

Проблемные вопросы контроля надводной обстановки на Севморпути космическими аппаратами дистанционного зондирования Земли

© В. А. Родионов, М. И. Калинов

Санкт-Петербургский научный центр РАН, г. Санкт-Петербург, Россия

Реферат

Целью данной работы является разработка предложений по использованию космических аппаратов дистанционного зондирования Земли для обеспечения безопасности на маршрутах Севморпути.

К настоящему моменту решены следующие задачи: проанализированы доступные данные об интенсивности судоходства, реальные параметры боковых отклонений и ширины полосы движения судов относительно рекомендованных маршрутов в морях Севморпути; рассмотрены перспективы развития Арктической космической группировки. По результатам моделирования сделаны прогнозы эффективности применения КА дистанционного зондирования Земли для обеспечения контроля за надводной обстановкой на Севморпути, выявлены проблемы и определены пути их решения.

Применяя существующую группировку КА дистанционного зондирования Земли, состоящую из КА «Ресурс-П», 2 КА «Кондор-ФКА», 5 КА «Канопус», можно решать задачи наблюдения за надводной обстановкой с заданной вероятностью, однако периодичность составляет десятки часов. Двукратное увеличение количества КА дистанционного зондирования Земли на орбите не приведет к существенному улучшению показателей эффективности.

Отсюда следует, что для оперативного контроля за надводной обстановкой на Севморпути необходимо создание и применение многоспутниковых оптико-радиолокационных космических систем дистанционного зондирования Земли, а также комплексов обработки информации на морских объектах и в органах управления, функционирующих в реальном масштабе времени.

Ключевые слова: Севморпуть, рекомендованный маршрут, моделирование процесса, контроль за надводной обстановкой, космические аппараты дистанционного зондирования Земли.

Контакты для связи: Родионов Владислав Александрович (var1959@mail.ru).

Для цитирования: Родионов В. А., Калинов М. И. Проблемные вопросы контроля надводной обстановки на Севморпути космическими аппаратами дистанционного зондирования Земли // Труды ИПА РАН. 2025 Вып. 73. С. 11–21.

<https://doi.org/10.32876/ApplAstron.73.11-21>

Problematic Issues of Monitoring the Surface Conditions on the Northern Sea Route Using Space Vehicles for the Earth Remote Sensing

V. A. Rodionov, M. I. Kalinov

St. Petersburg Scientific Center of the Russian Academy of Sciences, Saint Petersburg, Russia

Abstract

The purpose of this paper is to develop proposals for the use of Earth remote sensing spacecraft in the interests of ensuring safe navigation on the routes of the Northern Sea Route.

To achieve this goal, the following tasks are solved ship: data on navigation intensity, the real parameters of lateral deviations and the width of the ship lane relative to the recommended routes in the seas of the Northern Sea Route are analyzed from available sources; prospects for the development of the Arctic Space Group are considered. Based on the modeling the use of remote sensing spacecraft, the results of their effectiveness in controlling surface activity are predicted regarding the situation on the Northern Sea Route, problems have been identified and ways to solve them have been identified.

The use of the existing grouping of Earth remote sensing spacecraft, consisting of the Resurs-P spacecraft, 2 Condor-FKA spacecraft, 5 Canopus spacecraft can solve the tasks related to observing the surface conditions with a given probability, but with a frequency of tens of hours. A two-fold increase in the number of Earth remote sensing spacecraft in orbit does not lead to a significant improvement in efficiency indicators.

Conclusions: for operational control of the surface conditions along the Northern Sea Route, it is necessary to create and use multi-satellite optical-radar space systems for Earth remote sensing, as well as information processing complexes at offshore facilities and in control bodies operating in real time.

Keywords: Northern Sea Route, modeling, monitoring the surface environment, Earth remote sensing spacecraft.

Contacts: Vladislav A. Rodionov (var1959@mai.ru)

For citation: Rodionov V. A., Kalinov M. I. Problematic issues of monitoring the surface conditions on the Northern Sea route using space vehicles for the Earth remote sensing // Transactions of IAA RAS. 2025. Vol. 73. P. 11–21.
<https://doi.org/10.32876/AppI Astron.73.11-21>

Введение

История освоения Севморпути началась задолго до того, как он стал официальным государственным проектом. Первыми осваивать арктические воды начали еще поморы в XI–XIII веках. Они строили кочи, ладьи, способные проходить среди льдов, и отправлялись в походы за пушниной, рыбой и моржовой костью. Поскольку у первых путешественников не было навигационных приборов и карт, они двигались только вдоль побережья.

В декабре 1525 г. русским дипломатом Дмитрием Герасимовым была выдвинута гипотеза о возможности добраться из Европейской части в Китай через Северный Ледовитый океан. Хотя сам термин «Северный морской путь» появился значительно позже, и серьезно осваивать маршрут начали только в XX веке, именно эта дата считается отправной точкой в изучении арктических вод для навигации. Первым же испытателем, кто прошел Берингов пролив в 1648 г. и доказал, что Америка и Азия разделены, стал Семен Дежнев. Этот момент можно считать начальным для исследования Арктики и прокладывания новых морских путей.

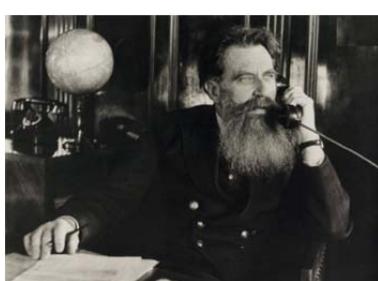
В XVIII и XIX веках российские экспедиции заложили основы для будущего освоения Северного морского пути. Такие известные исследователи, как Витус Беринг, Федор Литке, Семен Челюскин, составляли карты, изучали течения и льды, искали более короткие пути из Европы на Восток. Особое место в истории занимает экспедиция Эдуарда Толля, который в конце XIX в. искал легендарную Землю Санникова. Его труды стали частью культурно-просветительского наследия России.

Планомерное, систематическое изучение Арктики и прежде всего — Северного морского пути (СМП) — началось в 30-х годах прошлого века. Декретом № 1606 и Постановлением Совета народных комиссаров СССР № 1873 от 17.12.1932 было учреждено Главное управление СМП, которому была поставлена задача «...проложить окончательно морской путь от Белого моря до Берингова пролива, оборудовать этот путь, держать его в исправном состоянии и обеспечить безопасность плавания по этому пути».

Экспедиция под руководством академика Отто Юльевича Шмидта на ледоколе «Александр Сибиряков» в период 28.07.1932–01.10.1932 гг. впервые в мире доказала возможность прохода всего Севморпути за одну навигацию. За заслуги в освоении Арктики в 1932 г. О. Ю. Шмидт был назначен первым начальником Главсевморпути при СНК СССР. Этот пост он занимал до 1939 г. Главным результатом его деятельности было положено начало регулярного судоходства вдоль берегов Сибири.

Вторым начальником Главсевморпути в период 1939–1946 гг. стал известный исследователь Арктики, доктор географических наук, контр-адмирал Иван Дмитриевич Папанин, с 15 октября 1941 г. также являвшийся Уполномоченным Государственного Комитета Обороны по перевозкам на Белом море. Ледокольный флот в годы войны обеспечил проводку конвоев и Северный завоз.

Распоряжением Правительства Российской Федерации от 23 июля 2022 г. № 2019-р создано ФГБУ «ГлавСевморпуть» в структуре ГК «Росатом», ставшее преемником Администрации Северного морского пути при Федеральном агентстве



Первый начальник
Главсевморпути 1932–1939 гг.,
действительный член Академии
наук СССР Отто Юльевич Шмидт
(1891–1956)



Второй начальник Главсевморпути
1939–1946 гг., доктор
географических наук,
контр-адмирал Иван Дмитриевич
Папанин (1894–1986)



Генеральный директор ФГБУ
«ГлавСевморпуть» с 2022 г.
Сергей Николаевич Зыбко
(1960 г.р.)

Рис.1. Руководители ГлавСевморпути с момента образования и в настоящее время

морского и речного флота. Генеральным директором с 1 августа 2022 г. ФГБУ «ГлавСевморпуть» является Сергей Николаевич Зыбко (в прошлом капитан первого в мире ледокольного танкера-газовоза, командир подводной лодки, капитан 2 ранга в запасе).

На рис. 1 представлены руководители ГлавСевморпути в разное время.

Применение КА дистанционного зондирования Земли для обеспечения контроля за надводной обстановкой на Севморпути

Северный морской путь проходит вдоль северных берегов России по морям Северного Ледовитого океана (Баренцево, Карское, Лаптевых, Восточно-Сибирское, Чукотское и Берингово), соединяет в единую транспортную систему европейские и дальневосточные порты РФ, а также устья судоходных сибирских рек. Длина СМП от пролива Карские Ворота (у архипелага Новая Земля) до бухты Провидения (в Беринговом проливе) составляет 5.6 тыс. км ([Севморпуть: история и перспективы](#)).

Организационно СМП делится на Западный сектор Арктики — от Мурманска до Дудинки, обслуживаемый ледоколами Мурманского морского пароходства, и Восточный сектор Арктики — от Дудинки до Чукотки, обслуживаемый ледоколами Дальневосточного морского пароходства.

В акватории СМП проложена сеть рекомендованных судоходных маршрутов (рис. 2), включающих прибрежные трассы протяженностью 8600 миль и высокоширотные трассы протяженностью 3400 миль ([Афонин, 2017](#)). Маршруты СМП проходят по водам Карского моря, моря Лаптевых, Восточно-Сибирского и Чукотского морей и проливам, соединяющим указанные моря ([Афонин, 2018](#)). Все маршруты делятся на три группы: прибрежные, высокоширотные и приполюсные (рис. 2).

Прибрежные маршруты используются судами с небольшой осадкой в летне-осенний навигационный период. Основной особенностью прибрежных трасс является их мелководность. Высокоширотные маршруты используются судами с осадкой до 12 м. Высокоширотная трасса делится на две: альтернативная и основная высокоширотная. Альтернативная трасса проходит севернее основной по относительно большим глубинам, основной ее недостаток — пересечение области вероятного расположения многолетних ледовых массивов. Приполюсная трасса, не представленная на схеме, проходит от Мурманска до Берингова пролива и также пересекает относительно глубоководные районы. Многолетний лед, перекрывающий трассу практически круглый год, является основным фактором, который влияет на безопасность судоходства.



Рис. 2. Судоходные маршруты на Севморпути

Таблица 1

Распределение глубин по площади арктических морей ([Андреева, Исаулова, 2021](#))

Диапазон глубин, м	Доля площади, %			
	Карское море	Море Лаптевых	Восточно-Сибирское море	Чукотское море
0–10	3.5	11.1	14	
10–20	5.3	37.4	47	1
20–30	10.1	22.7	25.5	6
30–40	9.3	17.8	13.1	8
40–50	3.8	11.0	—	55
50–100	18.3	—	—	
100–200	20	—	—	30
> 200	29.7	—	—	

Изучение акватории СМП требует постоянно, а не эпизодического гидографического обследования рельефа дна в районах плавания судов с предельно малым безопасным запасом воды под килем, а отклонение от рекомендованных маршрутов увеличивает риск возможной посадки судов на неизвестную мель.

В табл.1 приведено распределение глубин по площади арктических морей ([Андреева, Исаулова, 2021](#)). Доля мелководных зон (с глубинами менее 30 м) в Восточно-Сибирском море и море Лаптевых значительно выше, чем в Карском и Чукотском морях, что делает их в перспективе потенциально менее пригодными для плавания крупнотоннажных судов, имеющих большую осадку.

Таким образом, мелководье в сочетании со сложными ледовыми условиями Арктики, а также загруженность операционной зоны Севморпути являются основными осложняющими факторами круглогодичной навигации крупнотоннажных судов в акватории СМП.

Каждое судно на рис. 3 обозначено стрелкой, направление которой соответствует направлению движения судна за прошедшие 24 часа, цифрой обозначена средняя скорость за последние сутки. Цвет стрелки соответствует определенному значению осадки судна. Видно, что высокая навигаци-

онная активность в Западном секторе Арктики — в акватории Карского моря, значительно меньше активность в Восточной части — в море Лаптевых и в Восточно-Сибирском море. Также следует отметить, что положение судов, в основной своей массе, тяготеет к рекомендованным маршрутам прибрежных и высоколатитных трасс (зеленые пунктирные линии). Однако в Восточном секторе Арктики наблюдаются единичные суда, далеко отстоящие от них.

В ([Исаулова, 2020](#)) проведен анализ боковых отклонений от рекомендованных маршрутов и ширин полос движения судов в морях Восточного сектора Севморпути в период навигации с июля по ноябрь 2019 г. (рис. 4–5).

По представленным диаграммам величин отклонения траекторий движения судов от рекомендованных маршрутов и полос движения судов в восточном секторе в период навигации 2019 г. можно судить о существенном отклонении на участках морей, где отсутствуют априорные данные подробного площадного обследования. Степень загруженности Севморпути и значительные отклонения траекторий существенно усложняют навигационную коммуникацию, а также создают необходимость в постоянно действующей космической системе контроля надводной обстановки на Севморпути с целью оперативного реагирования и обеспечения навигационной безопасности.

К началу 2025 г. арктическая спутниковая группировка включает высокоэллиптическую гидрометеорологическую космическую систему (ВГКС) «Арктика-М» с КА «Арктика-М» № 1, № 2; радиолокационные КА дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ) «Кондор-ФКА» № 1, № 2, оптико-электронные КА ДЗЗ «Ресурс-П» и «Канопус-В», гидрометеорологические КА «Метеор 2–3», «Метеор 2–4». Радиолокационный КА «Обзор-Р» планируется к запуску в 2025 г. С целью предоставления надежной и устойчивой спутниковой связи для пользователей Арктической зоны РФ создается

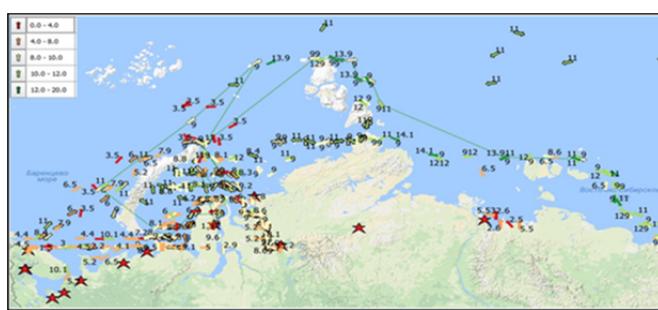


Рис. 3. Реальное расположения судов в акватории Севморпути зафиксированное в период летней навигации на заданную дату ([Афонин, 2018](#))

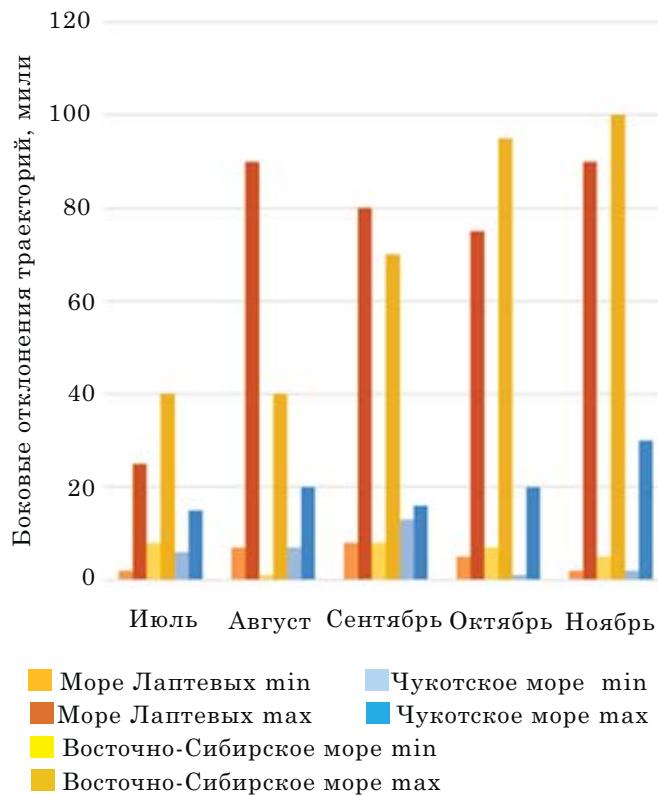


Рис. 4. Боковые отклонения траекторий (min/ max) движения судов от рекомендованных маршрутов в Восточном секторе Севморпути

космический комплекс (КК) высокоэллиптической системы обеспечения широкополосного спутникового доступа к сети Интернет» КК «Экспресс-РВ». Орбитальная группировка из 4 КА «Экспресс-РВ» будет введена в эксплуатацию в 2026 г. ([Логинова, 2024](#)). В дальнейшем до 2035 г. наращивание Арктической космической группировки будет идти по пути увеличения количества КА, связанных в систему по целевому назначению.



Рис. 5. Ширина полосы движения судов (min/ max) в Восточном секторе Севморпути

Одним из элементов постоянно действующей системы наблюдения могут быть отечественные космические системы дистанционного зондирования Земли. Наклонение солнечно-синхронных орбит КА ДЗЗ ($\approx 97^\circ$) позволяет решать задачи наблюдения за надводной обстановкой в различных районах Арктики и по маршруту СМП. По состоянию на 01.01.2025 г. указанные задачи могут решать КС с двумя КА радиолокационного наблюдения (РЛН) типа «Кондор-ФКА», одним КА оптико-электронного наблюдения (ОЭН) типа «Ресурс-П» и пятью КА ОЭН типа «Канопус».

Имеется ряд важных особенностей, которые следует учитывать при прогнозировании результатов применения указанных КС ДЗЗ для наблюдения за судоходством по маршруту Севморпути:

- ледовая обстановка в регионе;
- условия наблюдения, определяемые освещенностью района;
- времена устаревания данных об обстановке в регионе;
- возможность распознавания морских судов в условиях фона-целевой обстановки различной степени сложности;
- наличие (отсутствие) априорной информации о судах, осуществляющих переход в заданном для наблюдения районе;
- времена задержки информации от момента подачи заявки на получение данных о надводной обстановке до момента получения потребителем готового продукта КС ДЗЗ и др.

Можно выделить два варианта получения данных о надводной обстановке при прогнозировании применения КА ДЗЗ. В первом варианте считается, что имеется априорная информация о надводной обстановке, полученная из других источников, и объекты наблюдения (ОН) находятся в некоторой ограниченной области возможного положения. Для просмотра такой области возможного положения объекта наблюдения (ОВПОН) производится необходимый заблаговременный поворот антенного устройства (КА РЛН типа «Кондор-ФКА») или разворот всего КА ОЭН (КА типа «Ресурс-П» и «Канопус»). При этом размеры просматриваемых КА полос на земной поверхности будут определяться в соответствии с диапазонами их углов визирования (падения). Во втором варианте предполагается отсутствие априорной информации об объектах наблюдения. В этом случае считается, что ширина полосы обзора КА равна ширине полосы захвата. Следует отметить, что правильное распознавание морских судов возможно на радиолокационных (оптических) изображениях, полученных с разрешением не хуже 5–10 м ([Руководство пользователя «Кондор-ФКА», 2023](#); [Руководство пользователя «Ресурс-П», 2023](#); [Руководство пользователя «Канопус-В, 2023»](#)).

Таблица 2

Характеристики КА ДЗЗ

Характеристики	Наименование КА		
	«Кондор-ФКА»	«Ресурс-П»	«Канопус»
Высота орбиты, км	520	475	510
Наклонение орбиты, град.	97	97	97
Угол визирования (падения), град.	±24–25	±45	±40
Полоса захвата, км	100	97	20

Некоторые характеристики КА, учитываемые при прогнозировании результатов применения КС ДЗЗ, представлены в табл. 2.

Для прогнозирования результатов применения КС ДЗЗ в целях мониторинга надводной обстановки был использован известный сценарно-временной метод и соответствующая ему компьютерная методика с адаптированной к решаемой задаче формой представления результатов ([Гуляков и др., 2018](#); [Анцев и др., 2018](#)). Данная методика входит в состав программно-алгоритмического обеспечения имитационно-моделирующего комплекса информационных космических систем в Санкт-Петербургском отделении Секции прикладных проблем при Президиуме РАН и Санкт-Петербургском научном центре РАН. Прогнозирование осуществлялось в двух районах:

- в районе Карского моря (Западный сектор маршрута Севморпути);
- в районе Восточно-Сибирского моря (Восточный сектор маршрута Севморпути).

При прогнозировании оценивались следующие показатели:

- эффективность применения системы — вероятность слежения за ОН с заданным допустимым временем устаревания данных (далее — вероятности слежения);
- периодичность — максимальный интервал времени между обнаружениями ОН с вероятностью не ниже 0.8 (далее — периодичности или интервала времени между обнаружениями);
- количество обнаружений ОН в сутки (далее — количество обнаружений).

Были заданы два значения допустимого времени устаревания данных: 12 ч и 24 ч. Продолжительность интервала оценки (с учетом времени стабилизации среднего значения вероятности слежения за ОН) — 6 суток. Неопределенность положения и состояния объекта наблюдения создавалась путем имитации (розыгрыша) 100 объектов, равномерно распределенных в заданном районе, и их возможного маневра (перемещения)

в пределах этого района между пролетами КА. При этом в каждом пролете КА производилось определение координат и состояния каждого объекта, имитирующего один из возможных сценариев действий ОН. Считалось, что КА ДЗЗ, осуществляющие решение задач мониторинга Севморпути, постоянно находились в зоне радиовидимости одного или нескольких пунктов приема информации (ППИ) Единой территориально распределенной информационной системы ДЗЗ и передавали на них первичную целевую информацию о надводной обстановке в реальном масштабе времени.

Пример отображения полученных в процессе прогнозирования результатов приведен на рис. 5. Для удобства пользователей на экране компьютера отображается следующая тексто-графическая информация:

- графическое отображение района наблюдения и начальных отрезков трасс полета КА на фоне цифровой надводной карты;
- данные о границах района и количестве КА ДЗЗ в орбитальной группировке (ОГ);
- данные о баллистической структуре ОГ КА: долготы восходящих узлов орбит КА и времена их прохождения (КА РЛН обозначены красным цветом, КА ОЭН — синим);
- мгновенные и средние значения вероятностей слежения за ОН W_s, W_z с допустимым временем устаревания данных 24 часа и 12 часов соответственно;
- график пролетов КА над заданным районом (в цифровом виде);
- отображение особым символом «●» фактов появления события «Обнаружение объекта» для каждого из 100 объектов в каждом пролете КА над заданным районом;
- дифференциальный и интегральный законы распределения вероятностей попадания в различные временные интервалы между обнаружениями, а также значение максимального интервала между обнаружениями с вероятностью не ниже 0.8;

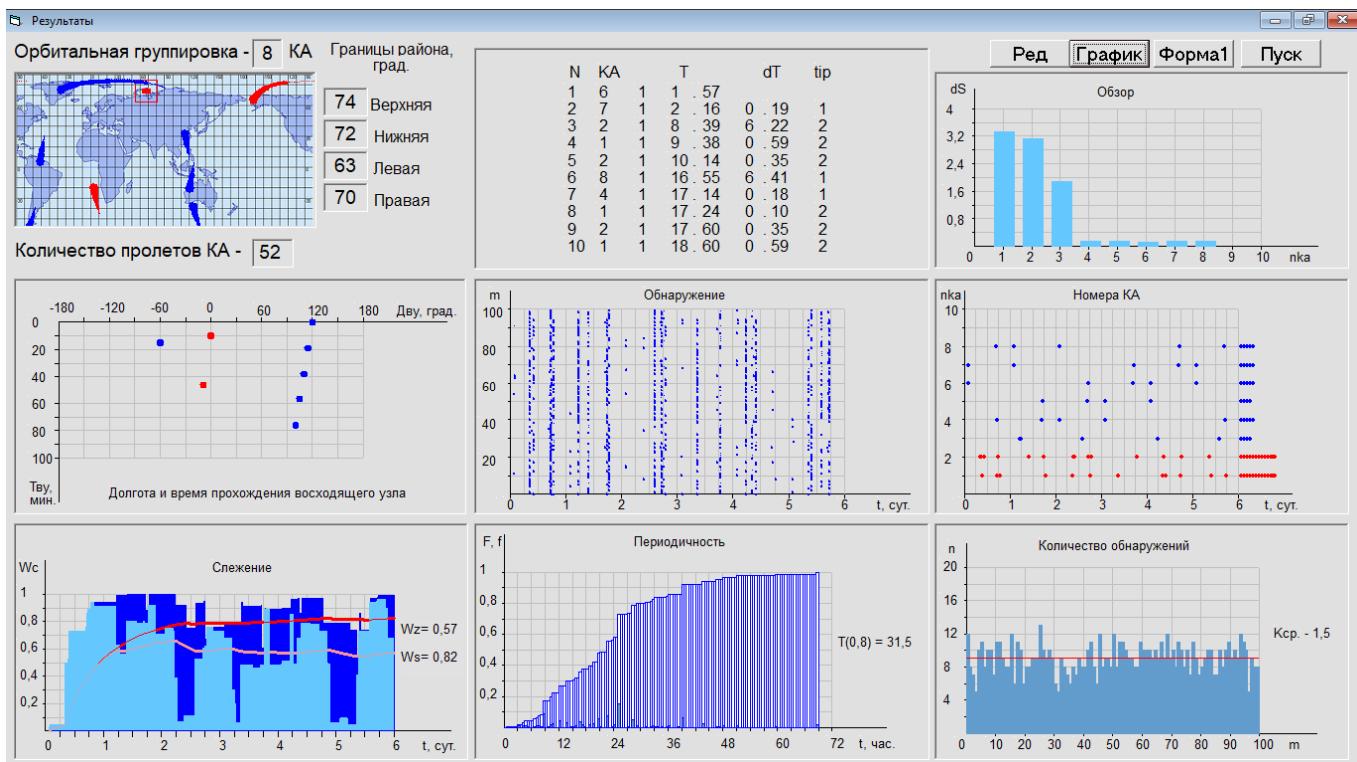


Рис. 6. Отображения получаемых результатов при прогнозировании применения КС ДЗЗ в районе Карского моря при постоянно светлом времени суток (вариант 2)

Результаты прогнозирования применения КС ДЗЗ для контроля судоходства в Восточно-Сибирском море (вариант 1)

Условия наблюдения	Вероятность слежения (12 ч)	Вероятность слежения (24 ч)	Периодичность	Количество обнаружений
Постоянно светлое время суток	0.97	0.97	6.5	17.1
Постоянно темное время суток	0.87	0.97	15.5	4.6

Результаты прогнозирования применения КС ДЗЗ для контроля судоходства в Карском море (вариант 1)

Условия наблюдения	Вероятность слежения (12 часов)	Вероятность слежения (24 часа)	Периодичность	Количество обнаружений
Постоянно светлое время суток	0.99	0.99	6.5	15.8
Постоянно темное время суток	0.85	0.94	15.0	4.7

— данные о временах пролета каждого КА (в графическом виде) над заданным районом на интервале оценки (обозначены символами «●») (график «Номера КА»);

— данные об информативности КА — доле площади района dS, «просмотренной» каждым КА на интервале оценки (график «Обзор»);

— данные о количестве обнаружений объектов.

Основные результаты прогнозирования приведены в табл. 3–6. В ячейках таблиц «Вероятность слежения» в скобках указано допустимое время устаревания данных о надводной обстановке.

Таблица 5

Результаты прогнозирования применения КС ДЗЗ для контроля судоходства в Восточно-Сибирском море (вариант 2)

Условия наблюдения	Вероятность слежения (12 ч)	Вероятность слежения (24 ч)	Периодичность	Количество обнаружений
Постоянно светлое время суток	0.57	0.80	31.5	1.6
Постоянно темное время суток	0.49	0.73	38.5	1.2

Таблица 6

Результаты прогнозирования применения КС ДЗЗ для контроля судоходства в Карском море (вариант 2)

Условия наблюдения	Вероятность слежения (12 ч)	Вероятность слежения (24 ч)	Периодичность	Количество обнаружений
Постоянно светлое время суток	0.57	0.82	31.5	1.5
Постоянно темное время суток	0.46	0.76	33.5	1.0

Анализ результатов прогнозирования применения отечественных КС ДЗЗ в районах Карского и Восточно-Сибирского морей показал их существенную зависимость от выбранного варианта получения данных о надводной обстановке. В первом варианте обеспечивается практически непрерывное (с вероятностью не ниже 0.85–0.99) слежение за ОН с периодичностью 6.5–15.5 ч в любое (темное или светлое) время суток. Во втором варианте значения показателей прогноза существенно снижаются: вероятность слежения за ОН составляет 0.46–0.82, а периодичность возрастает до 31.5–38.5 ч. Количество обнаружений ОН при этом снижается в 4–10 раз (с 4.6–17.1 до 1.0–1.6). Значения всех оцениваемых показателей для районов Карского и Восточно-Сибирского морей отличаются несущественно (в среднем не более чем на 3–5 %), за исключением количества обнаружений в светлое время суток по варианту 1 и периодичности в темное время суток по варианту 2, где отличие возрастает до 17–20 %. Указанные отличия связаны с географическим положением районов наблюдения, особенностями моделирования и принятыми в моделях ограничениями и допущениями.

Большое влияние на временную задержку при получении потребителями необходимой информации о надводной обстановке по данным КА ДЗЗ оказывает время обработки информации на ППИ, которое составляет от 12 до 24 ч ([Руководство пользователя «Кондор-ФКА», 2023](#); [Руководство пользователя «Ресурс-П», 2003](#); [Руководство пользователя «Канопус-В»](#)). Поэтому суммарное время ожидания потребителями данных о надводной обстановке может составить от 18.5 до 62.5 ч. Такая

задержка существенно ухудшает оперативность контроля за судоходством в Арктическом регионе.

С целью контроля достоверности полученных оценок в процессе исследований дополнительно выполнено прогнозирование результатов применения КС ДЗЗ по всему маршруту СМП ([Калинов и др., 2021](#)). Пример отображения процесса прогнозирования, его результатов и получаемых оценок представлен на рис. 7. При этом на экране компьютера отображается следующая текстографическая информация:

- количество КА в орбитальной группировке;
- количество пролетов КА над ОВПОН;
- номер маршрута перехода;
- текущее время функционирования КС ДЗЗ;
- время текущего пролета КА;
- текущие сутки;
- интервал оценки;
- маршрут перехода;
- ОВПОН при его обнаружении;
- потенциальное количество КА в системе;
- активные КА;
- максимальное время, необходимое для решения задачи обнаружения ОН, ч;
- вероятности обнаружения и выявления ОН;
- вероятности слежения за ОН (мгновенные и средние значения);
- максимальные значения интервалов времени между обнаружениями ОН с вероятностью не ниже 0.5; 0.8; 1.0;
- законы распределения вероятностей попадания в интервалы времен ожидания обнаружения, а также их числовые характеристики;
- количество обнаружений;

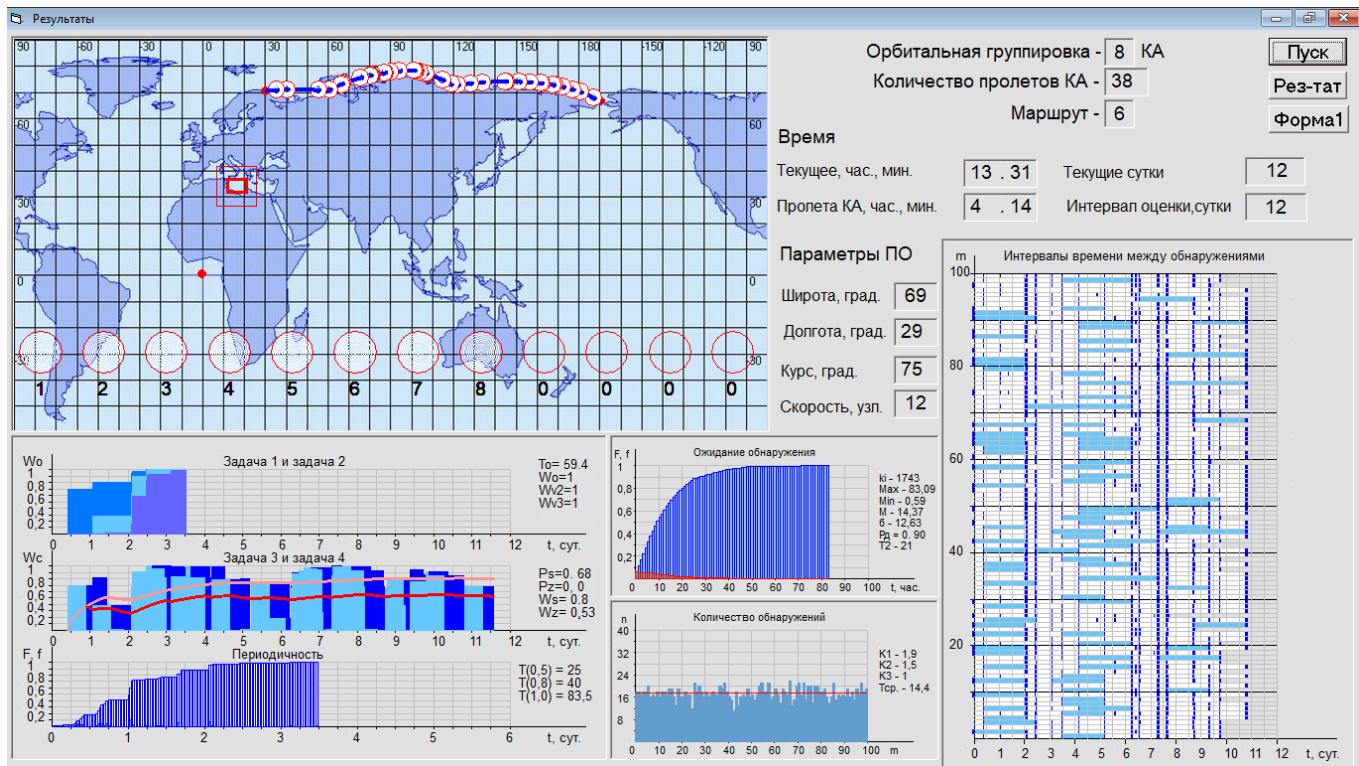


Рис. 7. Отображение получаемых результатов при прогнозировании применения КС ДЗЗ по маршруту Северного морского пути при постоянно светлом времени суток (вариант 2)

- максимальное значение времени ожидания обнаружения с вероятностью не ниже 0.8;
- максимальное, среднее и минимальное значения количества обнаружений ОН в сутки;
- среднее время между обнаружениями ОН (по всей совокупности интервалов времени между его обнаружениями), ч.
- условные символы (синие прямоугольники), соответствующие появлению события «обнаружение ОН» для каждого объекта в каждом пролете КА.

Сравнительный анализ полученных результатов прогнозирования в Карском, Восточно-Сибирском морях и по маршруту Северного морского пути показал, что в среднем они отличаются не более чем на 15–20 %, что обусловлено перемещением ОВПОН, а также особенностями моделирования.

В ближайшие годы планируется нарастить орбитальной группировки отечественных КА ДЗЗ, способных фиксировать местоположение морских судов с разрешающей способностью не хуже 5–10 м: КА РЛН — в полтора раза, КА ОЭН — в 2 раза. Предварительные расчеты показали, что это позволит улучшить периодичность прогноза и количество обнаружений до 50–70 %. При этом также повысятся значения вероятностей слежения, особенно для варианта 2, когда КА применяются в условиях априорной неопределенности.

В то же время даже при таком составе ОГ КА ДЗЗ оперативное решение задач мониторинга надводной обстановки с допустимым временем устаревания информации (1–2 ч), позволяющем оперативно осуществлять контроль и управление морскими судами при их отклонении от рекомендованного (заданного) маршрута, невозможно.

Очевидно, что для достижения необходимо решение нескольких проблемных вопросов:

- наращивание орбитальной группировки КА ДЗЗ (создание многоспутниковых КС ДЗЗ);
- сокращение времени обработки поступающей от КА информации на ППИ до нескольких минут (максимум — до нескольких десятков минут);
- создание и размещение на судах и в наземных ППИ малогабаритных судовых и наземных комплексов оперативной обработки радиолокационной и оптико-электронной информации, поступающей от КА ДЗЗ;
- создание КС радиоэлектронного мониторинга надводной обстановки с КА на средних, высокоэллиптических и геостационарных орbitах.

Пример прогнозирования результатов применения многоспутниковой КС ДЗЗ представлен на рис. 8. Рассмотрена многоспутниковая КС ДЗЗ в составе 48 КА РЛН (6 групп по 8 КА в группе). Высота орбиты каждого КА — 500 км, наклонение орбиты — 98°, полоса обзора — 2 × 100 км. Углы

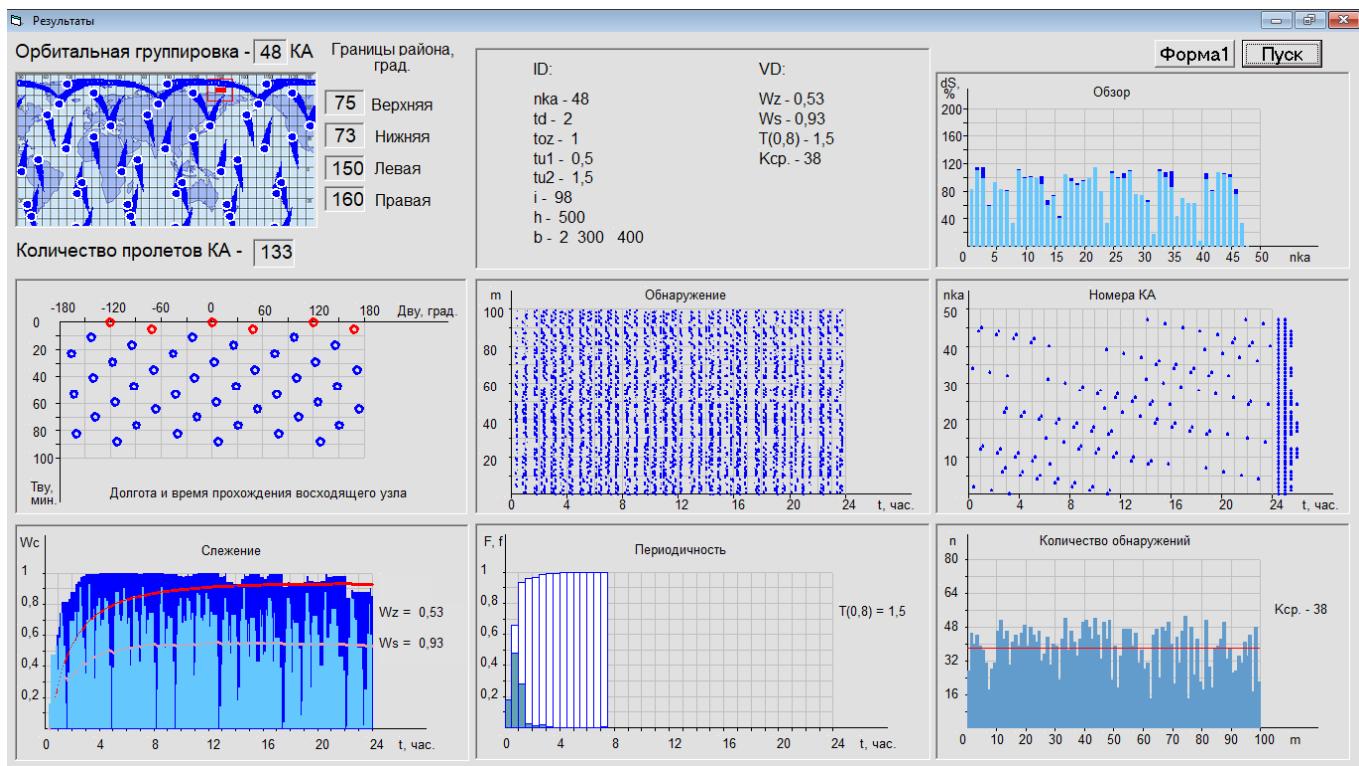


Рис. 8. Отображения получаемых результатов при прогнозировании применения многоспутниковой КС ДЗЗ в районе Восточно-Сибирского моря (вариант 2)

между плоскостями орбит первых КА в группе — 60° и углы сдвига по долготе восходящего узла каждого КА в группе — 20° . Район наблюдения — Восточно-Сибирское море. При прогнозировании на экране компьютера вместо графика пролетов КА в цифровом виде (рис. 6) отображается следующая информация:

- номер суток начала интервала оценки;
- продолжительность интервала оценки;
- допустимые времена устаревания данных;
- наклонение и высота орбиты каждого КА;
- количество полос обзора;
- отстояние ближней и дальней границ полосы обзора от подспутниковой точки.

Анализ полученных результатов показал, что в этом случае периодичность наблюдения морских судов в районе составит 1.5 ч с вероятностью не ниже 0.8. Передача информации о зафиксированной надводной обстановке на наземные комплексы и ее обработка в реальном масштабе времени позволит соответствующим органам управления сформировать необходимые рекомендации по корректуре маршрута движения судов в районе. Аналогичная информация на судовых комплексах послужит предупреждением о необходимости изменения курса судна.

Следует отметить, что полученные оценки носят предварительный характер. Для повышения достоверности получаемых оценок целесообразно продолжить исследования в данной области. При

этом следует обратить внимание на максимальное приближение исходных данных к реальной обстановке в соответствии с планами развития отечественных космических средств ДЗЗ, рациональное сочетание обзорных и детальных режимов работы БСК КА, учет ограничений в работе бортового специального комплекса КА, учет пропускной способности пунктов приема информации от КА ДЗЗ, учет особенностей планирования применения КА ДЗЗ и определение приоритетности решения задач мониторинга, формирование априорной информации об обстановке с учетом особенностей информационного взаимодействия КС ДЗЗ с другими элементами системы наблюдения за надводной обстановкой на Севморпути.

Заключение

1. Наращивание грузопотоков на маршрутах Севморпути несомненно скажется на напряженности навигационной обстановки, особенно в Западном секторе, где уже в настоящее время имеется преобладающее судоходное движение. Высокоширотные и приполюсные маршруты на Севморпути существенно удалены и недоступны для береговых систем управления движением судов, а проведение каких-либо спасательных операций усложнено климатическими и ледовыми условиями. Поэтому использование и развитие многоспутниковых систем с космическими аппаратами ДЗЗ позволит оперативно вскрывать

надводную обстановку на Севморпути и передавать данные в Штаб морских операций для принятия управленческих решений.

2. В состав такой системы целесообразно включить отечественные космические системы ДЗЗ.

3. Ограниченный состав орбитальных группировок КА существующих отечественных КС ДЗЗ позволяет решать задачи наблюдения за морскими судами в районах Севморпути с суммарным время ожидания потребителями данных о надводной обстановке от 18.5 до 62.5 ч.

4. Выполненные исследования показали, что 48 КА радиолокационного наблюдения с полосой обзора 2×100 км способны обеспечить периодичность наблюдения морских судов по маршруту Северного морского пути 1.5 ч с вероятностью не ниже 0.8.

5. Для повышения оперативности контроля за морскими судами при их отклонении от рекомендованного (заданного) маршрута необходимы создание многоспутниковых КС ДЗЗ, а также малогабаритных судовых и наземных комплексов, решающих задачи обработки поступающей от КА информации о надводной обстановке в реальном масштабе времени (с устареванием данных не более единиц-десятков минут).

Финансирование: работа выполнена в рамках исполнения государственного задания СПбНЦ РАН №075-00611-24-00 на 2025 г. и на плановый период 2026–2027 гг. за счет средств субсидии, предоставленной Минобрнауки России (соглашение о предоставлении субсидии из федерального бюджета на финансовое обеспечение выполнения государственного задания от 16.01.2025 № 075-03-2025-478).

Литература

Андреева Е. В., Исаулова К. Я. Перспективы развития СМП. 29 мая 2021 года [Электронный ресурс]. URL: <https://magazine.neftegaz.ru/articles/arktika/686530-perspektivnye-razvitiya-smp> (дата обращения: 21.05.2025).

Анцев Г. В., Гуляков В. В., Калинов М. И., Родионов В. А. Опыт и перспективы применения отечественных космических систем радиолокационного и радиоэлектронного мониторинга морской поверхности // Морские информационно-управляющие системы. 2018. № 13. С. 8–17.

Афонин А. Б. Севморпуть: безопасен там, где основан. 22 мая 2018 года [Электронный ресурс]. URL: <https://goarctic.ru/news/vozmoven-li-bezopasnyy-sevmorput> (дата обращения: 21.05.2025).

Афонин А. Б., Тезиков А. Л. Концепция развития судоходных трасс акватории северного морского пути // Вестник Государственного университета морского и речного флота имени адмирала С. О. Макарова. 2017. Т. 9, № 1. С. 81–87.

Государственная корпорация по космической деятельности «Роскосмос» Акционерное общество «Военно-промышленная корпорация «Научно-производственное объединение машиностроения». Руководство пользователя данными дистанционного зондирования Земли, получаемыми космической системой «Кондор–ФКА». 2023. [Электронный ресурс]. URL: <https://ntsomz.ru/wp-content/uploads/2023/05/2023.02.17.rukovodstvo.pol.zovatela.kondor-fka.dla.saita.pdf> (дата обращения: 21.05.2025).

Государственная корпорация по космической деятельности «Роскосмос». Акционерное общество «Корпорация «ВНИИЭМ». Руководство пользователя данными дистанционного зондирования Земли, получаемыми космической системой «Канопус–В». 2023. [Электронный ресурс]. URL: <https://www.roscosmos.ru/media/files/2024/March/rukovodstvo.k-v.dla.saita.pdf> (дата обращения: 21.05.2025).

Государственная корпорация по космической деятельности «Роскосмос». Акционерное общество «Ракетно-космический центр «Прогресс». Руководство пользователя данными дистанционного зондирования Земли, получаемыми с космической системы «Ресурс–П». 2023. [Электронный ресурс] URL: <https://www.roscosmos.ru/media/files/2024/rukovodstvo.pol.zovatela.dannimi.dzz.polucaemimi.s.ks.resurs-p.pdf> (дата обращения: 21.05.2025).

Гуляков В. В., Гуляков В. Э., Калинов М. И., Родионов В. А. Сценарно-временной метод прогнозирования результатов применения космических радиолокационных систем в интересах информационного обеспечения ВВСТ // Сборник научных трудов межотраслевой НПК «ВОКОР-2018». 2018. С. 101–106.

Исаулова К. Я. Исследование маршрутов движения крупнотоннажных судов в Восточном секторе акватории Северного морского пути // Вестник Государственного университета морского и речного флота имени адмирала С. О. Макарова. 2020. Т. 12, № 4. С. 726–733.

Калинов М. И., Родионов В. А. Прогнозирование результатов применения космической системы радиолокационного наблюдения за судоходством по маршруту Северного морского пути // Сборник тезисов 32-й Международной научно-технической конференции «Экстремальная робототехника». 2021. С. 29–30.

Логинова Н. Н. О транспортном потенциале СМП. Материалы к «Правительственному часу» в Совете Федерации 20 марта 2024 года [Электронный ресурс]. URL: https://parlib.duma.gov.ru/common/upload/document_pravchas/I_ghsf200324.pdf (дата обращения: 21.05.2025).

Севморпуть: история и перспективы. ТАСС-ДОСЬЕ. 29 февраля 2024 года [Электронный ресурс]. URL: <https://tass.ru/ekonomika/20118387> (дата обращения: 21.05.2025).