ВЕСТНИК
ГОСУДАРСТВЕННОГО УНИВЕРСИТЕТА
МОРСКОГО И РЕЧНОГО ФЛОТА ИМЕНИ АДМИРАЛА С. О. МАКАРОВА

DOI: 10.21821/2309-5180-2020-12-3-576-582

MEASUREMENT OF ICE THICKNESS IN THE SEA PORT WATER AREA USING PICOR-ICE DEVICE

N. T. Nichiporenko[1], B. N. Sivachenko[1], A. D. Zerkal'[2]

[1] — Admiral Makarov State University of Maritime and Inland Shipping, St. Petersburg, Russian Federation
[2] — JSC "Financial Industrial Company "ESTRA", Mytishchi, Moscow region, Russian Federation

A difficult ice situation had developed during the winter navigation of 2017/2019 in the waters of the seaport of St. Petersburg, near the St. Petersburg oil terminal and in the Golden Gate area of the St. Petersburg sea channel. Large and small ships had been getting stuck in the channel with fast ice and icebreakers and tugboats had been having to free the ice channel. The use of radar equipment for remote measurement of the ice thickness in the channel with fast ice had helped to solve this problem.

In the winter navigation of 2017/2019 in the water area of Saint Petersburg marine port the series of telemetering of ice thicknesses was executed from the boards of sea vessels and ice-breakers. Researches of ice thickness, conducted with using «PikoR-ICE» radar device, are considered. Measurements, conducted on the channels with fast ice and at port berths, are explored. Of greatest interest are measurements of ice thickness in the area of the Golden gate and Petersburg Oil Terminal, where ballast bulkers and dry-cargo ships were often stuck. The measured thickness of pressed ice is 140-200 cm. Overcoming such ice thicknesses is only possible for the powerful icebreaker fleet. Information about measuring the ice thicknesses is studied on the courses of training of marine navigators on ice courses to the program of the Arctic Polar Code at the Admiral Makarov Training Center. Taking into account the opinion of navigators, it has been decided that such measuring device of ice thickness is needed on ships board in Polar waters and it is advisable to know the ice thicknesses along the vessel route at distances of 5-10 cbl with using the flying apparatus.

Keywords: radar, drifting ice, fast ice, device for measuring the ice thickness, flying apparatus.

For citation:
Nichiporenko, Nikolay T., Boris N. Sivachenko, and Andrei D. Zerkal'. "Measurement of ice thickness in the sea port water area using PicoR-ICE device." *Vestnik Gosudarstvennogo universiteta morskogo i rechnogo flota imeni admirala S.O. Makarova* 12.3 (2020): 576–582. DOI:10.21821/2309-5180-2020-12-3-576-582.

УДК 621.396.969.33

ИЗМЕРЕНИЕ ТОЛЩИНЫ ЛЬДА НА АКВАТОРИИ МОРСКОГО ПОРТА С ПОМОЩЬЮ ПРИБОРА «ПИКОР-ЛЕД»

Н. Т. Ничипоренко[1], Б. Н. Сиваченко[1], А. Д. Зеркаль[2]

[1] — ФГБОУ ВО «ГУМРФ имени адмирала С. О. Макарова», Санкт-Петербург, Российская Федерация
[2] — ООО «ФПК ЭСТРА», г. Мытищи, Московская обл., Российская Федерация

Рассмотрена сложившаяся сложная ледовая обстановка в зимний период 2017–2019 г. на акватории морского порта Санкт-Петербург в районе Петербургского нефтяного терминала и в районе Золотых ворот Санкт-Петербургского морского канала, когда большие и малые морские суда застревали в ледовом припайном канале и освобождать ледовый канал приходилось с использованием ледоколов и буксиров. Решить указанную задачу помогло использование специального радиолокационного оборудования по дистанционному измерению толщины льдов в припайном ледовом канале. Отмечается, что в порту Санкт-Петербург при постановке танкеров к причалам № 3 и № 4 ПНТ на Санкт-Петербургский морской канал выбрасывается (выталкивается) большое количество битого льда, снега, сморозей и др. При отрицательных температурах наружного воздуха балластные и балкеры в грузу, танкеры, следующие по морскому каналу, застревают в ледовом канале и требуется помощь мощных ледоколов и буксиров для дальнейшего движения судов, соответственно, увеличиваются затраты времени и происходит блокирование (остановка) работы морского канала.

Исследованы проведенные измерения толщин льда с борта транспортных судов и ледоколов в зимнюю навигацию 2017–2019 гг. на акватории морского порта Санкт-Петербург с использованием радарного прибора «Пикор-Лед», который позволяет вести записи отраженных сигналов для последующего просмотра профиля ледового покрова с привязкой к координатам при использовании приемоиндикатора GPS / ГЛОНАСС. Подчеркивается, что программное обеспечение позволяет свести географические координаты с вычислением толщин слоев. Исследованы измерения, которые проводились на ледовых припайных каналах и у причалов порта. Наибольший интерес показали измерения толщины льда в районе «Золотых ворот» и Петербургского нефтяного терминала, где часто застревали балластные балкеры и сухогрузы. Отмечается, что измеренная толщина напрессованного льда составила 140–200 см. С учетом мнения судоводителей принято решение о том, что на борту судна необходим ледоизмеритель «Пикор-Лед», но при этом желательно знать толщины льдов по ходу судна на расстояниях 5–10 кбт с использованием летательного аппарата.

Ключевые слова: радар, лед, припай, измерение толщины льда, БПЛА.

Для цитирования:
Ничипоренко Н. Т. Измерение толщины льда на акватории морского порта с помощью прибора «Пикор-Лед» / Н. Т. Ничипоренко, Б. Н. Сиваченко, А. Д. Зеркаль // Вестник Государственного университета морского и речного флота имени адмирала С. О. Макарова. — 2020. — Т. 12. — № 3. — С. 576–582. DOI: 10.21821/2309-5180-2020-12-3-576-582.

Введение (Introduction)

В зимний период с 2017–2019 гг. на акватории морского порта Санкт-Петербург в районе Петербургского нефтяного терминала (ПНТ) и в районе Золотых ворот Санкт-Петербургского морского канала сложилась сложная ледовая обстановка. Большие и малые морские суда застревали в ледовом припайном канале и освобождать ледовый канал приходилось с использованием ледоколов и буксиров. Решить указанную задачу помогло использование специального радиолокационного оборудования по дистанционному измерению толщины льдов в припайном ледовом канале. В порту Санкт-Петербург при постановке танкеров к причалам № 3 и № 4 ПНТ на Санкт-Петербургский морской канал выбрасывается (выталкивается) большое количество битого льда, снега, сморозей и др. При отрицательных значениях температуры наружного воздуха балластные и балкеры в грузу, танкеры, следующие по морскому каналу, застревают в ледовом канале. Требуется помощь мощных ледоколов и буксиров для дальнейшего движения судов. При этом увеличиваются затраты времени и происходит блокирование (остановка) работы морского канала.

Измерители толщины льда, как правило, используют подповерхностную радиолокацию, излучают сверхширокополосные сигналы малой и средней мощности, обычно в пределах единиц Вт [1]–[3]. Суть метода ППР состоит в излучении электромагнитных импульсов в изучаемую среду и регистрации сигналов, отраженных от границ физически разнородных слоев и локальных неоднородностей [4], [5]. Анализ материалов научно-практических конференций «Георадар–2004» и в последующие 2017–2020 гг. подтверждает бурное развитие и применение методов и аппаратуры георадиолокации в различных отраслях народного хозяйства [6]:

– в строительстве;

– в геологоразведочных работах;

– для зондирования горных пород, полярных ледников и др.

Исследования толщины льдов в порту Санкт-Петербург проводились с использованием радарного прибора «Пикор-Лед». Измерения проводились на ледовых припайных каналах и у причалов порта. Наибольший интерес показали измерения толщины льда в районе «Золотых ворот» и Петербургского нефтяного терминала, где часто застревали балластные балкеры и танкеры. Предполагаемая толщина напрессованного льда могла составлять более метра.

Методы и материалы (Methods and Materials)

В указанный период с борта ряда проходящих судов, ледоколов, буксиров были выполнены серии дистанционных измерений толщин льдов. Часть измерений проводилась с использованием носового центрального клюза с опусканием измерительного прибора на высоту 50–80 см над поверхностью льда, а также с бортов транспортных судов и ледоколов.

Авторами настоящего исследования были выполнены экспериментальные измерения толщины льдов при следовании по морскому каналу. Была выполнена проверка возможности использования для контроля толщины льда георадаров различных производителей. Рассматривались РИТЛ «Аквамарин» [7] и георадары ЛОГИС серии «Око» [8] и др. [9], [10]. Приборы сравнивались по критериям параметров точности, диапазону измеряемых величин, масса-габаритным характеристикам, а также доступности. В результате сравнения был выбран контрольно-индикационный прибор «Пикор-Лед»(ледомер, георадар), который серийно производится компанией «ФПК “ЭСТРА”» [11].

Радиоледомер «Пикор-Лед» является геофизическим прибором, предназначенным для подповерхностного зондирования и мониторинга непрозрачных сред: льда, снега, дорожного покрытия, грунтов и т. д. На основании полученных данных прибор позволил вычислять толщины слоев зондируемых сред, обнаруживать и вычислять расстояния до неоднородностей в средах [3]. Знание толщины льдов и снега необходимо многим хозяйствующим субъектам: рыбакам, полярникам, ученым и др. Прибор позволяет вести записи отраженных сигналов для последующего просмотра профиля ледового покрова с привязкой к координатам при использовании приемоиндикатора GPS / ГЛОНАСС. Программное обеспечение дает возможность свести географические координаты с вычислением толщин слоев. Прибор имеет мобильное исполнение, позволяющее проводить измерения в движении с высоты 50 … 80 см (рис. 1 и 2). В качестве проверки правильности работы прибора можно использовать ледобур и мерную линейку.

Рис. 1. Внешний вид измерителя толщины льда «Пикор-Лед»

Рис. 2. Переносной вариант

В течение двух навигаций 2017–2019 гг. проводились инструментальные измерения толщины льдов в ледовом припайном канале на его оси и по бровкам ледового канала.

Результаты (Resalts)

С помощью измерителя толщины льда «Пикор-Лед», работающего в диапазоне радиочастот около 1,0 ГГц, удалось выполнить измерения толщины льда на ледоколах и транспортных судах во время их плавания в указанных районах порта. Толщина льда по бровкам ледового канала в отдельных местах в районе ПНТ и «Золотых ворот» составляла 140–200 см при известной толщине припайного льда в восточной части Финского залива 20–30 см.

Обсуждение (Discussions)

Информация об измерении толщин льдов была тщательно изучена на курсах повышения квалификации судоводительского состава и ледовых курсах по программе «Полярного кодекса ГУМРФ им. адм. С. О. Макарова». Мнения судоводителей разделились следующим образом:

– измеритель толщины льда должен устанавливаться на носу, на планшире судна. При этом такой измеритель толщины льда необходим на ледоколах и транспортных судах, работающих в ледовых условиях;

– необходимы также летательный аппарат и канал связи в реальном масштабе времени для передачи данных о толщине льдов на дистанциях 5–10 кбт от борта судна.

Использование радиоледомера «Пикор-Лед» на судне можно реализовать практически без изменения типовой комплектации прибора. Антенный модуль можно опустить на требуемую высоту подвеса, порядка 1–2 м (достаточную для выполнения измерений и безопасную при столкновениях с торосами). При этом корпус антенного модуля выполнен на основе ударопрочного герметичного кейса IP67. Работа программы и питание прибора осуществляются на стандартном ноутбуке на базе ОС Windows, соединяемом с антенным модулем с помощью длинного USB-кабеля. Информация с экрана ноутбука может передаваться на ходовой мостик (или другому пользователю) в режиме удаленного рабочего стола по беспроводному радиоканалу.

Использование радиоледомера «Пикор-Лед», технические характеристики которого приведены в таблице, на летательном аппарате типа квадрокоптера или беспилотном вертолете без существенных доработок возможно только при дальности действия беспроводного радиоканала связи и прямой видимости оператора БПЛА (беспилотного летательного аппарата). При этом необходимо либо вести полет БПЛА на высоте 1–2 м, что опасно из-за возможных столкновений с поверхностью льда, торосами, либо вести полет на безопасной высоте и опускаться на высоту 1–2 м для измерений льда в точке. Выполнение работ на большей дальности (например, полет по заданному маршруту) возможно только в режиме записи данных измерений с их просмотром по возвращении.

Технические параметры ледомера «Пикор-Лед»

Технические параметры	Антенный модуль «Пикор-2»	Антенный модуль «Пикор-3»
Измеряемая толщина (глубина зондирования): – льда – снега	 5 … 200 см 5 … 300 см	 5 … 300 см 5 … 450 см
Центральная частота	1700 МГц	1200 МГц
Точность измерений	1–2 см	1–2 см
Разрешающая способность (минимальный размер объекта)	3 см	5 см
Число измерений в секунду (в зависимости от настроек)	65	65
Диаметр площади обследования	50 см	50 см
Совместимость с операционной системой ПК	Windows 7, 8, 10 Android (через удаленный рабочий стол)	Windows 7, 8, 10 Android (через удаленный рабочий стол)
Совместимость формата данных с другими Программами	RadExplorer, GeoScan через MatLab конвертер	RadExplorer, GeoScan через MatLab конвертер

Еще одним вариантом использования прибора «Пикор-Лед» является проведение ледовой разведки акватории порта и предполагаемых маршрутов судов. Данная функция возлагается на капитана конкретного ледокола или на отдельную службу. Такая ледовая разведка может выполняться на базе судна на воздушной подушке либо плавающего снегоболотохода. Для обследования труднопроходимых наслоений льда, сморозей, торосов может дополнительно использоваться недорогой мультикоптер с полезной нагрузкой в виде радиоледомера.

Далее представлены примеры результатов экспериментальных измерений льда.

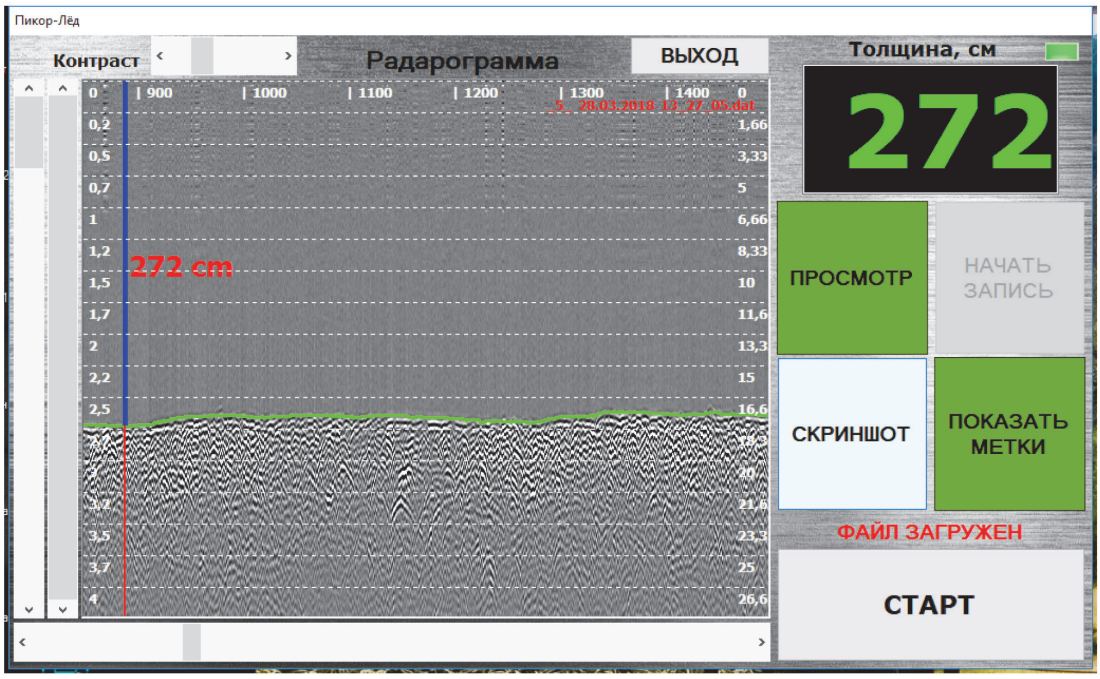

Рис. 3. Радарограмма измерения толщины льда на бровках ледового канала в районе Петербургского нефтяного терминала и Золотых ворот

Как видно из рис. 3 бровка ледового припайного канала набита мелкобитым льдом до толщины 2,7 м, что приводит к застреванию в ледовом канале балластных судов.

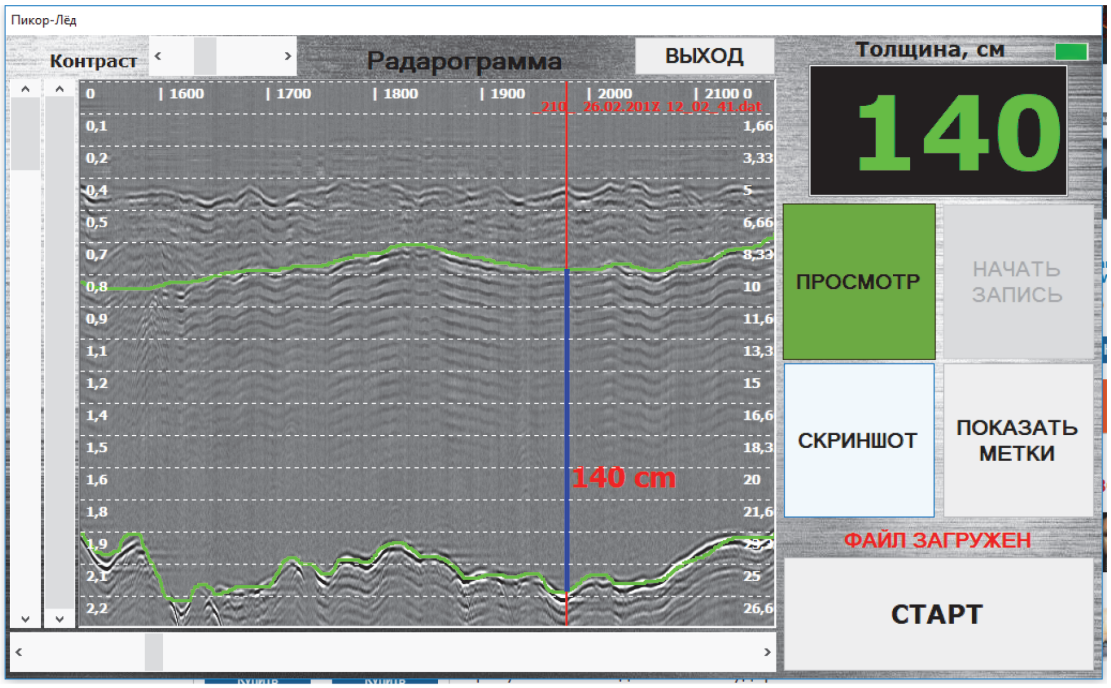

Рис. 4. Радарограмма измерения толщины льда в района Петербургского нефтяного терминала

Из радарограммы (рис. 4) видно, что толщина льда на оси ледового канала составляет примерно 140 см.

Заключение (Conclusion)

При измерении толщин льдов при следовании по оси канала в районе ПНТ и «Золотых ворот» максимальные значения достигали 1,4 м, а по бровкам канала до 2,7 м. Преодолеть такие толщины льдов только под силу мощному ледокольному флоту. Из этого следует очень важный вывод: после постановки с помощью портового ледокола и буксиров балластных танкеров на причалы ПНТ-3 и ПНТ-4 необходимо освежить ледовый припайный канал с помощью одного или нескольких проходов мощного ледокола типа «Ермак», «Мурманск», «Владивосток», которые обеспечивают ледовые операции в зимнюю навигацию в нашем порту.

Благодарности (Acknowledgements)

Особая благодарность курсанту 6-го курса факультета навигации и связи ГУМРФ имени адмирала С. О. Макарова Юлии Ивановне Венковой за сбор, обработку и подготовку материалов для настоящей статьи.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Справочник по радиолокации: в 2 кн. / Под ред. М. И. Сколника; пер. с англ. под общ. ред. д-ра техн. наук, проф. В. С. Вербы. — М.: Техносфера, 2015. — Кн. 2. — 1351 с.

2. *Афанасьев В. В.* Судовые радиолокационные системы / В. В. Афанасьев [и др.]. — СПб.: Веленара, 2009. — 365 с.

3. *Abreu R.D.* RADAR Sea Ice Signatures: An Operational Primer / R.D. Abreu // Proceedings of a workshop on mapping and archiving of sea ice data – the expanding role of radar. — Ottawa, Canada, 2000. — WMO/TD № 1027. — Pp. 85–94.

4. Пат. 2526222 Российская Федерация, МПК G01B 15/02. Способ радиолокационного определения толщины льда / В. Б. Белянский [и др.]; заяв. и патентообл. ОАО «Конструкторское бюро «Аметист». — № 2013105669/28; заявл. 12.02.2013; опубл. 20.08.2014, Бюл. № 23. — 9 с.

5. Георадары ЛОГИС, ОКО [Электронный ресурс]. — Режим доступа: www.rusgeocom.ru (дата обращения: 11.12.19).

6. *Семейкин Н. П.* Георадиолокационные исследования пресных речных льдов. Измерение толщины льда // Доклад на междунар. научно-практ. конф. по георадиолокации «Георадар 2004» [Электронный ресурс] / Н. П. Семейкин [и др.]. — Режим доступа: http://www.geotech.ru/about/stati/georadiolokacionnye_issledovaniya_presnyh_rechnyh_ldov_izmerenie_tolwiny_lda/ (дата обращения: 20.11.19).

7. Компания «ЭЛЕМЕНТАВИА» [Электронный ресурс]. — Режим доступа: www.elementavia.ru (дата обращения: 03.11.19).

8. Пергам инжиниринг. Георадары RD-1100; RD-1500 [Электронный ресурс]. — Режим доступа: www.pergam.ru (дата обращения 10.11.19).

9. *Comfort G.* Ice Thickness Prediction: a Comparison of Various Practical Approaches / G. Comfort, R. Abdelnour // Proceedings 17th CRIPE Workshop on River Ice. — 2013. — Pp. 329–342.

10. *Yu Y.* Comparison of thin ice thickness distributions derived from RADARSAT Geophysical Processor System and advanced very high resolution radiometer data sets / Y. Yu, R.W. Lindsay // Journal of Geophysical Research: Oceans. — 2003. — Vol. 108. — Is. C12. DOI: 10.1029/2002JC001319.

11. Технические параметры георадара «Пикор» [Электронный ресурс]. — Режим доступа: http://ledomer.ru (дата обращения: 02.03.18).

REFERENCES

1. Skolnika, M. I., ed. *Spravochnik po radiolokatsii. V 2 kn.* M.: Tekhnosfera, 2015. Book 2.

2. Afanas'ev, V. V., A. N. Marinich, A.V. Pripotnyuk, and Yu. M. Ustinov. *Sudovye radiolokatsionnye sistemy.* SPb.: Velenara, 2009.

3. Abreu, R. D. "RADAR Sea Ice Signatures: An Operational Primer." *Proceedings of a workshop on mapping and archiving of sea ice data – the expanding role of radar.* Ottawa, Canada, 2000. WMO/TD № 1027. 85–94.

4. Belyanskii, V. B., V. S. Speranskii, O.E. Tkachenko, and L. B. Khanin. RU 2 526 222 C1, IPC G01B 15/02. Sposob radiolokatsionnogo opredeleniya tolshchiny l'da. Russian Federation, assignee. Publ. 20 Aug. 2014.

5. Georadary LOGIS, OKO. Web. 11 Dec. 2019 <www.rusgeocom.ru>.

6. Semeikin, N.P. "Georadiolokatsionnye issledovaniya presnykh rechnykh l'dov. Izmerenie tolshchiny l'da." *Doklad na mezhd. nauchno-prakt. konf. po georadiolokatsii «Georadar 2004»*. Web. 20 Nov. 2019 <http://www.geotech.ru/about/stati/georadiolokacionnye_issledovaniya_presnyh_rechnyh _ldov_izmerenie_tolwiny_lda/>.

7. ELEMENTAVIA Company. Web. 3 Nov. 2019 <https://elementavia.com/>.

8. Pergam — authorized distributor. Web. 10 Nov. 2019 <https://www.pergam.ru/en/>.

9. Comfort, George, and Razek Abdelnour. "Ice Thickness Prediction: A Comparison of Various Practical Approaches." *Proceedings 17th CRIPE Workshop on River Ice*. 2013. 329–342.

10. Yu, Y., and R.W. Lindsay. "Comparison of thin ice thickness distributions derived from RADARSAT Geophysical Processor System and advanced very high resolution radiometer data sets." *Journal of Geophysical Research: Oceans* 108.C12 (2003). DOI: 10.1029/2002JC001319.

11. PicoR GPR. Web. 2 Mar. 2018 <http://ledomer.ru/en/>.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Ничипоренко Николай Тимофеевич —
доктор технических наук, профессор
ФГБОУ ВО «ГУМРФ имени адмирала С. О. Макарова»
198035, Российская Федерация, Санкт-Петербург, ул. Двинская, 5/7
e-mail: *fkt_pt@gumrf.ru*

Сиваченко Борис Николаевич —
кандидат технических наук, доцент
ФГБОУ ВО «ГУМРФ имени адмирала С. О. Макарова»
198035, Российская Федерация, Санкт-Петербург, ул. Двинская, 5/7
e-mail: *sbn1@mail.ru*, *fkt_pt@gumrf.ru*

Зеркаль Андрей Дмитриевич —
руководитель проекта по разработке ледомера
ООО «ФПК ЭСТРА»
41014, Российская Федерация, Московская обл., г. Мытищи, ул. Веры Волошиной, 16/19, оф. 228
e-mail: *a@ledomer.ru*

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Nichiporenko, Nikolay T. —
Dr. of Technical Sciences, professor
Admiral Makarov State University of Maritime and Inland Shipping
5/7 Dvinskaya Str., St. Petersburg, 198035, Russian Federation
e-mail: *fkt_pt@gumrf.ru*

Sivachenko, Boris N. —
PhD, associate professor
Admiral Makarov State University of Maritime and Inland Shipping
5/7 Dvinskaya Str., St. Petersburg 198035, Russian Federation
e-mail: *sbn1@mail.ru*, *fkt_pt@gumrf.ru*

Zerkal', Andrei D. —
Ice thickness meter project manager
JSC "Financial Industrial Company "ESTRA"
16/19 Very Voloshinoi Str., Moscow region, Mytishchi, 41014, Russian Federation
e-mail: *a@ledomer.ru*

Статья поступила в редакцию 4 мая 2020 г.
Received: May 4, 2020.