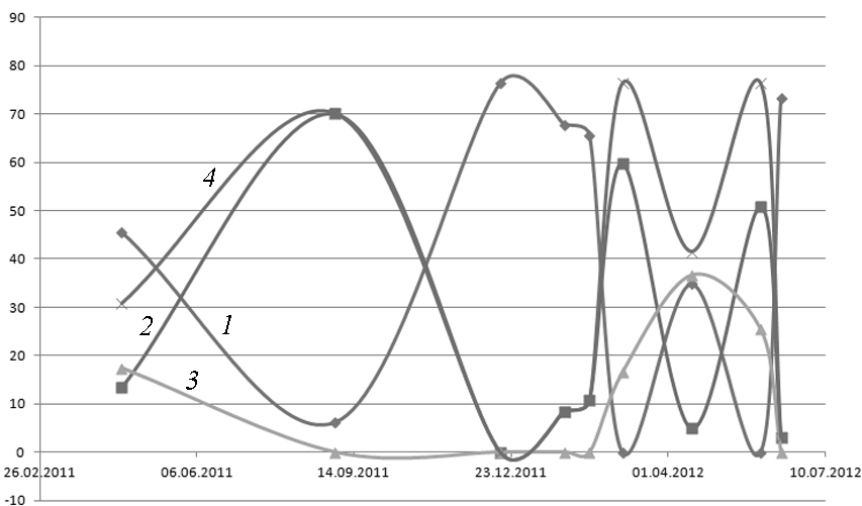


Рис. 2. Динамика образования и схода льда по результатам обработки космических снимков в проливе Карские Ворота в процентах от площади исследуемого региона:

1 — вода; 2 — лед; 3 — ледяная крошка; 4 — лед и крошка

Ежегодные изменения, происходящие в регионе, лишь отчасти влияют [14] на общую картину образования и таяния льдов, что в первом приближении позволяет представить модель ледовой обстановки в проливе в виде

$$S_{\text{л}} = S_{\text{max}} \sin(\omega t + \varphi), \quad (1)$$

где $S_{\text{л}}$ — текущее безразмерное количество льда в интервале от 0 до $S_{\text{в}}$ включительно; S_{max} — максимальное безразмерное количество льда в интервале от 0 до $S_{\text{в}}$ включительно; $S_{\text{в}}$ — относительная площадь акватории региона, захватываемая исследованием; $S_{\text{в}} = S_{\text{в}}^*/S^*$ (параметрам со звездочкой соответствуют площади акватории и всего исследуемого региона); ω, φ — внешние климатические параметры, вносящие коррективы в происходящие процессы.

Отметим, что вклад компонентов S_{max}, ω и φ четко определен: вариация S_{max} приведет к изменению амплитуды колебаний, изменение ω приведет к сжатию синусоиды, а изменение φ — к ее смещению относительно оси ординат.

Примем в качестве допущения, что существенных вековых климатических изменений в регионе не происходит, следовательно, среднее количество льда остается неизменным. Тогда (1) можно записать в виде

$$S_{\text{л}} = S_{\text{ср}} + S_0 \sin(\omega t + \varphi).$$

В первом приближении можно принять, что $S_0 = S_{\text{ср}}$.

Значение циклической частоты в первом приближении можно также считать постоянной на ограниченном промежутке времени, так как график изменения покрываемой льдом площади (см. ниже) имеет четко выраженную периодичность с постоянным локальным сжатием. Тогда ω легко определить из графика за предыдущий интервал времени по периоду колебаний как

$$\omega = \frac{2\pi}{T}. \quad (2)$$

Начальная фаза φ определяет смещение графика функции относительно оси Oy и представляет собой фактор, чувствительный к текущим климатическим условиям.

Таким образом, имеем, что $S_{\text{л}} = S_0 + S_0 \sin(\omega t + \varphi)$, где φ — изменяющийся в зависимости от начальных данных параметр, t — время.

Влияние φ в случае незначительных изменений параметра на величину $S_{\text{л}}$ ($\Delta\varphi \rightarrow 0$) определяется как

$$\begin{aligned} S_{\text{л}}(\varphi_0 + \Delta\varphi) &= S_{\text{л}}(\varphi_0) + \frac{\partial S_{\text{л}}}{\partial \varphi}(\varphi_0)\Delta\varphi; \\ S_{\text{л}}(\varphi_0 + \Delta\varphi) &= S_0 + S_0 \sin(\omega t + \varphi_0) + S_0 \cos(\omega t + \varphi_0)\Delta\varphi. \end{aligned} \quad (3)$$

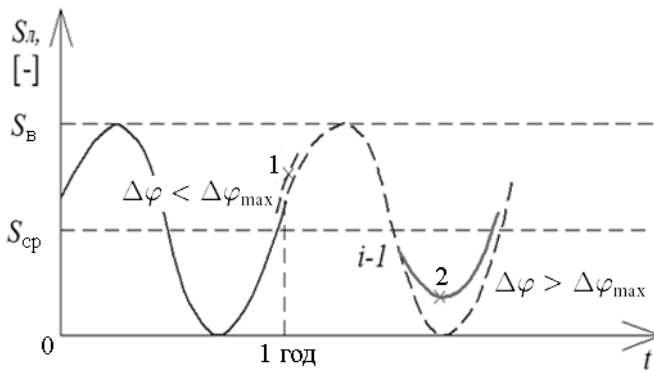


Рис. 3. Пример номинальной кривой изменения количества льда, построенной по данным предыдущего интервала измерений (сплошная линия) и отклонений прогнозной кривой от номинальной

Здесь необходимо учитывать, что мы ограничиваемся использованием дифференциала первого порядка, что накладывает ограничения на максимальное отклонение:

$$\Delta\varphi \rightarrow 0, \quad \Delta\varphi < \Delta\varphi_{\max}. \quad (4)$$

На рис. 3 представлена возможная ситуация, когда при прогнозировании отклонение $\Delta\varphi$, вызванное изменением климатических условий, приводит к незначительному (точка 1) смещению номинальной кривой, построенной по данным предыдущего интервала наблюдений, и ситуация с резким уходом кривой от номинального положения (точка 2). В связи с этим предлагается использовать алгоритм прогнозирования, в котором критерий применимости разложения в ряд $\Delta\varphi_{\max}$ определяется экспериментально.

Здесь необходимо отметить, что неизменность периода и среднего количества льда допускается только при $\varphi < \varphi_{\max}$, а само $\Delta\varphi$ является результатом воздействия всех возмущающих климатических факторов в регионе. В случае если условие (4) не выполняется, на основании последних известных точек (их число определяется полнотой модели) происходит полный пересчет параметров синусоиды, как это показано на рис. 4.

Для определения отклонения фазы φ от номинальной необходимо решить обратную задачу для первой точки ненормального участка, которая не учитывается в прогнозировании (рис. 5). Представим, что располагая номинальной кривой, полученной по снимкам прошлого интервала, в первой временной точке прогнозируемого участка определили величину $S_{л}$ по данным оперативной съемки. При несовпадении реальной и номинальной кривых (а оно будет наблюдаться в любом случае) в момент времени t_i система оказывается в том положении, которое должна по номинальной зависимости иметь в мо-

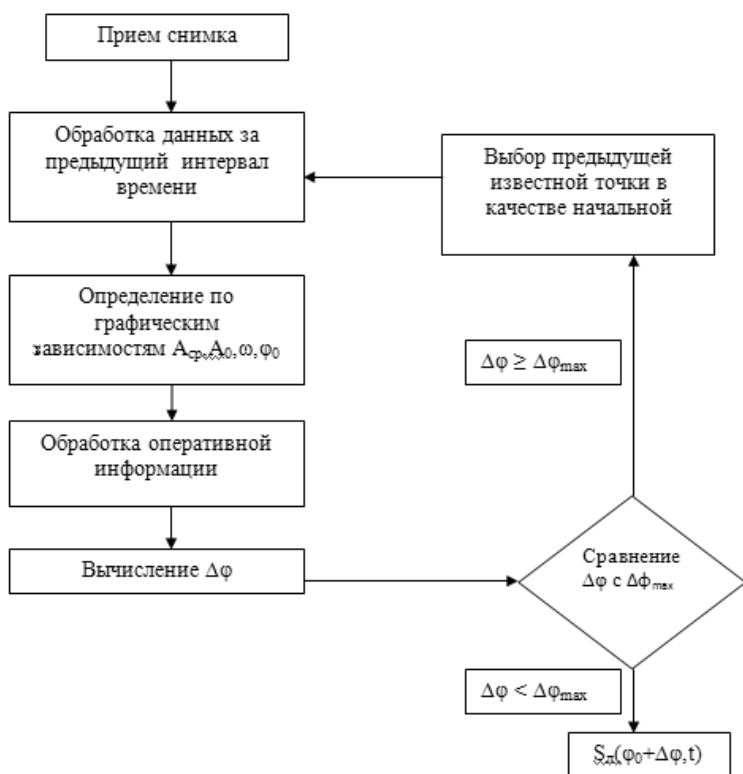


Рис. 4. Примерный вид предлагаемого алгоритма прогнозирования

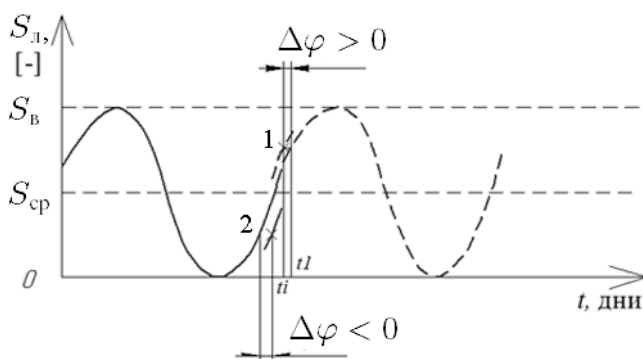


Рис. 5. К определению знака и абсолютной величины разности фаз

мент времени t_1 . Решение обратной задачи, вследствие ограниченности области значений обратных тригонометрических функций, приводит к необходимости приведения текущего времени к периоду колебаний и использования только дробной части указанного отношения. Разность времен, умноженная на циклическую частоту, даст приращение фазы $\Delta\varphi$:

$$\tilde{t}_1 = \frac{1}{\omega} \left[-\varphi_0 + \frac{\arcsin(S_{л} - S_0)}{S_0} \right]; \quad \bar{t}_2 = \left\{ \frac{t_i}{T} \right\}; \quad \Delta\varphi = (\tilde{t}_1 - \bar{t}_1)\omega.$$

Заключение. Доступные в настоящее время системы радиолокационного мониторинга земной поверхности в полярных областях позволяют в полной мере обеспечивать оперативный (ежесуточный) мониторинг основных судоходных районов. Необходимость использования ежесуточных данных обуславливается быстрой подвижностью дрейфующих ледяных массивов, которые при недельном интервале наблюдения успевают существенно изменить ледовую обстановку. Вместе с тем, вследствие высокой стоимости космических снимков с зарубежных КА, использование ежедневных данных крайне ограничено. Выходом из положения представляется разработка и ввод в эксплуатацию радиолокационных космических аппаратов дистанционного зондирования отечественного производства, при этом наиболее предпочтительным представляет вывод такого КА на солнечно-синхронную орбиту.

Одним из распространенных методов прогнозирования ледовой обстановки, помимо регрессионных моделей, является метод года-аналога. Его несомненным достоинством является учет всех факторов, влияющих на состояние системы. Вместе с тем этот метод требует наличия многолетней (не менее 10 лет) статистики и абсолютно не учитывает перехода состояния динамических систем с одной изохроны на другую, что представляется вероятным для исследуемого региона, вследствие его крайне нестационарного состояния.

Особенности поведения рассмотренной динамической системы позволяют построить основанную на тригонометрической схеме математическую модель, которая, будучи динамически корректируемой, на наш взгляд, позволит с некоторыми допущениями прогнозировать качественную картину ледовой обстановки в проливе. Основанная на сопоставлении прогнозных и реальных опорных точек, предлагаемая модель работает, начиная с $(i + 1)$ -го шага прогнозирования, что отличает ее от существующих образцов, работающих по i -му шагу. Предлагаемая динамическая коррекция потребует от соответствующего программного комплекса умения перестраивать мгновенные линии тенденции.

Для получения адекватного длительного прогноза требуется включить в модель компоненту, которая описывала бы сезонное состояние Новоземельского ледяного массива, являющегося основным источником формирования дрейфующего и торосового льда в исследуемом регионе. Эта задача представляется значительно более трудной, но зато обеспечит возможность опорного прогнозирования на срок, превышающий один навигационный сезон. Однако учет этого фактора и его количественное описание изначально заложены в предлагаемую модель в течение одного навигационного сезона в неявном виде.

Проведенное исследование позволяет сделать вывод о том, что количественное прогнозирование ледовой обстановки по новой схеме в регионе возможно, что несомненно позволит оптимизировать навигацию в полярных областях. При наличии достаточного количества радиолокационных снимков возможно проведение тестового прогнозирования с использованием предложенных модели и алгоритма. Однако следует учесть, что получение оперативных радиолокационных снимков в настоящий момент сопряжено с определенными финансовыми затратами в связи с их высокой стоимостью.

Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства образования и науки Российской Федерации в рамках мероприятия 1.9 федеральной целевой программы “Исследования и разработки по приоритетным направлениям развития научно-технического комплекса России на 2007–2013 годы”, государственный контракт от 18 августа 2011 года № 11.519.11.5002, шифр “2011-1.9-519-004”.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Основные итоги экспедиции по определению и обоснованию внешней границы континентального шельфа Российской Федерации в Северном Ледовитом океане в 2010 г. [Электронный ресурс] // ТГУ URL: http://ice.tsu.ru/index.php?option=com_content&view=article&id=484:2011-11-16-14-30-18 (Дата обращения 07.06.12).
2. Интервью А.Н. Чилингарова Российской газете 27.01.2012. [Электронный ресурс] // URL: <http://www.rg.ru/2012/01/27/arktika.html> (Дата обращения 24.07.12).
3. Судно с рабочими колесами для гидроагрегатов СШ ГЭС прошло Карские ворота. [Электронный ресурс] // Агентство информационных сообщений URL: <http://www.vg-news.ru/news-sudno-s-rabochimi-kolesami-dlya-gidroagregatov-ssh-ges-proshlo-karskie-vorota> (Дата обращения 12.03.12).
4. Морские льды Арктики [Электронный ресурс] // ИТЦ СканЭкс URL: <http://www.scanex.ru/ru/gallery/index07.html> (Дата обращения 29.03.12).
5. Спутниковые снимки позволили ФГУП “Атомфлот” оптимизировать проводку судна в морях Арктики [Электронный ресурс] // ИТЦ СканЭкс URL: http://www.scanex.ru/ru/news/News_Preview.asp?id=n14521246 (Дата обращения 29.03.12).
6. Карское море [Электронный ресурс] // Энциклопедия “Вокруг света” URL: http://www.vokrugsveta.ru/encyclopedia/index.php?title=%D0%9A%D0%B0%D1%80%D1%81%D0%BA%D0%BE%D0%B5_%D0%BC%D0%BE%D1%80%D0%B5 (Дата обращения 18.03.12).
7. Ледовые условия в Карском море [Электронный ресурс] // Единая государственная система информации об обстановке в Мировом океане URL: http://esimo.oceanography.ru/esp2/index/index/esp_id/15/section_id/9/menu_id/3997 (Дата обращения 23.06.12).
8. Навигационно-географический очерк о Карском море [Электронный ресурс] // Генерация документов URL: <http://gendocs.ru/v20231/?download=6> (Дата обращения 05.05.12).
9. Нож для арктического пирога [Электронный ресурс] // Политика и экономика URL: <http://www.itogi.ru/russia/2008/36/43845.html> (Дата обращения 13.06.12).

10. О диких проблемах, с которыми столкнется Ямал-СПГ при вывозе продукции [электронный ресурс] // Профессионально об энергетике URL: <http://energyfuture.ru/o-dikix-problemax-s-kotorymi-stalknetsya-yamal-spg-pri-vyvoze-produkcii> (Дата обращения 20.04.12).
11. Асмус В. В., Кровотынцев В. А. Оценка состояния полярных ледяных покровов с использованием данных с ИСЗ “Океан”. [Электронный ресурс] // Информационно-производственный комплекс “Интер-Невод” URL: <http://www.internevod.com/rus/academy/sci/02/a2.shtml> (Дата обращения 14.07.12).
12. О ледовой обстановке на российских морях в апреле 2012 г. [Электронный ресурс] // ГидроМетЦентр России URL: <http://meteoinfo.ru/news/1-2009-10-01-09-03-06/5071-03052012-2012> (Дата обращения 03.07.12).
13. Ледовая обстановка в Арктике на середину декабря 2011 года [Электронный ресурс] // ГидроМетЦентр России URL: <http://www.meteoinfo.ru/news/1-2009-10-01-09-03-06/4309-15122011> (Дата обращения 03.07.12).
14. О конференции по проблемам Арктики в Мурманске 2011 [Электронный ресурс] // МГИМО URL: <http://www.mgimo.ru/news/media/document187692.phtml> (Дата обращения 19.07.12).

Статья поступила в редакцию 18.10.2012

Вера Ивановна Майорова — д-р тех. наук, профессор кафедры “Космические аппараты и ракеты-носители” МГТУ им. Н.Э. Баумана. Автор более 70 работ в области разработки космической техники и образовательных космических технологий.

V.I. Mayorova — D. Sc. (Eng.), professor of “Spacecrafts and Launch Vehicles” department of the Bauman Moscow State Technical University. Author of more than 70 publications in the field of development of space machinery and educational space technologies.

Дмитрий Александрович Гришко — студент кафедры “Динамика и управление полетом ракет и космических аппаратов” МГТУ Н.Э. Баумана. Автор 12 научных работ в области космической техники.

D.A. Grishko — student of “Dynamics and Flight Control of Rockets and Spacecrafts” department of the Bauman Moscow State Technical University. Author of more 12 publications in the field of space technology.

Валерия Александровна Чагина — студентка кафедры “Динамика и управление полетом ракет и космических аппаратов” МГТУ им. Н.Э. Баумана.

V.A. Chagina — student of “Dynamics and Flight Control of Rockets and Spacecrafts” department of the Bauman Moscow State Technical University.

Светлана Владимировна Хардаминава — инженер отдела предварительной обработки данных Центра космического мониторинга Арктики Северного (Арктического) федерального университета им. М.В. Ломоносова.

S.V. Khardaminova — engineer of department for preliminary data processing of the Center for Arctic Space Monitoring of the Lomonosov Northern (Arctic) Federal University.

Издательство МГТУ им. Н.Э. Баумана

Сдано в набор 15.01.2013

Формат 70 × 108/16

Заказ

Отпечатано в типографии МГТУ им. Н.Э. Баумана

Подписано в печать 5.03.2013

Усл.-печ. л. 11,2

Уч.-изд. л. 11,98