

ПРИВЛЕЧЕНИЕ ДОПОЛНИТЕЛЬНОЙ ИНФОРМАЦИИ О ЛЕДОВОМ СОСТОЯНИИ ТРАССЫ СМП (НА  
ПРИМЕРЕ ПРОЛИВА ДМИТРИЯ ЛАПТЕВА)

Научная статья

Лукина Н.Л.<sup>1,\*</sup>

<sup>1</sup> Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет, Санкт-Петербург, Российская Федерация

\* Корреспондирующий автор (lukina.nataly[at]mail.ru)

**Аннотация**

Изучение водных трасс Арктики, в том числе Северного морского пути, является важной проблемой, решаемой современными учеными. Использование трассы СМП для перевозки грузов в современных условиях актуально, однако существует серьезная преграда, усложняющая данный процесс – ледовый покров (плавающие льды), прослеживающийся по мере следования судов до пункта назначения. Одним из способов, с помощью которого можно детектировать такие льды – это дистанционное зондирование земли посредством спутников оптического диапазона и с радаром с синтезируемой апертурой. В статье анализируются карты, полученные с помощью таких спутников, на которых демонстрируются ледовые условия моря Лаптевых, а в частности пролива Дмитрия Лаптева. Анализ ледовых карт и спутниковых снимков способствует получению дополнительной информации о существующей ледовой обстановке на трассе СМП, способствуя тем самым безопасному передвижению судов и в навигационный период, и в условиях ледокольной проводки.

**Ключевые слова:** Северный морской путь, Арктика, спутники оптического диапазона, навигация судов, спутник Terra с модулем Modis, спутник Sentinel-1 с модулем C-SAR.

OBTAINING ADDITIONAL INFORMATION ON THE ICE CONDITION OF THE NSR ROUTE (ON THE  
EXAMPLE OF THE DMITRY LAPTEV STRAIT)

Research article

Lukina N.L.<sup>1,\*</sup>

<sup>1</sup> Saint Petersburg State University of Architecture and Civil Engineerin, Saint-Petersburg, Russian Federation

\* Corresponding author (lukina.nataly[at]mail.ru)

**Abstract**

Studying the Arctic water routes, including the Northern Sea Route, is an important problem solved by modern scientists. The use of the NSR route for cargo transportation is relevant in modern conditions, but there is a serious obstacle complicating this process – ice cover (floating ice) that can be traced as ships travel to their destination. One way in which such ice can be detected is by remotely sensing the earth via optical satellites and synthetic aperture radar. This article analyses maps obtained from such satellites, which show the ice conditions of the Laptev Sea, and in particular the Dmitry Laptev Strait. Analysis of ice maps and satellite images helps to obtain additional information on the existing ice conditions along the NSR route, thus contributing to safe navigation of ships both during the navigation period and during ice breaking.

**Keywords:** Northern Sea Route, Arctic, optical satellites, ship navigation, Terra satellite with Modis module, Sentinel-1 satellite with C-SAR module.

**Введение**

Несмотря на тяжелые условия Арктического побережья России современная технологическая база с каждым годом позволяет проходить все новым судам по трассе Северного морского пути (СМП). Данная трасса – это наикратчайший водный маршрут, связывающий восток и запад РФ, а также стран Европы и юго-восточной Азии [1].

Перемещение судов по СМП, как правило, затруднено в самом начале навигации и ближе к её завершению, так как в данные периоды больше возможностей откола льда от берега, и перехода в дрейфующее состояние в открытых водах. В отличие от льдов, скрепленных с берегом, такие льды опасны тем, что могут появиться внезапно и осложнить или сделать невозможным проход маломерных и не имеющих ледового класса судов. Способом, с помощью которого можно детектировать плавающие льды является дистанционное зондирование земли (ДЗЗ) посредством спутников оптического диапазона и с радаром с синтезируемой апертурой (РСА), которые охватывают своим взором полярные широты. В данной работе проведен анализ снимков подстилающей поверхности спутниками Terra и Sentinel-1.

**Методы и принципы исследования**

Трасса СМП протяженная и описать ледовые условия на всем её пути невозможно в рамках одной статьи, поэтому будет рассмотрен только один из участков – пролив Дмитрия Лаптева.

Использованы имеющиеся научные данные, необходимые для иллюстрации способа предоставления дополнительной информации о ледовых условиях, необходимых для уточнения наиболее благоприятного маршрута для судов, как ледокольного класса, так и обычных, требующих ледокольной проводки.

Наиболее опасен откол льда от берега и уход в дрейф в открытые воды. Один из способов с помощью которого можно детектировать плавающие льды – это ДЗЗ посредством спутников оптического диапазона и РСА, которые охватывают своим взором полярные широты. Рассмотрен участок трассы СМП посредством предоставления снимков подстилающей поверхности спутником Terra с модулем Modis и спутник Sentinel-1 с модулем C-SAR. С помощью этих датчиков изучаются изменения на поверхности земли по всему земному шару, создавая и расширяя коллекцию

изображений. Модуль Modis отображает ареал снега и льда, вызванный зимними штормами и холодными температурами, а также наблюдает за «зеленой волной», проходящий по континенту после завершения зимнего периода, сигнализирует о стихийных бедствиях, сильных штормах, извержениях вулканов, наводнениях, засухе и лесных пожарах. Модуль C-SAR позволяет собирать данные в любую погоду в независимости от времени суток.

В последние годы, в данной предметной области, в сфере ДЗЗ проведены многие научные исследования по вопросам спутниковой информации для неконтактного изучения поверхности Земли отраженные в работах ряда авторов: Johnny Johannessen (2021), Logepe N (2021), Wang H (2021), Chapron B. (2020), Alex Mouche (2020), Biao Zhang et al (2020), Nicolas Reul et al (2020), Shengren Fan (2020), Chen Z (2019), Byfield Yalborg (2010), O. M. Johannessen (2007) [2], [4], [8], [9].

### **Основные результаты**

Проанализируем карту, предлагаемую ААНИИ (Арктический и Антарктический научно-исследовательский институт) (рис.1), на которой продемонстрированы ледовые условия морей Лаптевых и Восточно-Сибирского, а в частности пролив Дмитрия Лаптева.

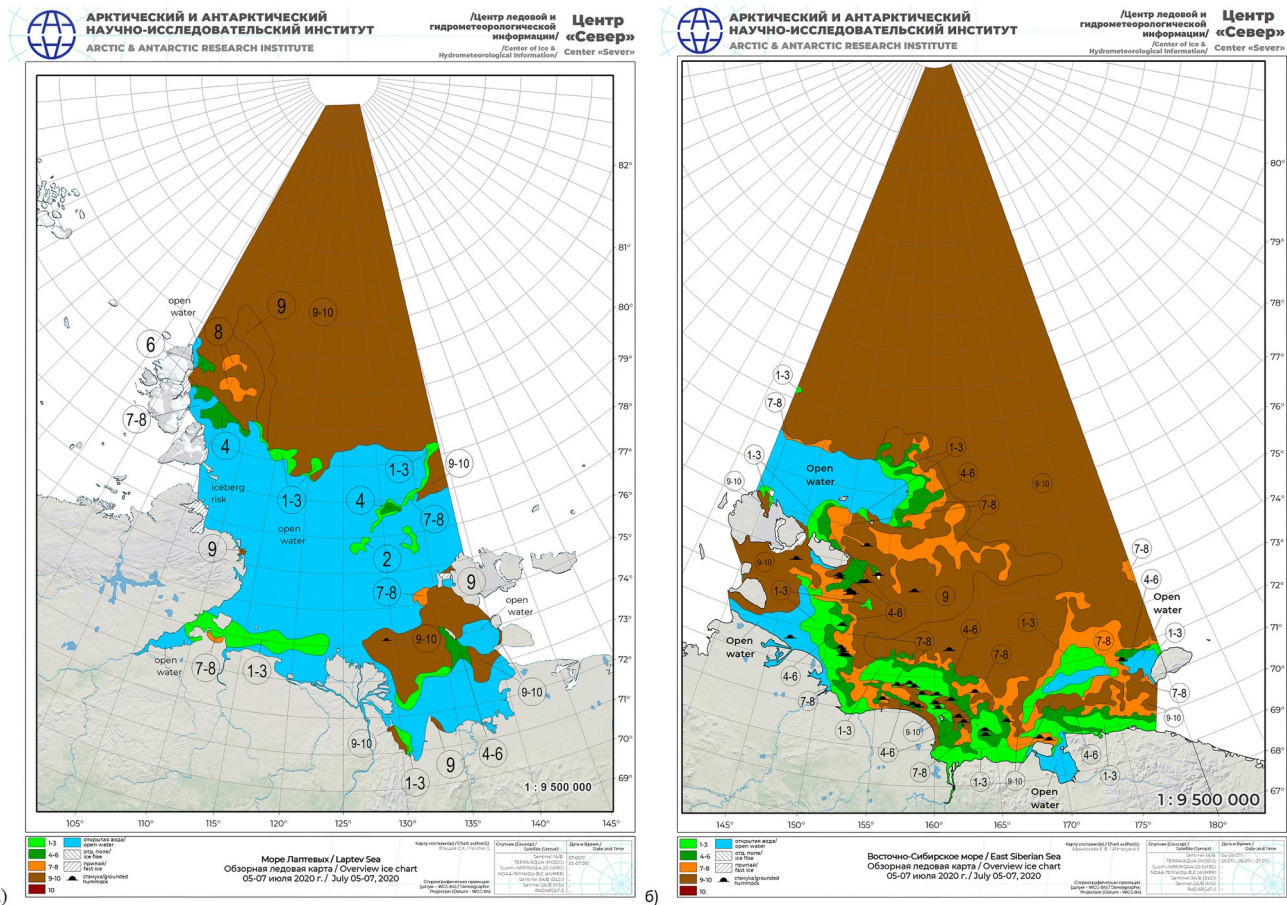


Рисунок 1 - Региональные ледовые карты Евразийской Арктики:  
 а - море Лаптевых; б - Восточно-Сибирское море

Примечание: по ист. [12]

На карте хорошо видно, что, пролив почти освободился ото льда, присутствуют льды только вдоль южного берега острова Большой Ляховский, сплочённостью 9-10 баллов, а вдоль материкового берега чистая вода. То есть проход судов, не имеющих ледового класса возможен без дополнительной проводки.

Нужно иметь в виду, что данные карты описывают общие ледовые условия морей Лаптевых и Восточно-Сибирского, и их выпуск производится один раз в месяц. Следовательно, малые неоднородности, присутствующие в проливе могут быть не отображены на карте вследствие их малого масштаба, либо ввиду метеорологических изменений. Для уточнения локальных неоднородностей желательно привлекать различные неконтактные способы исследования поверхности, например, использование данных видимого диапазона, радаров с синтезированной апертурой, метеорологические сводки, многолетние наблюдения и т.п.

Для более детального анализа зоны Арктики следует воспользоваться специальной комбинацией каналов Terra/Modis, которые позволяют проанализировать область с заснеженным и ледовым покровом (см. табл.1).

Таблица 1 - Второй комбинации канал - 3-6-7 для Terra/Modis

Номер канала	Длина волны, мкм.	Пространственное разрешение в надире, м.	Объект (предмет) исследования
3	0,459 - 0,479	500	Свойства облаков и земных объектов
6	1,628 - 1652		
7	2,105 - 2,155		

Такая комбинация каналов используется для отображения снега и льда. Снег и лед воссоздаётся в видимом диапазоне (3 канал), и совершенно не различимы в коротковолновом инфракрасном диапазоне (6 и 7 каналы). Благодаря данной комбинации незамерзшая вода и лед способны хорошо отличаться. Лед будет представлен в розовом и красном цветах потому, что единственный канал видимого диапазона – это 3 (красный) канал. Чем толще лед, тем более близким по цвету к розовому он будет [5].

Рассмотрим и обработаем спутниковые изображения видимого диапазона вблизи даты выхода оперативного обзора ледовой обстановки от ААНИИ (см. рис.2).

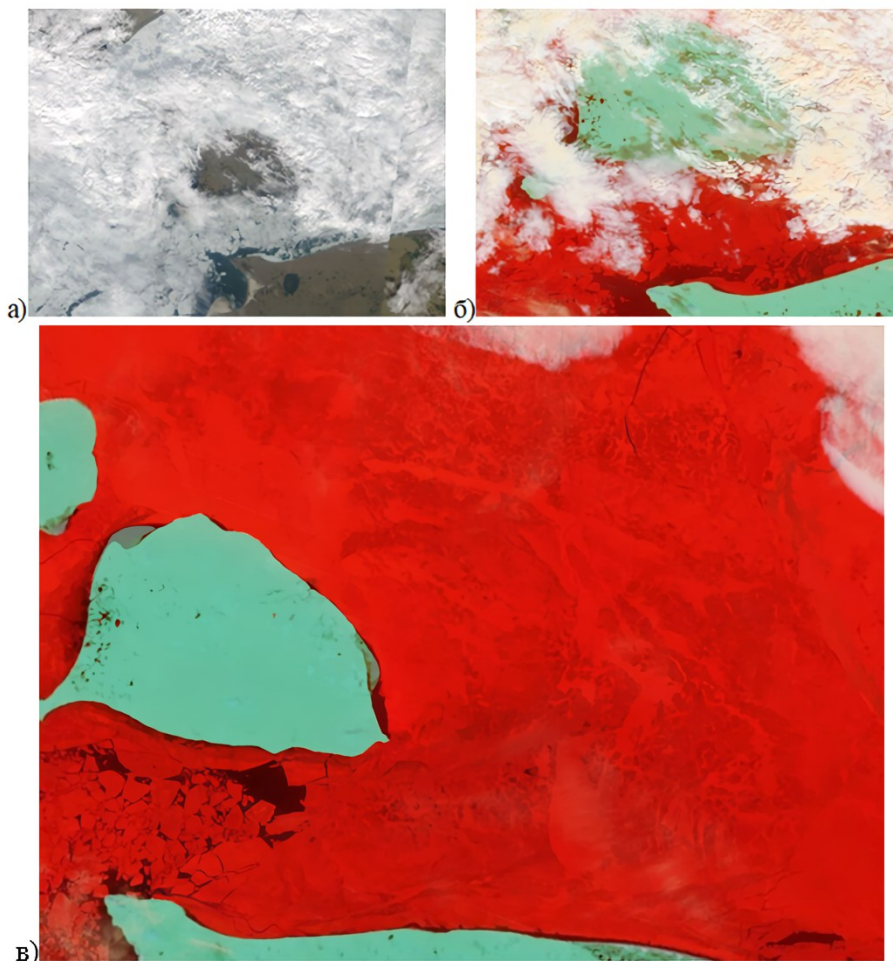


Рисунок 2 - Спутниковое (Terra/Modis) изображение пролива Дмитрия Лаптева и положения льдов: а - в естественных цветах 27.06.2020 г.; б - в комбинации каналов 3-6-7, 27.06.2020 г.; в - в комбинации каналов 3-6-7, 26.06.2020 г

*Примечание: по ист. [3].*

На изображениях в естественных цветах сложно отделить лед от облаков (рис. 2а), но воспользовавшись специальной комбинацией каналов можно увидеть, что то, что могло показаться нам льдом, на самом деле является облаками (рис. 2б и 2в). На рис. 2а лед сливается с облаками. На рисунке 2в можно проследить их различия: Белый цвет – облака, ярко-красный – снег и толстый лед, красный – тонкий лед, темно-красный – водная поверхность и лед сплоченностью менее 2 баллов, зеленый – суша. Данная цветовая гамма способствует обнаружению отдельных льдин во время незначительной облачности [5].

Полученная информация может быть использована для навигации судов имеющих повышенную проходимость. Ледокол, перемещаясь по участку трассы СМП, подбирает наиболее благоприятный курс во льдах и экономит топливо, не преодолевая мощные льды. Например, перемещаясь в пространстве чистой воды (разводья и полыньи) и по возникшему каналу в тонких льдах, ледоколу проще увеличивать его ширину, способствуя проходу судов, перемещающих груз к месту назначения [6].

Под действием южных ветров и так называемого нажимного дрейфа льда, у побережья острова Большой Ляховский увеличивается его сплоченность (рис. 3).





Рисунок 3 - Спутниковое (Terra/Modis) изображение пролива Дмитрия Лаптева и положения льдов в комбинации каналов 3-6-7, 01.07.2020 г

*Примечание: по ист. [3]*

Области большой сплоченности при нажимном дрейфе сильно усложняют условия навигации вследствие увеличения толщины льда [7].

Перемещаясь по всему проливу, дрейфующий от берега лед (отжимной дрейф) способствует появлению в прибрежной зоне разводьев (рис. 3 темно-красный цвет), которые могут вновь покрыться льдом. Эти участки становятся опасными для перемещения маломерных судов, способных быть окруженными мощными льдами со всех сторон, а попав в них, не иметь возможности без сторонней помощи выйти обратно на трассу.

При высокой облачности дополнительно можно привлечь данные радиодиапазона с Sentinel-1 C-SAR вертикальной (VV) поляризации (рис. 4). Этот прибор обеспечивает радиометрическую точность до 1 дБ при центральной частоте 5,405 ГГц [10].

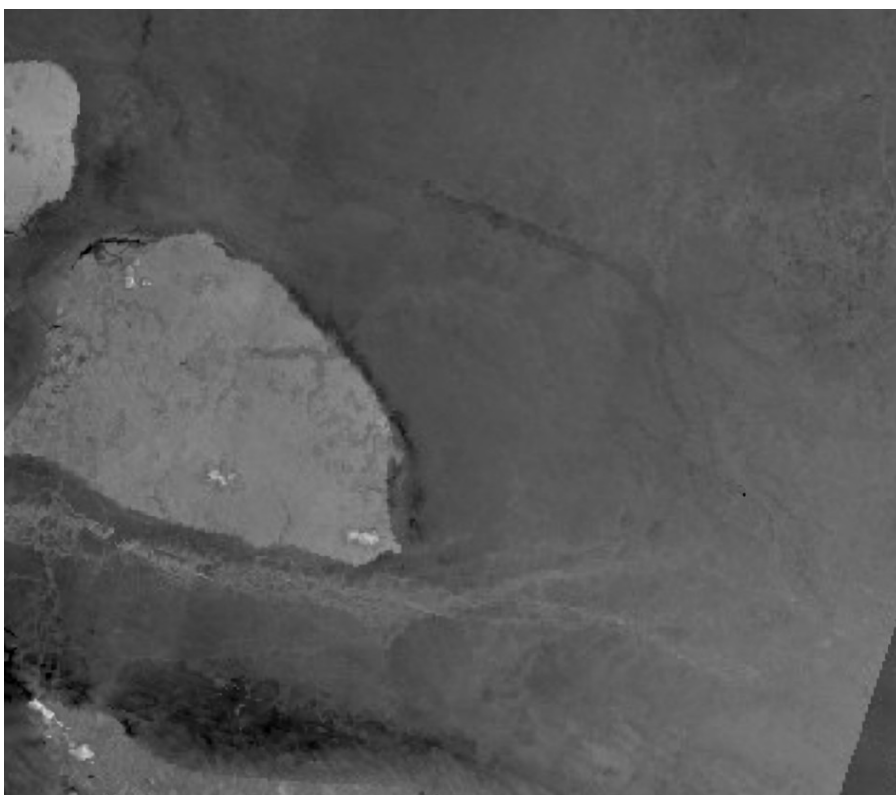


Рисунок 4 - Спутниковое изображение пролива Дмитрия Лаптева и положения льдов Sentinel-1 C-SAR VV-decibel gamma0 - orthorectified 27.06.2020 г

*Примечание: по ист. [11]*

Снимку в радиодиапазоне (рис. 4), в отличие от оптического снимка (рис. 2а), не мешает облачность, однако он требует большей обработки. Из-за специфики съемки, для работы с изображением, его необходимо подвергать ортотрансформации – с помощью математических процессов удаляется перспектива, разворот, искажения и др. дефекты. В отличие от снимка оптического диапазона в комбинации каналов 3-6-7 (рис. 2в) на рис. 4. не видны различия в толщине льда, что осложняет использование снимков радиодиапазона как единственного источника информации.

### **Заключение**

В процессе выполнения работы нами рассмотрен способ привлечения дополнительной информации о ледовом состоянии для трассы СМП, проанализированный на основе данных, приведенных для пролива Дмитрия Лаптева. Данный способ можно применять и на других участках трассы СМП.

На основе полученных данных рассмотрен пример использования данного способа в условиях, когда при южном ветре лед дрейфует к южному берегу острова Большой Ляховский, увеличивая сплочённость и освобождая на короткий период южный участок пролива для навигации судов, даже не имеющих ледового класса. При изменении направления ветра лед может отойти от южного берега острова Большой Ляховский и закрыть собой все участки чистой воды в проливе. Применение псевдоцветных композитных изображений позволяет отличать поверхности из снега и льда от облаков и обеспечивать суда, проходящие по трассе СМП, актуальными данными. При наличии облачности дополнительно можно привлекать данные с РСА.

Итог: анализ ледовых карт и спутниковых снимков позволяет получить информацию о существующей ледовой обстановке на трассе СМП, способствуя тем самым безопасному передвижению судов и в навигационный период, и в условиях ледокольной проводки.

### **Конфликт интересов**

Не указан.

### **Рецензия**

Все статьи проходят рецензирование. Но рецензент или автор статьи предпочли не публиковать рецензию к этой статье в открытом доступе. Рецензия может быть предоставлена компетентным органам по запросу.

### **Conflict of Interest**

None declared.

### **Review**

All articles are peer-reviewed. But the reviewer or the author of the article chose not to publish a review of this article in the public domain. The review can be provided to the competent authorities upon request.

### **Список литературы / References**

1. Алексеев Г.В. Влияние Атлантики на потепление и сокращение морского ледяного покрова в Арктике / Г.В. Алексеев, С.И. Кузмина, Н.И. Глок и др. // Лёд и Снег. — Москва: Российская академия наук, 2017. — с. 381-390.
2. Alpers W. A note on radar signatures of hydrometeors in the melting layer as inferred from Sentinel-1 SAR data acquired over the ocean / W. Alpers, Y. Zhao, A.A. Mouche et al. // Remote Sensing of Environment. — 2021. — 1. — p. 253.
3. EOSDIS Worldview. — URL: <https://clck.ru/35KpSj> (accessed: 30.03.2022).
4. Fan S. Transactions on Geoscience and Remote Sensing / S. Fan, B. Zhang, A.A. Mouche et al. // IEEE. — 2020. — 58(2). — p. 1450-1462.
5. Grodsky S.A. Winter surface salinity in the northeastern Gulf of Maine from five years of SMAP satellite data / S.A. Grodsky, D. Vandemark, N. Reul et al. // Journal of Marine Systems. — 2021. — 2. — p. 216-220.
6. Hwang P.A. Ocean Surface Foam and Microwave Emission: Dependence on Frequency and Incidence Angle / P.A. Hwang, N. Reul, T. Meissner et al. // IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing. — 2019. — 57(10). — p. 8223-8234.
7. Kudryavtsev V.N. On Quad-Polarized SAR Measurements of the Ocean Surface / V.N. Kudryavtsev, S. Fan, B. Zhang et al. // IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing. — 2019. — 57(11). — p. 8362-8370.
8. Лукин С.А. Некоторые результаты анализа спутниковых данных оптического диапазона о состоянии ледяного покрова для навигационного обеспечения пролива Дмитрия Лаптева / С.А. Лукин // Морские исследования и образование (MARESEDU-2018) : Труды VII Международной научно-практической конференции. Сборник, Москва, 19–22 ноября 2018 года. — Москва: ПолиПРЕСС, 2019. — с. 58-63.
9. Лукин С.А. Особенности информационного обеспечения мелководных участков пролива Дмитрия Лаптева в интересах навигации по многозональным спутниковым данным / С.А. Лукин, В.И. Сычев // ИНФОГЕО-2018. Стратегическое управление развитием территорий: Сборник трудов V международной научно-практической конференции, г. Санкт-Петербург, 29–30 ноября 2018 года. — Санкт-Петербург: Российский государственный гидрометеорологический университет, 2018. — с. 69-71.
10. Attema E. Sentinel-1 / E. Attema, P. Bargellini, P. Edwards et al. // The Radar Mission for GMES Operational Land and Sea Services. — 2007. — 131. — p. 10-17.
11. Sentinelhub Playground. — URL: <https://clck.ru/35KphN> (accessed: 23.06.2023).
12. Региональные ледовые карты Евразийской Арктики. — URL: [http://old.aari.ru/odata/\\_d0004.php](http://old.aari.ru/odata/_d0004.php) (дата обращения: 30.03.2022).

### **Список литературы на английском языке / References in English**

1. Alekseev G.V. Vlijanie Atlantiki na poteplenie i sokraschenie morskogo ledjanogo pokrova v Arktike [The influence of the Atlantic on the warming and reduction of sea ice cover in the Arctic] / G.V. Alekseev, S.I. Kuzmina, N.I. Glok et al. // Ljod i Sneg [Ice and Snow]. — Moscow: Russian Academy of Sciences, 2017. — p. 381-390. [in Russian]
2. Alpers W. A note on radar signatures of hydrometeors in the melting layer as inferred from Sentinel-1 SAR data acquired over the ocean / W. Alpers, Y. Zhao, A.A. Mouche et al. // Remote Sensing of Environment. — 2021. — 1. — p. 253.

3. EOSDIS Worldview. — URL: <https://clck.ru/35KpSj> (accessed: 30.03.2022).
4. Fan S. Transactions on Geoscience and Remote Sensing / S. Fan, B. Zhang , A.A. Mouche et al. // IEEE. — 2020. — 58(2). — p. 1450–1462.
5. Grodsky S.A. Winter surface salinity in the northeastern Gulf of Maine from five years of SMAP satellite data / S.A. Grodsky, D. Vandemark, N. Reul et al. // Journal of Marine Systems. — 2021. — 2. — p. 216–220.
6. Hwang P.A. Ocean Surface Foam and Microwave Emission: Dependence on Frequency and Incidence Angle / P.A. Hwang, N. Reul, T. Meissner et al. // IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing. — 2019. — 57(10). — p. 8223–8234.
7. Kudryavtsev V.N. On Quad-Polarized SAR Measurements of the Ocean Surface / V.N. Kudryavtsev, S. Fan, B. Zhang et al. // IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing. — 2019. — 57(11). — p. 8362–8370.
8. Lukin S.A. Nekotorye rezul'taty analiza sputnikovyyh dannyh opticheskogo diapazona o sostojanii ledjanogo pokrova dlja navigatsionnogo obespechenija proliva Dmitrija Lapteva [Some results of the analysis of optical satellite data on the state of the ice cover for navigation support of the Dmitry Laptev Strait] / S.A. Lukin // Morskie issledovanija i obrazovanie (MARESEDU-2018) [Marine Research and Education (MARESEDU-2018)] : Proceedings of the VII International Scientific and Practical Conference. Collection, Moscow, November 19–22, 2018. — Moscow: PoliPRESS, 2019. — p. 58-63. [in Russian]
9. Lukin S.A. Osobennosti informatsionnogo obespechenija melkovodnyh uchastkov proliva Dmitrija Lapteva v interesah navigatsii po mnogozonal'nym sputnikovym dannym [Features of information support of shallow-water sections of the Dmitry Laptev Strait in the interests of navigation on multi-zone satellite data] / S.A. Lukin, V.I. Sychev // INFOGEO-2018. Strategicheskoe upravlenie razvitiem territorij [INFOGEO-2018. Strategic management of territorial development]: Proceedings of the V International Scientific and Practical Conference, St. Petersburg, November 29–30, 2018. — Saint-Petersburg: Russian State Hydrometeorological University, 2018. — p. 69-71. [in Russian]
10. Attema E. Sentinel-1 / E. Attema, P. Bargellini, P. Edwards et al. // The Radar Mission for GMES Operational Land and Sea Services. — 2007. — 131. — p. 10-17.
11. Sentinelhub Playground. — URL: <https://clck.ru/35KphN> (accessed: 23.06.2023).
12. Regional'nye ledovye karty Evrazijskoj Arktiki [Regional Ice Maps of the Eurasian Arctic]. — URL: [http://old.aari.ru/odata/\\_d0004.php](http://old.aari.ru/odata/_d0004.php) (accessed: 30.03.2022). [in Russian]