

# RUSSIAN ARCTIC

[russian-arctic.info](http://russian-arctic.info)

#4(11)/2020



## IT FOR THE ARCTIC

### RESEARCH

VISUALIZING AND PROCESSING  
SIDE-SCAN SONAR IMAGES:  
A CASE OF THE LOWER REACHES  
OF THE ENISEI RIVER

### INNOVATIONS

PROSPECTS FOR USING NEURAL  
NETWORKS TO SOLVE THE PROBLEMS  
OF IUU-FISHING AND PIRACY IN THE  
ARCTIC ZONE OF RUSSIA

16+

# RUSSIAN ARCTIC № 4(11) 2020

## SCIENTIFIC PEER-REVIEWED JOURNAL

CHIEF EDITOR: KIRA ZMIEVA

### EDITORIAL BOARD

Nikolay Koldunov, PhD (Bremen, Germany)  
 Hajime YAMAGUCHI, professor (Tokyo, Japan)  
 YOUNKYOO KIM, professor (Seoul, Korea)  
 Kokin Sergey, PhD (Harbin, China)  
 Mr. Rhee Han Woo, candidate of Doctor of IR (Seoul, Korea)  
 Thomas Krumpfen, PhD in geoscience (Bremen, Germany)  
 Belonenko Tatiana, Doctor of Sciences (St. Petersburg, Russia)  
 Bryantsev Alexander, Doctor of Sciences (Moscow, Russia)  
 Chashchin Valery, Doctor of Sciences, Prof (St. Petersburg, Russia)  
 Chubarova Natalia, Doctor of Sciences (Moscow, Russia)  
 Degteva Galina, Doctor of Sciences (Arkhangelsk, Russia)  
 Dmitriev Vasily, Doctor of Sciences (St. Petersburg, Russia)  
 Filippov Boris, Doctor of Sciences (Arkhangelsk, Russia)  
 Fridman Krill Doctor of Sciences (St. Petersburg, Russia)  
 Gavrilov Vladimir, Doctor of Sciences (Moscow, Russia)  
 Gorbanev Sergey, Doctor of Sciences (St. Petersburg, Russia)  
 Hrennikov Aleksander., Doctor of Sciences (Moscow, Russia)  
 Ivanov Vladimir, Doctor of sciences (Moscow, Russia)  
 Kapitanov Aleksey, Doctor of Sciences (Moscow, Russia)  
 Kovchin Igor, Doctor of Sciences (Moscow, Russia)  
 Kydrushova Elena, Doctor of Sciences, Prof (Arkhangelsk, Russia)  
 Lebedev Sergey, Doctor of Sciences (Moscow, Russia)  
 Levykin Sergey, Doctor of Sciences, Prof (Yekaterinburg, Russia)  
 Malinin Valery, Doctor of Sciences (St. Petersburg, Russia)  
 Mingazova Elmira, Doctor Sciences, professor (Kazan, Russian)  
 Mironov Evgeny, Doctor of Sciences (St. Petersburg, Russia)

Mitina Elena, Doctor of Sciences (Murmansk, Russia)  
 Nikuschenko Dmitry, Doctor of Sciences (St. Petersburg, Russia)  
 Prohorchuk Egor, Doctor of Sciences (Moscow, Russia)  
 Repina Irina, Doctor of Sciences, Professor (Moscow, Russia)  
 Rusin Igor, Doctor of Sciences (St. Petersburg, Russia)  
 Semenov Vladimir, Doctor of Sciences (Moscow, Russia)  
 Serebryannikov S., Doctor of Technical Sciences (Moscow, Russia)  
 Schwarzburg Leonid, Doctor of Sciences (Moscow, Russia)  
 Slobodchikov Vladimir, Doctor of Sciences (Moscow, Russia)  
 Stepanova Vera, Doctor of Sciences (Arkhangelsk, Russia)  
 Talykova Lyudmila, Doctor of Sciences (Kirovsk, Russia)  
 Tokarevich Nikolay, Doctor of Sciences (St. Petersburg)  
 Turichin Gleb, Doctor of Sciences (St. Petersburg, Russia)  
 Varivodov Vladimir, Doctor of Sciences (Moscow, Russia)  
 Zvorykina Julia, Doctor of Sciences (Moscow, Russia)  
 Bayeva Julia, PhD (Moscow, Russia)  
 Chebrov Daniila, PhD (Petropavlovsk Kamchatsky, Russia)  
 Ivanov Boris, PhD (St. Petersburg, Russia)  
 Karyakin Yuri, PhD (Moscow, Russia)  
 Khvostova Marina, PhD (Moscow, Russia)  
 Klimanov Igor, PhD (Moscow, Russia)  
 Nikanov Alexander, PhD (St. Petersburg, Russia)  
 Pisarev Sergey, PhD (St. Petersburg, Russia)  
 Saltykova Olga, PhD (Cheboksary, Russia)  
 Smolyanitsky Vasily, St. Petersburg, Russia)  
 Tretyakov Viktor, PhD (St. Petersburg, Russia)  
 Yulin Alexander, PhD (St. Petersburg, Russia)

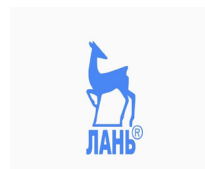
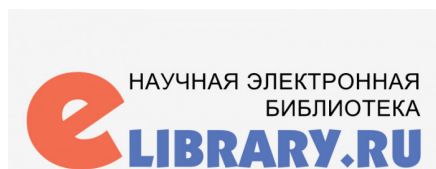
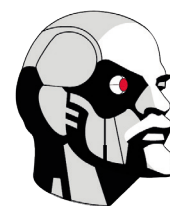
### EDITORIAL STAFF

Science editor: Alexeeva Tatiana (AARI)  
 CEO: Makova Elena  
 Executive secretary: Marina Belikova  
 Pr: Olga Chahovskaya  
 MANUSCRIPT SUBMISSION: info@arctic-centre.com  
 ADDRESS: 101000, Moscow, Armenian lane, 9/1/1 bld., room 203:  
 MASS MEDIA registration: ЭЛ №ФЦ77-72859  
 FOUNDER AND PUBLISHER: LLC Center for Information and  
 Legal Support for the Development of the Arctic  
<http://arctic-centre.com>

CEO: Yu.V. Belikova  
 ISSN (online): 2658-4255

### THE EDITORIAL THANKS

reviewers and editorial board members  
 for help in preparing this issue.



- 4 Editor's letter
- 5 RESEARCH OF METHODS AND TECHNICAL MEANS OF OBTAINING  
INFORMATION ABOUT WIND PARAMETERS IN SEA CONDITIONS  
M.I. Kovchin
- 16 VISUALIZING AND PROCESSING SIDE-SCAN SONAR IMAGES: A CASE OF  
THE LOWER REACHES OF THE ENISEI RIVER  
I.A. Babiy, O.A. Galimzyanov, A.E. Goncharov
- 24 PROSPECTS FOR USING NEURAL NETWORKS TO SOLVE THE PROBLEMS  
OF IUU-FISHING AND PIRACY IN THE ARCTIC ZONE OF RUSSIA  
N. Kostromin, A. Sivova
- 31 THE PYHUM LIBRARY  
P.N. Verevkin, A.A. Kuznetsov, A.E. Goncharov
- 39 COMPARISON OF INDEPENDENT NAVIGATION OF LNG CARRIERS OF  
TYPE YAMALMAX AND THEIR TRANSITION WITH AN ICEBREAKER ESCORT  
Yu.V. Sokolova, O.S. Devyataev, E.V. Afanasyeva, Yu.M. Titova



## УВАЖАЕМЫЕ КОЛЛЕГИ!

Совершенствование информационно-коммуникационной инфраструктуры на территории Арктической зоны утверждено Президентом России как одно из направлений государственной политики на период до 2035 года и стало одной из ключевых тем прошедшего в декабре X Международного форума «Арктика: настоящее и будущее» в Санкт-Петербурге.

Соответствующая стратегия развития АЗРФ была разработана Минвостокразвития и утверждена Президентом страны 26 октября 2020 года. Этот документ, а также государственная программа «Социально-экономическое развитие Арктической зоны Российской Федерации» на 2021-2024 годы станут основой долгожданной модернизации региона на ближайшие годы.

Низкий уровень развития информационно-коммуникационной инфраструктуры на территории АЗРФ, в особенности в ее восточной части (во многих отдаленных населенных пунктах до сих пор отсутствует связь, интернет, радиовещание), диктует необходимость разработки и внедрения программы цифровизации региона. Наличие устойчивой связи не только сделает более комфортным проживание в регионе, но и даст возможность эффективно развивать ключевые для Арктики проекты, такие как: цифровизация портовой инфраструктуры, создание цифровых навигационных сервисов для флота, обеспечение безопасности населения и промышленных предприятий, развитие телемедицины, систем искусственного интеллекта и систем мониторинга, оказание электронных услуг, онлайн-образование и многое другое.

Об инновационных информационных технологиях для нужд Арктики читайте в 11 выпуске научного журнала «Российская Арктика».

Приятного прочтения!

УДК 551.508.54

DOI: 10.24411/2658-4255-2020-12511

## ИССЛЕДОВАНИЕ МЕТОДОВ И ТЕХНИЧЕСКИХ СРЕДСТВ ПОЛУЧЕНИЯ ИНФОРМАЦИИ О ПАРАМЕТРАХ ВЕТРА В МОРСКИХ УСЛОВИЯХ

М.И. Ковчин

АО "НИИ телевидения", г. Санкт-Петербург, Россия

✉ akvastandard@mail.ru

В статье даны основные понятия о ветре и его характеристиках. Описаны методы и основные технические средства по измерению параметров ветра, в том числе и в морских условиях. Сделаны выводы по перспективным техническим средствам для эксплуатации в морских условиях.

**Ключевые слова:** метеорология, измерение ветра, метеорологические приборы, станции, комплексы

## RESEARCH OF METHODS AND TECHNICAL MEANS OF OBTAINING INFORMATION ABOUT WIND PARAMETERS IN SEA CONDITIONS

Kovchin Mikhail

The Television Scientific Research Institute, Saint Petersburg, Russia

The article presents the basic concepts of wind and its characteristics. The methods and the main technical tools for the measurement of wind parameters, including sea conditions were described. Conclusions are drawn on new and promising sensors for use in marine environments.

**Keywords:** meteorology, wind measurement, meteorological instruments, stations, complexes

Статья получена: 27.08.2020

Принята к публикации: 06.11.2020

Опубликована онлайн: 30.11.2020

### 1.1. Измерение скорости и направление ветра на стационарных объектах

Понятие ветра можно разделить на географическое и физическое. Географическая величина ветра - это горизонтальное движение воздуха относительно земной поверхности. Ветер как физическая величина характеризуется скоростью (силой)  $V_M = \sqrt{V_1^2 + V_2^2}$  и на-

правлением  $\alpha = \arctg \frac{V_1}{V_2}$ . Измерение физической величины - это вектор, осредненный за некоторый интервал времени. Длительность интервала такова, чтобы сформировать интересующий нас параметр. Направление обозначается названием той части горизонта, откуда дует ветер, выражается в градусах или румбах, скорость  $v$  — в м/с, км/ч, уз, а сила — в баллах (по шкале силы ветра). В зави-

симости от изменения скорости (силы) и направления различают ветер: постоянный, меняющийся, ровный, порывистый, шквалистый.

Постоянный ветер - это ветер, направление которого за время наблюдений (2—10 мин) удерживалось в пределах 1 румба.

Меняющийся ветер - это ветер, направление которого за это время выходило за указанный предел.

Ровный ветер - это ветер, скорость которого за время наблюдений не отклонялась от среднего более чем на 2—4 м/с.

Порывистый ветер - это ветер, скорость которого за время наблюдений претерпевала колебания более 4 м/с.

Шквалистый ветер - это резко выраженный порывистый ветер с частыми и резкими колебаниями скорости (более

20 м/с) и направления (более 1 румба) [1].

За скорость ветра понимают давление потока воздуха, способное отодвинуть пластину на некоторый угол  $\varphi$ . Скорость ветра измеряют в метрах в секунду, в узлах, в километрах в час. За направление ветра принято принимать некоторый угол  $b$ , показанный на рис.1 (а), который отсчитывается от географического севера до угла поворота флюгера. Угол отсчитывается в градусах.

Наибольший вклад по разработке методик измерения, обработке измеренных данных о параметрах ветра внесли следующие ученые: Айзенштат Е.А., Попов С.Г., Сабинин Г.Х., Patterson F.R., Schrenk, Персин С.М.

Основные положения по измерению скорости и направления ветра, сформулированные учеными, касались применительно к стационарным объектам, а измерение параметров ветра в корабельных условиях не рассматривалось в должном объеме. Поэтому автор в данной статье рассматривает измерение параметров ветра в морских условиях, современными техническими средствами отечественного и импортного производства.

## 1.2. Методы и технические средства измерения скорости и направления ветра.

### 1.2.1. Методы измерения скорости и направления ветра

При описании методов измерения скорости и направления ветра автору представляется необходимым произве-

сти классификацию методов измерения. Первым уровнем классификации является характер получаемой информации об осреднении ветра. Измерение в точке или получение профиля распределения ветра.

К аэродинамическим средствам относятся технические средства, где измерение параметров ветра происходит при непосредственном контакте между воздушным потоком и первичным преобразователем устройства, например, через флюгер или крыльчатку. Такие средства используются в ВМФ, и с их помощью производятся измерения скорости и направления ветра, это: анеморумбометр М63, анеморумбометр М-47, анеморумбометр-63М-1, анеморумбограф М-63 МР двухкомпонентный датчик скорости и направления ветра ИПВ-92. Данные датчики показаны на рисунках 2 и 3 соответственно.

Принцип действия этих средств следующий: набегающий воздушный поток приводит в действие лопасти вертушки, ориентируя ее по потоку; первичный преобразователь скорости и направления воздушного потока (вертушка) преобразует энергию ветра в механическое вращение для передачи её на вторичные преобразователи механической энергии в электрические сигналы. В общем виде уравнение движения анемометра в стационарном горизонтальном воздушном потоке может быть записано в виде:

$$I \frac{d^2 \varphi}{dt^2} + M_a(\varphi) + M_F = 0$$

где  $\varphi$  - угол поворота подвижной ча-

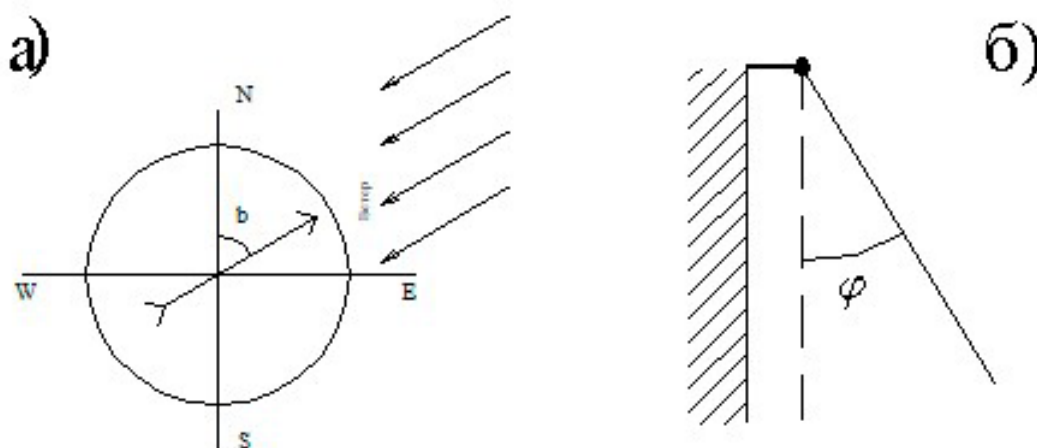


Рисунок 1 – Скорость (а) и направление (б) ветра.

сти анемометра;  $t$ -время;  $I$ -момент инерции подвижной части;  $M_a(\varphi)$ -момент аэродинамических сил, действующих на приемную часть анемометра;  $M_F$ -момент сил трения.

Контактные методы можно, в свою очередь, разделить на несколько типов. Совмещенные датчики — это устройства, где датчики скорости и направления ветра объединены в единый конструкторский блок, отдельные — это устройства, где датчики скорости и направления ветра выделены в отдельный блок, и двухкомпонентные.

Двухкомпонентный датчик скорости и



Рисунок 2 – Датчик ветра двухкомпонентный ИПВ-92.

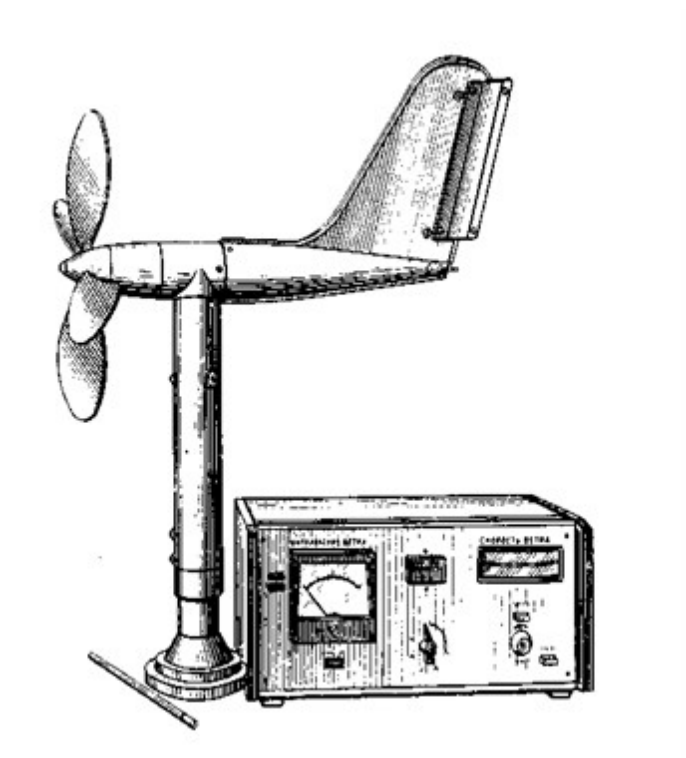


Рисунок 3 – Датчик ветра анеморумбометр М63М-1.

направления ветра измеряет две составляющие ветра. Вычислительное устройство по двум составляющим строит вектор ветра, и отсюда мы определяем его скорость и направление (угол  $b$ ) (см. рисунок 4).

Контактные средства для измерения скорости и направления ветра используются прежде всего для измерения ветрового поля в точке. Бесконтактные средства могут быть использованы также для получения распределения ветрового поля в пространстве. К бесконтактным средствам относятся акустические датчики ветра, а также аэрологические, аэростатные средства, позволяющие измерять скорость и направление ветра, распределенные по высотам и по времени.

Принцип измерения акустических датчиков ветра основан на вычислении разницы времени, которое необходимо импульсу звука, чтобы пройти от одного излучателя к другому. Измерения производятся в двух направлениях одновременно, при этом скорость ветра между двумя приемо-передатчиками вычисляется по следующей формуле:

$$V_w = 0.5L\left(\frac{1}{t_f} - \frac{1}{t_r}\right)$$

где  $V_w$  - скорость ветра;  
 $L$  - расстояние между излучателями;  
 $t_f$  - разница времени при переходе импульса звука от одного излучателя к другому;  
 $t_r$  - разница времени при обратном переходе импульса звука от одного излучателя к другому.

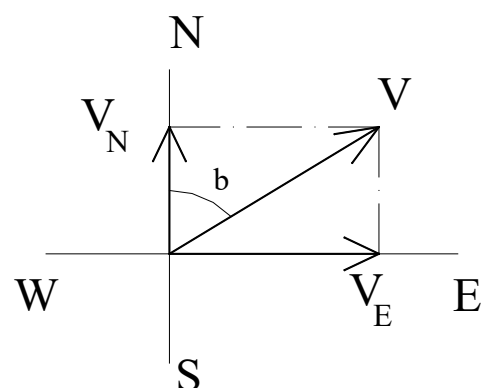


Рисунок 4 – Построение полного вектора скорости и направления ветра.

Таким образом определяется одна из проекций полного вектора скорости и направления ветра. Измерения производятся не менее шести раз, прежде чем вычисляется скорость ветра для одной пары излучателей, и далее вычисляется суммарный вектор скорости и направления ветра.

Дистанционные методы измерения скорости ветра можно разделить на оптические, радиолокационные, акустические и аэростатные. Оптические методы в свою очередь можно разделить на доплеровские и корреляционные. Сущность корреляционных методов заключается в том, что, проходя через освещенный лазерным пучком рассеивающийся объем, увлекаемые ветром аэрозольные неоднородности вызывают флуктуации величины эхо-сигнала, корреляционный анализ которых позволяет извлечь информацию о характеристиках ветра. Доплеровский метод основан на измерении частоты регистрируемых колебаний при движении источника или приемника волн, в данном случае используется эффект изменения частоты лазерного излучения при его рассеивании оптическими неоднородностями движущегося потока. Зондирование атмосферы основано на явлении рассеяния акустических колебаний на неоднородностях показателей преломления, обусловленных спектральными компонентами неоднородностей скорости ветра и температуры с волновыми числами  $k=2R \cdot \sin\theta/2$  ( $\theta$  - угол рассеяния,  $R=2\pi/\lambda$ ,  $\lambda$  - длина волны). Вектор-

ная диаграмма излучения и приема для доплеровского бистатического локатора показана на рис. 5. Доплеровское смещение частоты излучения  $\Delta f_d$ , вызванное перемещением рассеивающего объема под воздействием ветра и регистрируемое приемной системой, имеет вид:

$$\Delta f_d = \frac{1}{2\pi} (K_r - K_0) V$$

где  $K_r$ , и  $K_0$  – волновые векторы падающего и отраженного излучений соответственно;

$K_{r0}$  – разностный вектор,  $V$  – вектор скорости перемещения рассеивающего объема.

Модули волновых векторов равны:

$$K_0 = \frac{2\pi}{\lambda_0} \quad K_r = \frac{2\pi}{\lambda_r}$$

где  $\lambda_0, \lambda_r$  - длина волны падающего и отраженного излучений соответственно.

Модуль  $K_{r0}$  определяется по правилу решения плоских треугольников:

$$K_{r0}^2 = (K_0 + K_r)^2 - 4K_0K_r \cos^2\left(\frac{\theta}{2}\right)$$

где  $\theta$  - угол между  $K_r$ , и  $K_0$ .

Для акустических метеорологических систем  $V \ll c$  и  $K_r \cong K_0$ . Тогда:

$$K_{r0} = 2K_0 \sin\left(\frac{\theta}{2}\right)$$

учитывая полученные выражения для волновых векторов, доплеровский сдвиг частоты можно записать в виде:

$$\Delta f_d \approx \frac{2V}{\lambda_0} \cos \beta \sin\left(\frac{\theta}{2}\right)$$

где  $\beta$  - угол между векторами  $V$  и  $K_{r0}$ ,  
Отсюда:

$$V = \frac{\Delta f_d \cdot \lambda_0}{2 \sin\left(\frac{\theta}{2}\right) \cos \beta}$$

Одноканальная система позволяет определить только проекцию  $V$  на  $K_{r0}$ ;

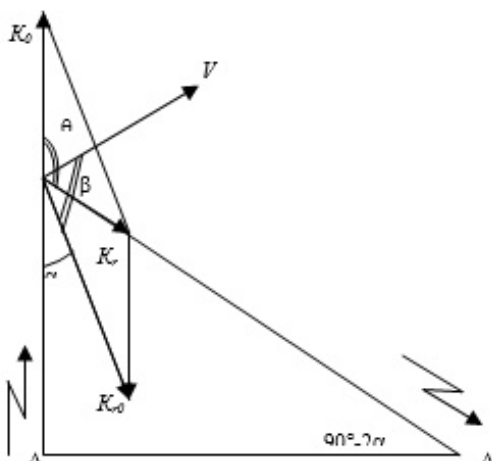


Рисунок 5 – Векторная диаграмма доплеровского локатора.



$$V_{\text{д}} = \frac{\Delta f_{\text{д}} \lambda_0}{2 \sin\left(\frac{\theta}{2}\right)}$$

Для определения вектора скорости ветра необходимо знать три проекции вектора скорости ветра на три некопланарных направления. Для измерения вектора скорости ветра в некоторой точке можно свести три луча лидара в этой точке и измерить лучевые скорости, но для этого, как правило, нужно три лидара, либо можно из одной точки провести измерения лучевой скорости в трех недалеко отстоящих друг от друга точках, где вектор скорости ветра одинаков. Возможно, когда три некопланарных луча одновременно от одного лидара производят зондирование, либо, когда один луч с помощью сканера направляется по различным направлениям. При этом измеритель определяет усредненную по окрестности точки измерения проекцию вектора скорости ветра на направление луча. Очевидно, что с изменением расстояния от измерителя до точки измерения вектора скорости ветра измеряются. Следовательно, используя трехканальную систему и определяя проекцию вектора

$$V_{\text{д}} = \frac{\Delta f_{\text{д}} \lambda_0}{2 \sin\left(\frac{\theta}{2}\right)}$$

по всем трем осям, можно рассчитать полный вектор скорости перемещения рассеивающего объема и, как следствие, определить скорость и направление ветра.

Аэрологические системы представляют собой измерительные зонды, запускаемые по определенным срокам. Зонды производят измерения температуры влажности воздуха, атмосферного давления, по этим данным рассчитывается высота полета зонда, а по перемещению определяется профиль ветра. Аэростатное зондирование основано на установке измерительных блоков на заданную высоту. Производя на заданных высотах основные метеорологические измерения и передавая данные в единый блок

управления, тем самым можно получить пространственную картину распределения ветрового поля.

### 1.2.2. Технические средства для измерения скорости и направления ветра

Рассмотрим применяемые на сегодняшний день датчики скорости и направления ветра, их характеристики и принцип обработки измеренных данных о скорости и направлении ветра. Анеморумбометр М-63 и его модификации производят измерения скорости и направления ветра. Датчики скорости и направления ветра представляют собой единый блок чувствительных элементов, состоящий из четырехлопастного винта и флюгарки, выполненной в виде самолетного фюзеляжа с двумя дополнительными щитками по бокам. Винт и флюгарка с помощью тройника соединены с наружной вертикальной трубой. Внутри флюгарки, тройника и трубы помещены элементы кинематики датчика и импульсаторы. Внешний вид анеморумбометра показан на рисунке 3, структурная схема - на рисунке 6. От датчика ветра импульсы поступают в измерительный пульт, в котором размещаются оконечные преобразователи и указатели параметров ветра. Средняя скорость ветра определяется как результат счета числа импульсов за 10-минутный интервал времени, которые через масштабный делитель частоты (МДЧ) подаются на счетчик (Сч). Время измерения (10 мин) задается часовым механизмом (ЧМ). Текущая (мгновенная) скорость определяется по значению тока на выходе частотомера, пропорциональному частоте, выработанной трансформатором.

Для обеспечения категорированных аэродромов выпускается модифицированный вариант прибора М-63М-1 с осреднением скорости ветра за 2 мин, укомплектованный двумя измерительными пультами. Считываемых датчиком (ОС и СС) импульсов. Преобразование частоты в ток производится частотомером, на выходе которого включен миллиамперметр Р1. Максимальная скорость запоминается механическим устройством, фиксирующим наибольшее от-

клонение стрелки указателя скорости за период измерения. Направление ветра определяется по среднему значению тока, пропорциональному величине фазового сдвига между импульсами опорной и основной или опорной и сдвинутой серий. Импульсы ОП и ОС или ОП и СС поступают через переключатель серии ПС, управляемый контактами К1 и К2, на триггер Тг, формирующий на выходе перепады напряжения, угловая длительность которых равна направлению ветра. Указанные перепады сглаживаются фильтром Ф, на выходе которого включен микроамперметр Р2 (указатель направления ветра) [4].

Измеритель параметров ветра ИПВ-92М. ОАО «Гидрометприбор» разработал и серийно освоил измеритель параметров ветра ИПВ-92М. Прибор поставляется Военно-морскому флоту, а также другим потребителям как внутри страны, так и за ее пределами.

Датчик ИПВ-92 имеет встроенный процессор, мнемонический и цифровой индикатор. ИПВ-92М измеряет текущие, средние и максимальные значения параметров ветра в режиме скользящего осреднения со сменой показаний каждые 5 секунд. Есть возможность выбора нужного интервала осреднения за 2 или 10 минут с помощью переключения тумблера. Для измерения истинных текущих и средних параметров есть в наличии клавиатура, позволяющая вводить курсовой угол и скорость объекта, а также выбирать нужный режим индицирования.

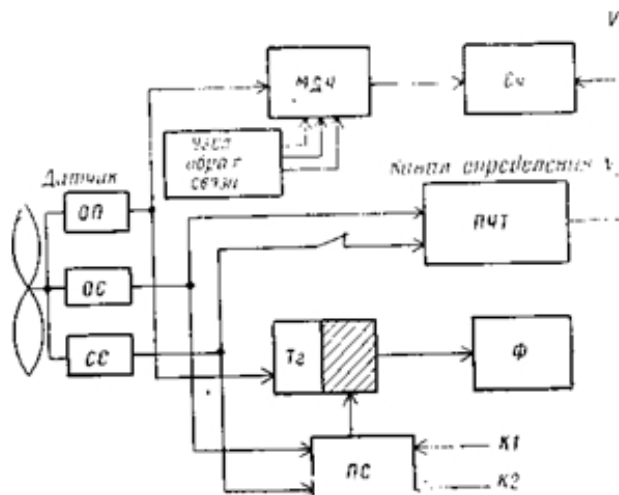


Рисунок 6 – Структурная схема анеморумбометра М-63.

Прибор предоставляет возможность автоматического ввода курса и скорости объекта через интерфейс ИРПС.

Предусмотрена возможность вывода измеряемой информации в аналоговом виде для регистрации на самописце и в цифровом виде через интерфейс ИРПС. Конструкция ИПВ-92М допускает различные варианты размещения: настольный, настенный и щитовой. Внешний вид прибора показан на рисунке 7.

На сегодняшний день серийно выпускаются и есть опыт эксплуатации в России следующих акустических датчиков ветра: WMT700, WXT530 производства финской компании VAISALA.

Датчик WMT700 имеет три звуковых приемо-передатчика расположенных в горизонтальной плоскости. Датчик измеряет разницу времени, которое необходимо импульсу звука, чтобы пройти от одного излучателя к другому. Измерения производятся в двух направлениях одновременно.

Скорость ветра между двумя приемо-передатчиками вычисляется по следующим формулам:

$$V_w = 0.5L \left( \frac{1}{t_f} - \frac{1}{t_r} \right)$$

где  $V_w$  - скорость ветра;  $L$  – расстояние между излучателями;  
 $t_f$  - разница времени при переходе импульса звука от одного излучателя к другому;  
 $t_r$  - разница времени при обратном



Рисунок 7 – Измеритель параметров ветра ИПВ – 92М.

переходе импульса звука от одного излучателя к другому.

Таким образом, получается одна из проекций полного вектора скорости и направления ветра. Где  $L_a, L_b, L_c$  - расстояния между двумя преобразователями датчика, А1-А6. Траектории измерений 1...6 датчика ветра WMT700:

$$V_a = L_a \left( \frac{1}{A_1} - \frac{1}{A_2} \right) \quad V_b = L_b \left( \frac{1}{A_3} - \frac{1}{A_4} \right)$$

$$V_c = L_c \left( \frac{1}{A_5} - \frac{1}{A_6} \right)$$

Уравнение зависит от точной длины траектории измерения (L). Вычисленные скорости ветра не зависят от высоты над уровнем моря, температуры и влажности. Значение этих факторов устраняется путем измерения времени прохождения ультразвука в обоих направлениях, хотя время прохождения ультразвука в одном направлении зависит от них. Измерения производятся шесть раз, прежде чем вычисляется скорость ветра для одной пары излучателей и аналогично для других, таким образом, вычисляется суммарный вектор скорости и направления ветра.

Аэрологическая система DigiCora представлена на рис 8. Система автоматического аэрологического зондирования атмосферы представляет собой измерительный модуль (контейнер), в со-

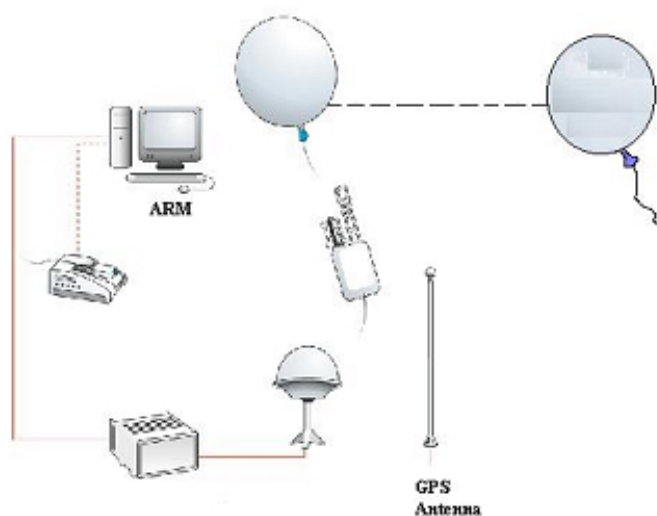


Рисунок 8 – Аэрологический комплекс DigiCora.

став системы входят:

- Радиозонды;
- Радиолокационная антенна;
- Система глобального позиционирования GPS;
- Блок обработки;
- Система контроля земной поверхности;
- Автоматическая система записи и обработки данных с радиозондов.

Система производит подготовку, запуск, получение, обработку измеренных данных в автоматическом режиме. Программное обеспечение, поставляемое с системой, позволяет получать профили скорости и направления ветра, температуры, относительной влажности, атмосферного давления по высотам. Профили представляются в удобном графическом виде (см. рисунок 9). С помощью этой системы возможно определять скорость ветра с погрешностью 0.5 м/с. Профиль ветра определяется по следующим формулам:

$$V = \frac{\sqrt{L_i^2 - L_{i+1}^2}}{t_{i+1} - t_i}$$

где  $L_i$  расстояние пройденное шар зондом за время  $t_i$ ,  $L_{i+1}$  расстояние пройденное шар зондом за время  $t_{i+1}$  [8].

Одно из новейших систем аэрологического зондирования атмосферы

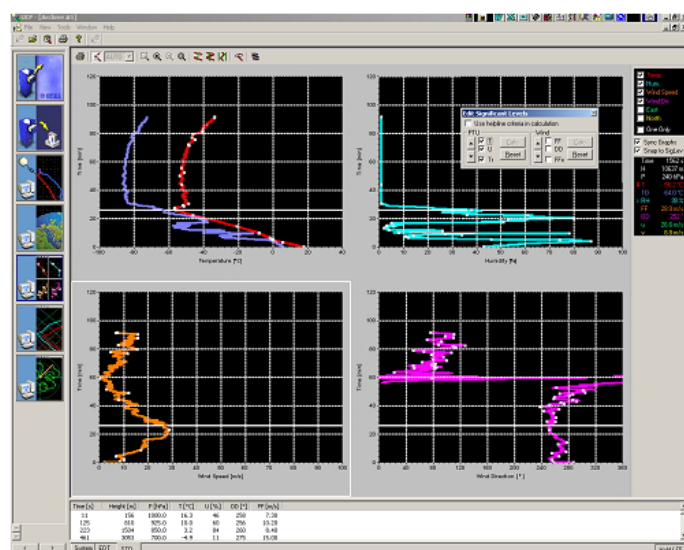


Рисунок 9 – Программное обеспечение аэрологической системы DigiCora. Профили скорости и направления ветра, температуры, относительной влажности, атмосферного давления по высотам, представляемые в графическом виде.

DigiCORA Tethersonde System представляет собой совокупность измерительных модулей, размещенных на кабель тросе с заданными интервалами. Система выводится на заданную высоту с помощью аэростата (рисунок 10). Ориентация датчиков ветра относительно географического севера невозможна из-за мягкости троса, поэтому при измерении направления ветра вводится поправка, получаемая с электромагнитного компаса измерительного модуля, а также с системы GPS. Все измеренные данные система передает в центральный блок хранения, управления системой по радиоканалу на частоте 400-406 МГц. Блок управления системой имеет цифровой интерфейс RS-232, позволяющий передавать измеренные данные о скорости и направлении ветра, температуре, относительной влажности, атмосферном давлении в периферийные устройства, которыми могут быть как автоматическое рабочее место, оборудованное персональной ЭВМ, так непосредственно всемирная сеть internet и ethernet. Это позволяет оперативно реагировать на опасные явления погоды. [9]

Косвенное определение крупных перемещений воздушных масс также определяется по спутниковым метеорологическим снимкам, в этом случае мы можем констатировать процесс с большим запаздыванием по времени, так как требуется несколько снимков от различных

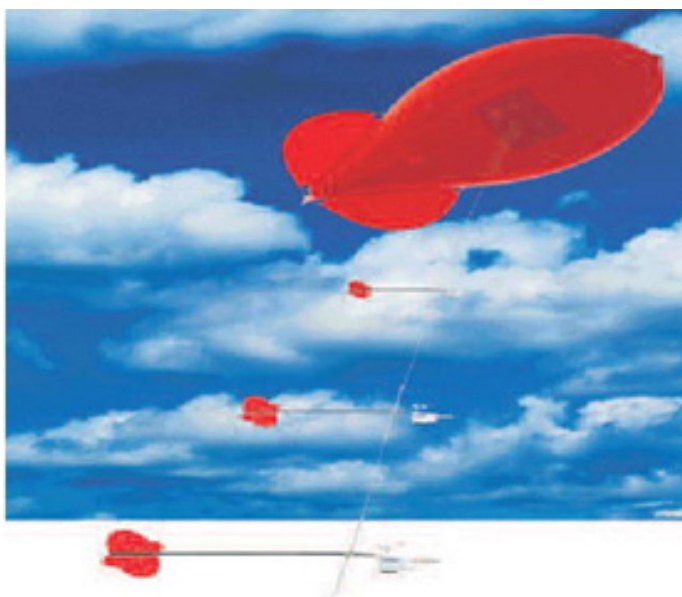


Рисунок 10 – Система аэрологического зондирования атмосферы DigiCORA Tethersonde System.

ИСЗ с большим интервалом по времени, чтобы с достоверной долей вероятности определить скорость и направление перемещения воздушных масс.

Сведем технические характеристики рассмотренных средств в таблицу (таблица 1).

Таблица 1

Технические характеристики технических средств для измерения скорости и направления ветра.

#### ИПВ-92

Диапазон измерения скорости ветра	(1 ... 60) м/с с дискретностью 0,1 м/с
Диапазон измерения направления ветра	(0 ... 360) градусов с дискретностью 1 градус
Погрешность измерения скорости ветра	$\pm(0,5+0,05V)$ м/с
Погрешность измерения направления ветра	$\pm 5$ градусов в диапазоне скоростей (5 ... 60) м/с
Напряжение питания	220 В +10/-15% 50 Гц
Потребляемая мощность	40 В*А

#### М-63

Диапазон измерения скорости ветра	(1 ... 55) м/с с дискретностью 0,1 м/с
Диапазон измерения направления ветра	(0 ... 360) градусов с дискретностью 1 градус
Погрешность измерения скорости ветра	$\pm(1,5+0,05V)$ м/с
Погрешность измерения направления ветра	$\pm 5$ градусов в диапазоне скоростей (5 ... 60) м/с
Напряжение питания	220 В +10/-15% 50 Гц

#### DigiCORA Tethersonde System

Диапазон измерения скорости ветра	(1 ... 60) м/с с дискретностью 0,1 м/с
Диапазон измерения направления ветра	(0 ... 360) градусов с дискретностью 1 градус
Погрешность измерения скорости ветра	$\pm(0,5+0,05V)$ м/с
Погрешность измерения направления ветра	$\pm 5$ градусов в диапазоне скоростей (5 ... 60) м/с

**WAS425**

Диапазон измерения скорости ветра	(1 ... 60) м/с с дискретностью 0,1 м/с
Диапазон измерения направления ветра	(0 ... 360) градусов с дискретностью 1 градус
Погрешность измерения скорости ветра	$\pm(0,5+0,05V)$ м/с
Погрешность измерения направления ветра	$\pm 2.5$ градусов в диапазоне скоростей (5 ... 60) м/с
Напряжение питания	12 В пост. тока

**WXT530**

Диапазон измерения скорости ветра	(1 ... 60) м/с с дискретностью 0,1 м/с
Диапазон измерения направления ветра	(0 ... 360) градусов с дискретностью 1 градус
Погрешность измерения скорости ветра	$\pm(0,5+0,05V)$ м/с
Погрешность измерения направления ветра	$\pm 2.5$ градусов в диапазоне скоростей (5 ... 60) м/с
Напряжение питания	12 В пост. тока

1.3. Анализ технических средств для измерения параметров ветра в корабельных условиях

При многолетнем использовании датчика пропеллерного типа на кораблях ВМФ и при проведении многолетних исследований в ГГО им. Воейкова было установлено, что пропеллерный датчик с хвостовым стабилизатором обладает сильной нестабильностью: при воздействии на него пульсирующего потока коэффициент передачи имеет не линейный характер.

В корабельных условиях, где кроме пульсирующего потока на датчик воздействует как бортовая, так и килевая качка, коэффициент передачи может меняться в несколько раз. Также при отрицательных значениях температуры происходит "залипание" магнита, что приводит к большому увеличению порога троганья. Увеличение порога троганья первичного преобразователя имеет большое значение при измерении параметров воздушного потока. Так, у пропеллерного датчика М-63 порог троганья составляет 1 м/с, следовательно, при резком изменении

скорости ветрового потока мы не сможем корректно оценивать поток на небольших скоростях.

С другой стороны, датчики ветра серии М-63 не удовлетворяют требованиям, предъявляемым для современных систем метеорологического обеспечения, так как аналоговый выход не позволяет напрямую производить считывание данных, необходимо устанавливать дополнительное оборудование для сопряжения с корабельными системами, что приводит к созданию крупных и дорогих систем. Главной отличительной особенностью совмещенных датчиков скорости и направления ветра является то, что ориентирование датчика по потоку происходит с большей погрешностью, чем у датчиков с отдельным размещением флюгера и анемометра. Это связано с тем, что совмещенный датчик обладает большей массой и угол  $\varphi$  ориентации датчика направления ветра относительно воздушного потока всегда будет больше, чем у датчика с отдельным исполнением датчика скорости и направления ветра.

Так как поворотную силу флюгера можно представить как:

$$F_{пов} = C_{фл} V^2 \sin b$$

где  $C_{фл}$  - сила трения флюгера. Следовательно, чем угол  $\varphi$  будет стремиться к нулю, тем сила будет меньше, а когда  $F_{пов} \leq F_{фл}$ , тогда угол меняться не будет. Соответственно, при одинаковых скоростях потока, но при разных  $C_{фл}$  мы получим различный угол  $\varphi$ .

Далее рассмотрим, как ведут себя анемометры при нахождении к потоку под различными углами. При воздействии воздушного потока на анемометр сверху вниз, экспериментально установлено, что анемометр будет вращаться в обратную сторону. Это объясняется тем, что в результате воздействия воздушного потока образуется составляющая силы воздушного давления, направленная от выпуклой стороны чашечки к вогнутой.

Сила давления воздушного потока при набегании на поверхность чашечки разлагается на составляющие: Рк-ка-

сательную и Pr-нормальную к поверхности чашечки. Касательной составляющей можем пренебречь ввиду её малости, а нормальную разложить на Pm-действующую вдоль оси анемометра и Pn- действующую в сторону, обратной нормальному давлению вращения анемометра (рисунок 11).

Из рисунка видно, что:

$$dP_n = C(\xi, \varepsilon) \frac{\rho V^2}{2} \sin \xi ds,$$

где  $C(\xi, \varepsilon)$  -коэффициент сопротивления формы единицы поверхности полусферы;

$\frac{\rho V^2}{2}$  – скоростной напор набегающего воздушного потока;

$ds$  - элемент поверхности полусферы, спроектированный на плоскость.

Интегрируя по всей поверхности полусферы, обращенной к потоку, получим:

$$P_n = C_{3\max} \frac{\rho V^2}{2} \frac{s}{2},$$

где

$$C_{3\max} = \int_0^{\frac{\pi}{2}} \int_0^{\frac{\pi}{2}} C(\xi, \varepsilon) \sin \xi \xi d\xi d\varepsilon,$$

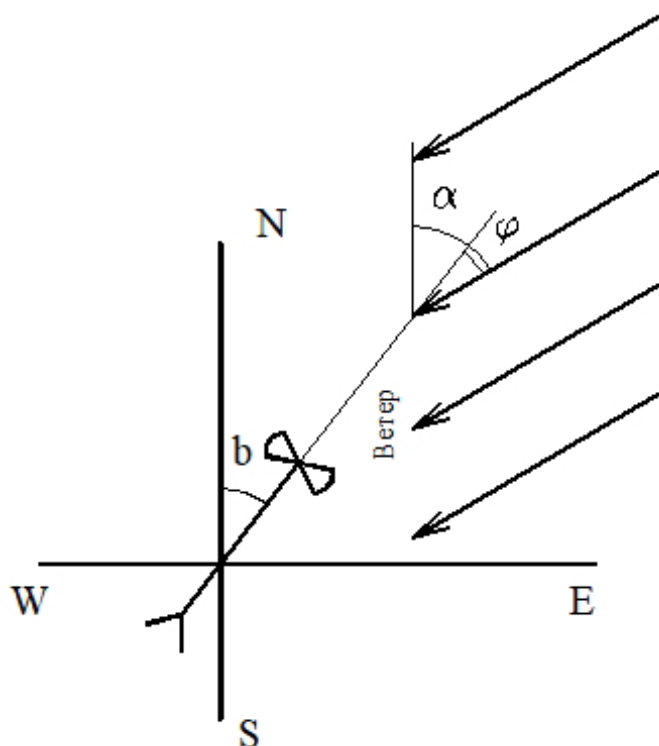


Рисунок 11 – Силы, действующие на анемометр.

$C_{3\max}$  -коэффициент сопротивления формы полусферы при потоке, параллельном ее основанию. Значения его определяются из эксперимента,  $s$ -площадь сечения чашки.

Далее экспериментально было установлено, что при изменении угла воздействия воздушного потока на анемометр до 45 градусов заметного изменения в измерениях модуля скорости воздушного потока не происходит. Анемометры с длинными плечами являются более чувствительными к малым скоростям ветра, но их аэродинамические моменты меняются менее плавно. Аэродинамический момент, действующий на трехчашечные анемометры при различных положениях чашек, меняется гораздо более плавно, чем момент, действующий на четырехчашечные анемометры. Поэтому трение в опорах трехчашечных анемометров более равномерно, а, следовательно, трехчашечные анемометры, являясь более экономными, обладают большей долговечностью и большим постоянством градуировочной кривой.

При проведении сравнительных измерений по скорости ветра акустического датчика WXT530 с анемометрическим датчиком ДСНВ-2 автором были получены следующие результаты.

При проведении многочисленных испытаний различных измерительных систем в судовых условиях было установлено, что наибольшую методическую погрешность при измерении скорости и направления ветра вносит сложная конфигурация судна. На протяжении многих лет в Государственном научно-исследовательском институте навигации и гидрографии при Министерстве обороны РФ проводились многочисленные исследования по изучению ветрового потока, воздействующего на корабль. В результате этих исследований была разработана методика, позволяющая снижать эффект затенения датчиков скорости и направления ветра. Основные положения данной методики заключаются в следующем:

- датчики ветра должны располагаться побортно;
- измеренные данные должны поступать только от датчика, расположен-

ного с наветренного борта.

Один из основных критериев, влияющих на репрезентативное измерение ветра - это размещение датчиков на кораблях. Заметим, что на боевых кораблях ВМФ наиболее высокие надстройки судна, как правило, заняты системами радиолокации, связи и вооружения. Задача по размещению представляется одной из сложнейших, для более корректного поиска места установки необходимо производить обдувку модели корабля. Однако, как показала практика, утвержденное место для установки датчика ветра по методике продувки не всегда соответствует задачам по измерению ветрового поля.

### Выводы

Был произведен анализ технических средств методов, применяемых для измерения ветрового поля, а также рассмотрены перспективные технические средства для учета взаимодействия ве-

трового поля с кораблем. Определены критерии выбора технических средств для измерения ветрового потока. Исходя из метрологических характеристик было показано, что датчик скорости и направления ветра раздельного исполнения обладает наилучшими характеристиками.

Применение отечественных датчиков типа М-63 автор считает нецелесообразным в виду конструктивных и методических погрешностей, описанных выше, а также в связи с трудностями при передаче измеренных данных в цифровом виде.

Автор считает целесообразным использовать для измерения параметров скорости и направления ветра датчики типа Vaisala WMT700, WXT500, успешно применяемых в современных комплексах гидрометеорологического обеспечения «Сюжет-КМ», серийно изготавливаемые в АО «НИИ телевидения».

### Список литературы:

1. Айзенштат Е. А. Труды НИУ ГМС, сер. 1, вып. 2, 1947.
2. Попов С. Г. Измерение воздушных потоков. ОГИЗ Гостехиздат, 1947
3. Сабинин Г. Х. Журн. геофиз., т. VII, 1937
4. Patterson. Frans. Roy. Soc. of Canada, VXX, 1926.
5. Schrenk. Zeitschr. f. techn. Physik, 10, 1929.
6. Персин С. М. Основы теории и проектирования автоматических измерительных систем. Гидрометеоиздат, ленинград 1975.
7. Распространение лазерного пучка в атмосфере. Под ред. Д.Стробена, пер. с англ. под ред. В.Е. Зуева, В.Л. Миронова.-М.:Мир,1981.
8. VAISALA NEWS. – Helsinki, 2003. - № 161. – P.21-22.
9. VAISALA NEWS. – Helsinki, 2003. - № 162. – P.17-19.

### References:

1. Aizenshtat E.A. Proceedings of the National Research University HMS, ser. 1, no. 2, 1947.
2. Popov S. G. Measurement of air flows. OGIZ Gostekhizdat, 1947
3. A Sabinin G. Kh. Zh. geophys., vol. VII, 1937
4. Patterson. Frans. Roy. Soc. of Canada, VXX, 1926.
5. Schrenk. Zeitschr. f. techn. Physik, 10, 1929.
6. Persin SM Fundamentals of the theory and design of automatic measuring systems. Hydrometeoizdat, Leningrad 1975.
7. Propagation of a laser beam in the atmosphere. Ed. D. Stroben, trans. from English ed. V.E. Zueva, V.L. Mironova.-M.: Mir, 1981.
8. VAISALA NEWS. – Helsinki, 2003. - № 161. – P.21-22.
9. VAISALA NEWS. – Helsinki, 2003. - № 162. – P.17-19.

УДК 528.856

DOI: 10.24411/2658-4255-2020-12512

## ОБРАБОТКА ИЗОБРАЖЕНИЙ С ГИДРОЛОКАТОРА БОКОВОГО ОБЗОРА НА ПРИМЕРЕ ОДНОГО УЧАСТКА НИЖНЕГО ТЕЧЕНИЯ РЕКИ ЕНИСЕЙ

И.А. Бабий, О.А. Галимзянов, А.Е. Гончаров

Сибирский государственный университет науки и технологий имени академика М. Ф. Решетнева, г. Красноярск, Россия

✉ babii-igor@mail.ru, olegatop99@gmail.com, goncharovae@sibsau.ru

В настоящей работе рассмотрен вопрос обработки изображений с гидролокатора бокового обзора, полученных в ходе полевых работ в нижнем течении реки Енисей. Описывается методика создания цифровой карты по сонограммам с наложением ее на космический снимок. Произведен анализ нескольких гидролокационных изображений, полученных при помощи гидролокатора бокового обзора.

**Ключевые слова:** гидролокатор бокового обзора (ГБО), дистанционное зондирование, геоинформационная система, сонограмма, цифровая карта, река Енисей.

## VISUALIZING AND PROCESSING SIDE-SCAN SONAR IMAGES: A CASE OF THE LOWER REACHES OF THE ENISEI RIVER

I.A. Babiy, O.A. Galimzyanov, A.E. Goncharov

Reshetnev Siberian State University of Science and Technology, Krasnoyarsk, Russian Federation

In this paper, the authors discuss some issues of collecting and processing side-scan sonar (SSS) images collected during a survey of the lower reaches of the Enisei River. A technique is suggested for the construction of sonar image mosaics and interpreting data.

**Keywords:** side-scan sonar (SSS), remote sensing, geographical information system, sonogram, digital map, Enisei River.

Статья получена: 04.08.2020

Принята к публикации: 28.08.2020

Опубликована онлайн: 01.12.2020

### Введение

Создание более точных карт поверхности дна мирового океана, в том числе с использованием гидролокатора бокового обзора (ГБО) [1], является актуальной задачей на сегодняшний день. Не менее актуальной она является и для картографирования речных систем. В отличие от традиционных методов гидрографических исследований со сбором батиметрических данных галсовыми, либо попеченными, промерами, ГБО позволяет визуализировать донную поверхность с достаточно высоким разрешением. При этом удешевление и, как следствие, большая доступность различных гидроакусти-

ческих приборов [2–4] существенно расширило возможности для проведения исследования внутренних водоемов, в частности в отдаленных районах Крайнего Севера и Арктики.

Несмотря на то, что принципы работы ГБО достаточно описаны в научной и научно-технической литературе [5–7], необходимо обратить внимание на фундаментальную работу Филиппа Блонделя (Батский университет, Великобритания), которая сфокусирована именно на вопросах прикладного использования ГБО как в полевых условиях, так и в лабораторных при обработке полученных данных [8]. Системы ГБО позволяют получать изо-



бражение водной среды путем преобразования значений амплитуды собственного акустического сигнала, отраженного от объектов, в последовательные ряды пикселей, составляющие изображение дна водоема. Таким образом, данная система, измеряя амплитуду сигнала, переводит значения в тон пикселей будущего изображения. Жесткие и плотные объекты отражают больше сигнала гидролокатора, чем мягкие и рыхлые. Следовательно, по тону или цвету пикселя можно строить предположения о залегающем объекте. Однако существуют и другие факторы, влияющие на тональность пикселей на конечном изображении: характеристики самого водного объекта (состав воды, ее плотность, температура); параметры проведения сканирования – диапазон сканирования (ширина полосы сканирования) и частота испускаемого звукового сигнала, маршрут съемки, скорость движения сканирующего устройства и другие источники, возникновение и влияние которых не всегда возможно предвидеть и предотвратить, например, различные движения водных потоков на поверхности и под водой, погодные условия, которые также приводят к движению воды [4; 8]. Основываясь на знаниях причин и факторов, влияющих на процесс сканирования, а также параметров и настроек аппаратуры, можно изучать изображения, полученные гидролокатором, для исследования дна водных объектов.

Таким образом, целью работы является сбор, обработка и анализ гидрографических данных для построения географической информационной системы (стратегический проект СибГУ им. М.Ф. Решетнева "Енисей - Арктика"). Именно для этого проводились изыскания. Основной проблемой, с которой столкнулся коллектив в ходе проведения исследований при помощи ГБО – интерпретация и картирование водных объектов. В статье предлагаются подходы к решению этих задач.

### Материалы и методы исследования

В данной статье будут рассмотрены некоторые результаты изучения нижнего течения реки Енисей в районе устья реки Сальная Курья, с использованием ГБО. Исследования ГБО выполнялись на расстоянии около 30 метров от правого берега Енисей (Рис. 1).

В работе использовался ГБО «Starfish 990F» (компания «Tritech»), предназначенный для проведения работ на глубинах до 30 метров.

Рассмотрим на Рис. 2 встречающиеся объекты, а также характеристики водного пространства. На изображении можно выделить четкую береговую линию, поскольку судно со съемочным оборудованием двигалось вдоль береговой линии. В левой части изображения присутствует светлый объект, тень от которого «оторвана» на некоторое расстояние, следовательно, объект находится в толще воды, а не

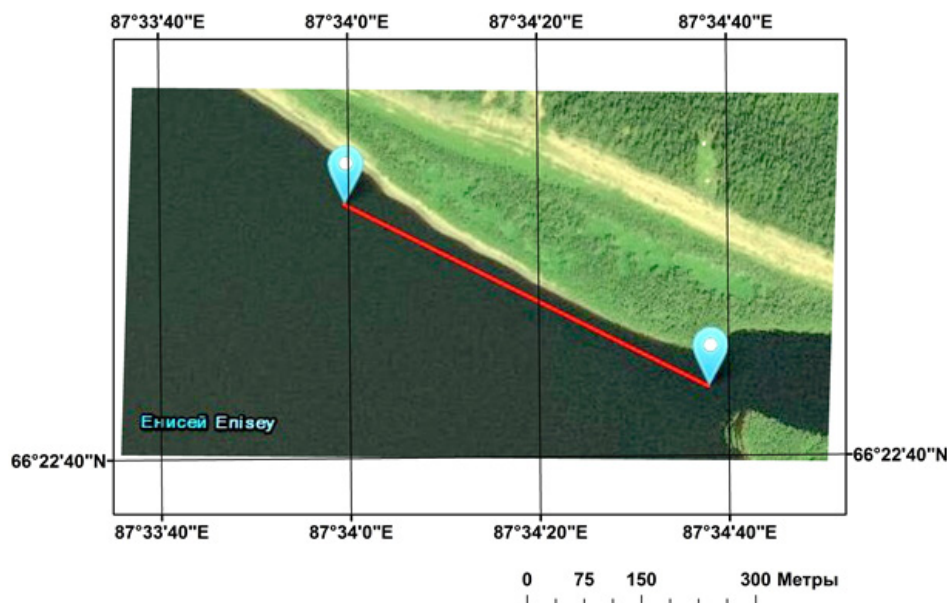


Рисунок 1 – Маршрут съемки ГБО.

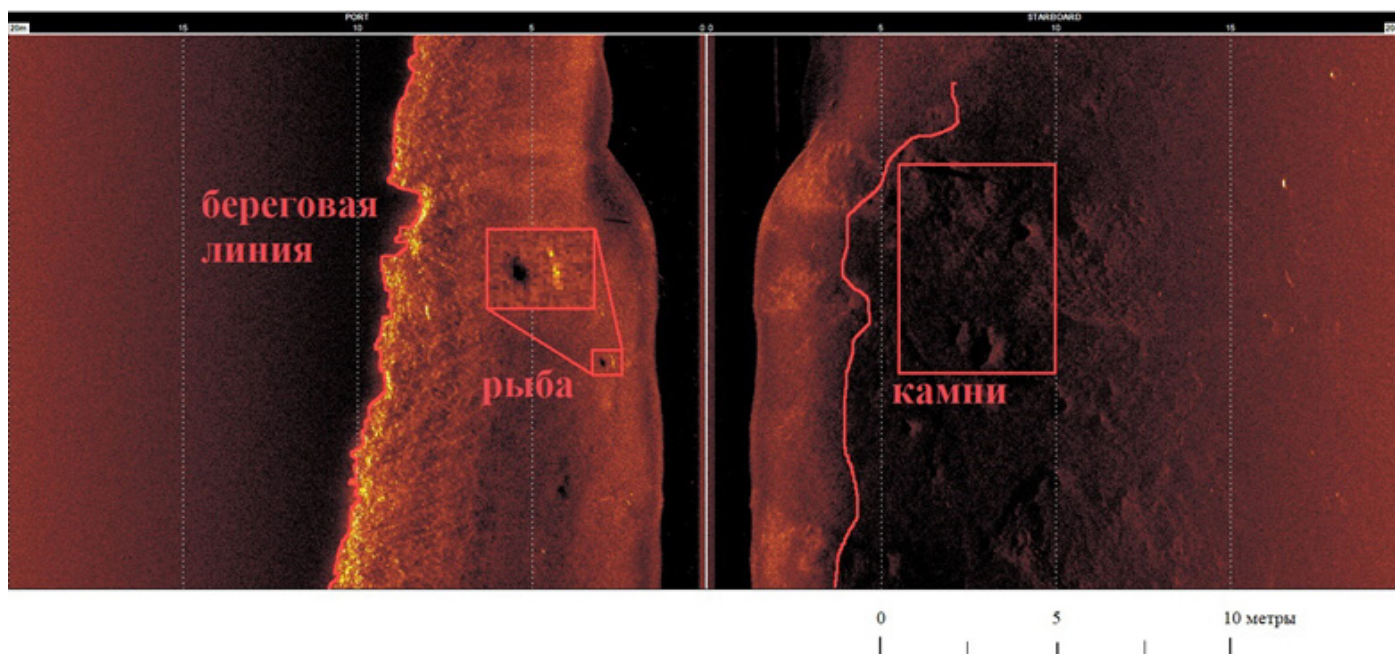


Рисунок 2 – Фрагмент сонограммы.

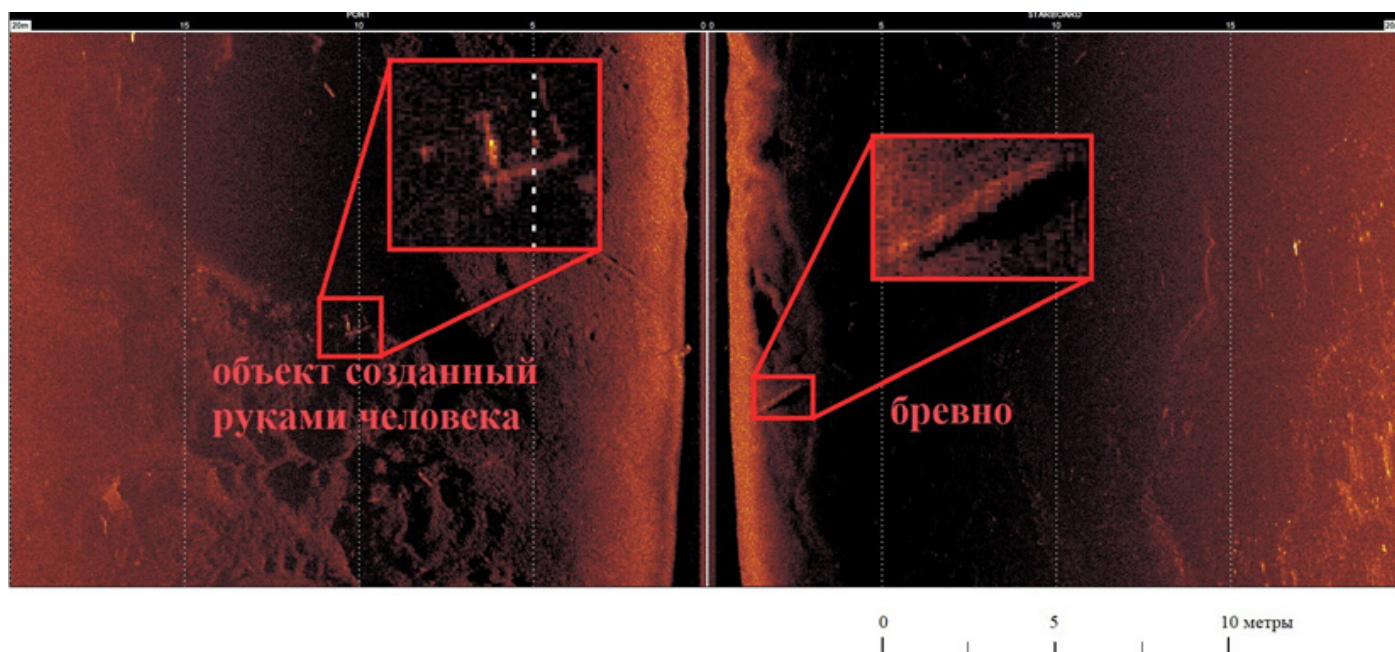


Рисунок 3 – Фрагмент сонограммы.

«лежит» на дне: можно предположить, что это – рыба. В правой части изображения видны затененные области – отсутствие или частичная потеря данных, которые могут возникать из-за неровностей донной поверхности, в результате чего создается «тень» и акустический сигнал не отражается. Также на этом изображении объекты, отбрасывающие тень, вероятнее всего, являются крупными каменистыми образованиями. По мере увеличения глубины (на изображении – слева, направо) данные становятся менее информативными, так как глубина не является постоянной на исследуемой территории. Не обладая батиметрическими данными, это

можно определить аналитически по размеру «черной области» в центре изображения, характеризующей толщину воды под гидролокатором – чем она меньше, тем мельче водоем. При нахождении в этой области плавающей мусора, различных взвесей, можно произвести грубую оценку уровня загрязнения воды крупными частицами. По косвенным признакам изображений, было определено, что изменения глубин на всем маршруте съемки значительны – наблюдаются как мелкие участки, глубина которых до 0,5 м, так и крупные углубления, с глубиной более 5 м. По большей части, материал дна однородный, предположительно галечный.

Если объекты легко распознаются по тени, это позволяет нам судить об их положении и размере. Информативной является форма и интенсивность отражения сигнала. Так, например, в левой части на Рис. 3 зафиксирован объект, отражательная способность которого больше, чем окружающих его объектов, это свидетельствует о различии материала донных объектов. Объект едва различим, и имеет неестественную для природных объектов угловатую форму. Таким образом, на основании правильной прямоугольной формы и высоких значений отражательной способности можно предположить, что объект имеет антропогенное происхождение. Бревно легко опознается (в правой части на Рис. 3) по своей вытянутой форме.

В целом, охарактеризовать весь объем данных сканирования можно следующим образом: неравномерное по глубинам донное основание, имеющее множество резких перепадов. На дне заметны следы человеческой деятельности – вытянутые в длину борозды, вероятно, следы от якорей и якорных цепей. На протяжении всего съемочного пути на дне водоема и в толще воды встречаются различные предметы, такие, как одиночные бревна, скопления кустарниковой растительности, булыжники, одиночные рыбы и их стаи, а также антропогенные объекты.

Однако сонограмма и ее описание – это не конечный продукт при гидроакустическом исследовании водоема. Сонограмма может быть использована как основной источник при составлении карт водных объектов или в качестве дополнительного источника информации в случае исследования конкретного объекта, находящегося в толще воды или залегающего на дне водоема. Различные тематические карты водоемов могут быть использованы, например, для маломерного судоходства, рыболовства, строительных работ, изучения подводных объектов исторического наследия, природоохранной деятельности.

Примеры построения «мозаики» по гидроакустическим снимкам представлены в работах американских исследователей [2–3; 9], однако они ориентированы на использование рыболовных эхолотов, для которых существует коммерческое картографическое ПО. «Starfish Scanline» функцией картографирования не обладает. В рамках камеральной обработки нам удалось спроецировать сонограмму ГБО на космический снимок высокого разрешения, для отображения окружающих объектов и визуального восприятия результата работы. Работа была выполнена в программном пакете QGIS.

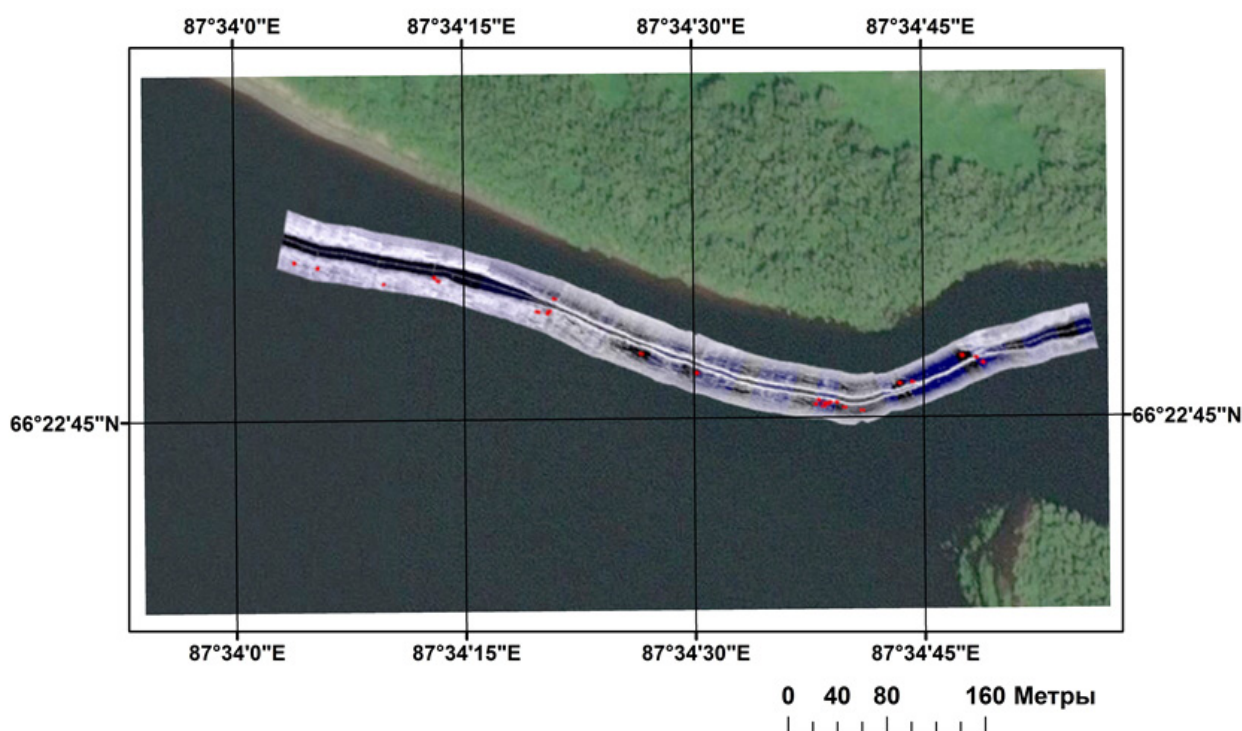


Рисунок 4 – Сонограммная мозаика, наложенная на космический снимок.

Сонограмма гидролокатора представляет собой файл с расширением LogDoc, который визуализируется программным обеспечением производителя прибора «Starfish Scanline». Программное обеспечение предлагает два способа извлечения данных – непосредственно готовая сонограмма и так называемые «сырые данные», представляющие собой таблицу с занесенными в нее параметрами, полученные во время гидроакустической съемки. Мы воспользовались функцией извлечения готовой сонограммы. Таким образом, файл сонограммы был поделен на 43 фрагмента, представляющие собой детали большого пазла, одинакового размера по длине и ширине изображения. Для каждого элемента пазла в таблице были зафиксированы координаты 15 точек. Это необходимо для проведения процедуры географической привязки каждого элемента, а также этого количества точек достаточно для проведения трансформации отображения сонограмм полиномом второго порядка, чтобы увеличить точность работы. Таким образом, географическая привязка задавала данным естественное расположение в пространстве для каждой сонограммы не в виде «прямой линии», а по траектории движения плавсредства со съемочным оборудованием, со всеми поворотами на маршруте, во время исследовательских работ (Рис. 4). По мере географической привязки, элементы один за другим присоединяются друг к другу, составляя единую мозаику.

Проблему при проведении географической

привязки составляли так называемые «угловые фрагменты» (фрагменты, находящиеся на участках изменения направления движения судна), им уделялось особое внимание. Поскольку не всегда представляется осуществлять съемку прямыми галсами, на снимках видны резкие изгибы, которые могут привести к сильному искажению сонограммы, что, в свою очередь, отрицательно сказывается на четкости изображения и точности привязки. В нашей работе присутствует фрагмент крутого поворота (Рис. 5), можно увидеть, насколько сильно изменилась форма фрагмента после пространственной привязки и трансформации изображения, также необходимо обратить внимание, что на внешнем углу сонограммы образовался «надрыв» – это отсутствие данных в этом месте, следствие крутого поворота.

Объединение различной информации, ее сравнение и сопоставление позволяет вывести закономерности, которые ранее не были известны, а также посмотреть на некоторые данные «по-новому». Одним из примеров такого подхода к работе с информацией являются ГИС. Системы такого рода позволяют на основе географической информации проводить автоматизированное картографирование.

По окончании сбора сонограммного пазла, средствами QGIS был добавлен слой космического снимка высокого разрешения, загруженного нами с геоинформационной системы Google Earth [10]. Объединение снимка и данных гидролокатора позволяет определить положение

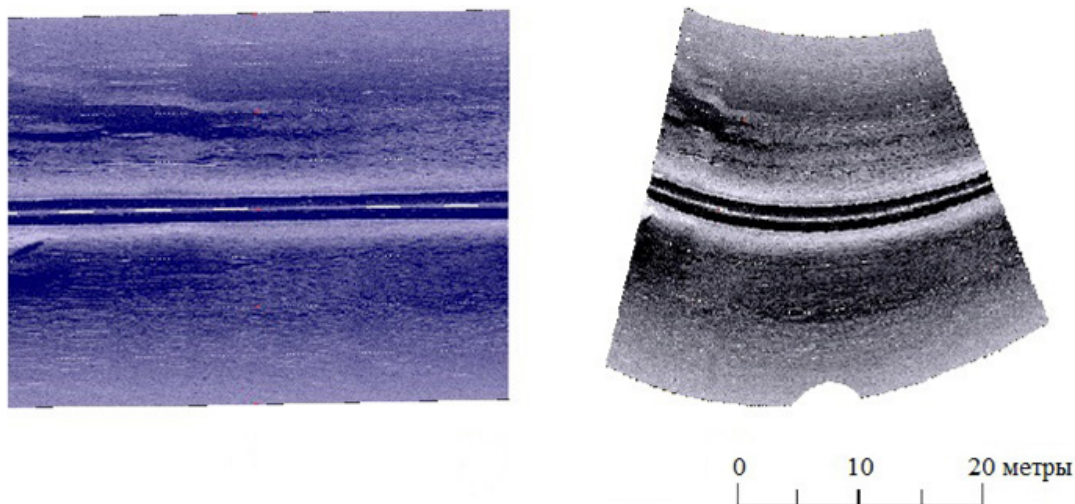


Рисунок 5 – Изменение угловой сонограммы после географической привязки и трансформирования полиномом второго порядка.

объектов в толще воды и на дне водоема относительно береговой линии, и в целом для правильного визуального восприятия.

## Результаты

В результате визуального анализа полученной мозаики были обнаружены объекты, а также выделены явления, проявляющиеся на сонограммах. Условно, обнаруженные явления и объекты можно разделить на несколько групп. Непосредственно сами объекты, выделяющиеся на фоне относительно ровной поверхности речного дна, о которых можно предположить, что они являются обломками деревьев, так как имеют характерную вытянутую прямоугольную форму, а их объемность определяется за счет падающей тени. Также было замечено, что данные объекты обладают высокими значениями отраженного звукового сигнала. Вторая группа обнаруженных особенностей – это участки с искажением и потерей отражающегося звукового сигнала, что приводит, в конечном счете, к потере данных. Участки подобного рода необходимо определять с помощью координат и местоположений таких «темных пятен» на карте для повторного исследования данной

области. На участках, где траектория отклоняется от прямолинейного движения, происходит «растягивание» растрового изображения, что впоследствии влияет на работу по распознаванию объектов. Учитывая расположение этих участков, также можно будет избежать искажений или минимизировать радиус поворота.

Все обнаруженные нами объекты были представлены на карте путем создания нового слоя, хранящего информацию о местонахождении, номер сонограммного снимка (фрагмент пазла), а также краткую описательную характеристику. Эти данные находятся в атрибутивной таблице слоя.

Такой способ представления информации позволил обнаружить некоторые характеристики объектов, которые были не так очевидны в первоначальном виде данных ГБО. Так, например, на стыке двух сонограмм был обнаружен объект вертикального залегания, обладающий высокой отражательной способностью звука, и характерной вытянутой звуковой тенью, это может свидетельствовать о действительно крупном объекте. Также в окрестностях объекта обнаружены и другие источники высокого отражения, имеющие характерную прямоугольную форму и собственную тень (Рис. 6–7).

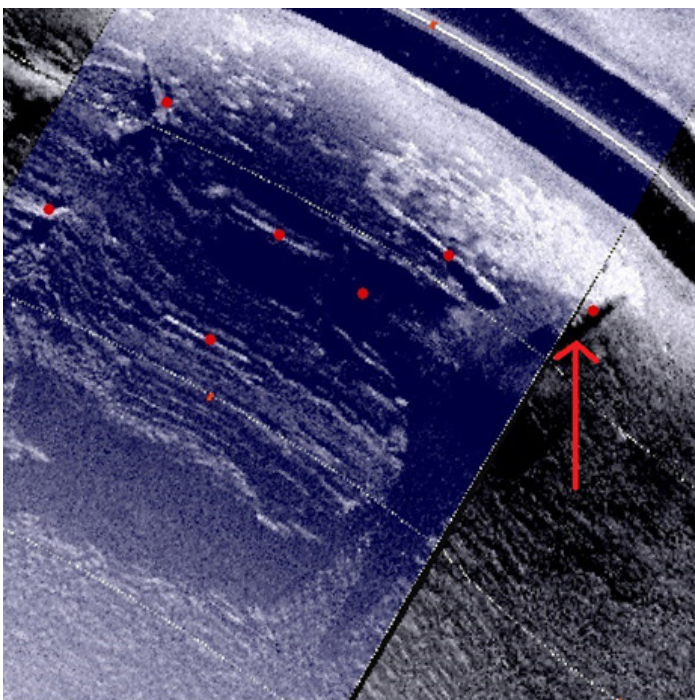


Рисунок 6 – Фрагмент сонограммной мозаики, с обнаруженным вытянутым вертикально залегающим объектом на стыке сонограмм.

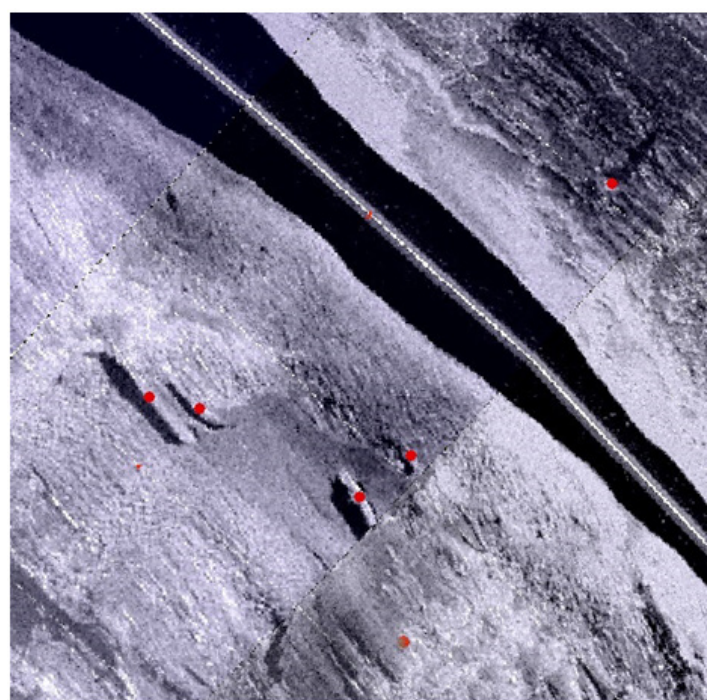


Рисунок 7 – Фрагмент сонограммной мозаики, с обнаруженными вытянутыми горизонтально залегающими объектами.

## Заключение

В данной работе были предложены подходы интерпретации и картирования участка реки Енисей вблизи его правого притока – Курейки, по результатам гидролокационной съемки для создания ГИС, с помощью программного пакета QGIS. Проведен анализ визуализированных данных гидролокационной съемки. Затем данные были разделены на 43 фрагмента, для более детальной работы с каждым фрагментом – географическая привязка по 15 точкам и трансформирование каждого из 43 фрагментов полиномом второго порядка. Удалось получить единую полосу элементов сонограмм с визуализацией донной обстановки относительно местности в программе QGIS с использованием космического снимка. Все объекты, выявленные в ходе анализа, были зафиксированы на полученной геоинформационной карте с присвоением номера, а также с уточнением их координат.

Создание перечня обнаруженных объектов при помощи ГБО является важным этапом в обработке полученных данных.

Однако такой анализ данных на сегодняшний день не может проходить без человека, несмотря на существующие методы автоматизации этого процесса. Результаты дают возможность для рационального проведения повторных наблюдений, если потребуется, а также позволяют развить дальнейшее использование данных путем наложения на карту дополнительных слоев, например, батиметрической информации, для выявления закономерностей развития или общих характеристик исследуемой области.

Таким образом, развитие методов дешифрирования и обработки материалов, полученных ГБО, могут способствовать распространению подобной, относительно недорогой, доступной аппаратуры. Использование ГБО значительно увеличит продуктивность исследований водных объектов. Результаты таких исследований могут внести вклад в развитие судоходства, рыболовства, упростить поисковые и спасательные операции, а также разведывательные работы при строительстве.

## Список литературы:

1. Порохов И.В., Сущенко А.А., Кан В.А. Об одной задаче определения донной поверхности по данным гидролокатора бокового обзора // Актуальные проблемы вычислительной и прикладной математики: труды Международной конференции, посвященной 90-летию со дня рождения академика Г. И. Марчука. 2015. С. 597–602.
2. Kaeser A., Litts T. An Illustrated Guide to Low-Cost Sonar Habitat Mapping v1.0. 2014. URL: <https://www.fws.gov/panamacity/resources/An%20Illustrated%20Guide%20to%20Low-Cost%20Sonar%20Habitat%20Mapping%20v1.1.pdf> (дата обращения: 22.03.2020).
3. Hamill D., Buscombe D., Wheaton J.M. Alluvial substrate mapping by automated texture segmentation of recreational-grade side scan sonar imagery // PLoS ONE. 2018. 13(3): e0194373. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0194373>
4. Goncharov A.E. An assessment of the condition of the Igarskaia Protoka on the Yenisei in 2018: side-scan sonar imagery interpretations and bathymetry // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. 2020. 822. 012041 IOP Publishing doi:10.1088/1757-899X/822/1/012041
5. Урик Роберт Дж., Основы гидроакустики. Перевод с английского Н. М. Гусева, Ю. Ф. Тарасюка, Л. Ф. Штейнмана, В. С. Яхонтовой. Ленинград: «Судостроение», 1978. 448 с.
6. Robert J. Urick, Principles of underwater sound, New York. McGraw-Hill Book Company, 1975
7. Фирсов Ю. Г. Основы гидроакустики и использование гидрографических сонаров. Санкт-Петербург: Нестор-История, 2010. 348 с.
8. Blondel P. The Handbook of Sidescan Sonar. Chichester, UK: Praxis Publishing Ltd, 2009. 316 p.
9. Kaeser A.J., Litts T.L., Tracy T.W. Using low-cost side-scan sonar for benthic mapping throughout the Lower Flint River, Georgia, USA // River Res. Applic. 2013. 29. P 634–644. doi:10.1002/rra.2556
10. Google Earth: <https://earth.google.com/> (дата обращения 15.10.2020)

**References:**

1. Porohov I.V., Sushchenko A.A., Kan V.A. Ob odnoj zadache opredeleniya donnoj poverhnosti po dannym gidrolokatora bokovogo obzora // Aktual'nye problemy vychislitel'noj i prikladnoj matematiki: trudy Mezhdunarodnoj konferencii, posvyashchennoj 90-letiyu so dnya rozhdeniya akademika G. I. Marchuka. 2015. S. 597–602. (In Russian)
2. Kaeser A., Litts T. An Illustrated Guide to Low-Cost Sonar Habitat Mapping v1.0. 2014. URL: <https://www.fws.gov/panamacity/resources/An%20Illustrated%20Guide%20to%20Low-Cost%20Sonar%20Habitat%20Mapping%20v1.1.pdf> (accessed 22.03.2020)
3. Hamill D., Buscombe D., Wheaton J.M. Alluvial substrate mapping by automated texture segmentation of recreational-grade side scan sonar imagery // PLoS ONE. 2018. 13(3): e0194373. URL: <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0194373> (accessed 15.04.2020)
4. Goncharov A.E. An assessment of the condition of the Igarskaia Protoka on the Yenisei in 2018: side-scan sonar imagery interpretations and bathymetry // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. 2020. 822. 012041 IOP Publishing doi:10.1088/1757-899X/822/1/012041
5. Urik Robert Dzh., Osnovy gidroakustiki/ Perevod s anglijskogo N. M. Guseva, YU. F. Tarasyuka, L. F. SHtejnmana, V. S. YAhontovoj, Leningrad. Sudostroenie, 1978. 448 p. (In Russian)
6. Robert J. Urick, Principles of underwater sound, New York. McGraw-Hill Book Company, 1975
7. Firsov Y. G., Osnovy gidroakustiki i ispol'zovanie gidrograficheskikh sonarov. Sankt-Petersburg: Nestor-Istoriya, 2010. 348 p. (In Russian)
8. Blondel P. The Handbook of Sidescan Sonar. Chichester, UK: Praxis Publishing Ltd, 2009. 316 p.
9. Kaeser A.J., Litts T.L., Tracy T.W. Using low-cost side-scan sonar for benthic mapping throughout the Lower Flint River, Georgia, USA // River Res. Applic. 2013. 29. P 634–644. doi:10.1002/rra.2556
10. Google Earth: <https://earth.google.com/> (accessed 15.10.2020)

## ПЕРСПЕКТИВЫ ПРИМЕНЕНИЯ НЕЙРОСЕТЕЙ ДЛЯ РЕШЕНИЯ ПРОБЛЕМ ННН-РЫБОЛОВСТВА И ПИРАТСТВА В АРКТИЧЕСКОЙ ЗОНЕ РОССИИ

Костромин Н.С., Сивова А.Н.

МГТУ им. Н. Э. Баумана, г. Москва, Россия

✉ dskostromin@gmail.com; sivovaalex@gmail.com

В данной статье рассматриваются перспективы применения нейронных сетей для решения проблем ННН-рыболовства (незаконного, неподотчетного и неконтролируемого рыболовства) и пиратства в Арктической зоне Российской Федерации. Производится краткий обзор уже реализованных подобных зарубежных приложений (Global Fishing Watch). Особое внимание акцентируется на том, что использование искусственного интеллекта для нужд Арктических вод способствовало бы в будущем безопасному преодолению Северного морского пути судами и замедлению или прекращению истощения биоресурсов. В ходе работы сделаны выводы, что нейронные сети могут помочь развитию Арктических вод как экологически (сокращение вреда морской среде посредством незаконного рыболовства), так и экономически (создание безопасного от пиратов морского пути)..

**Ключевые слова:** ННН-рыболовство (незаконное, неподотчетное и неконтролируемое рыболовство), уменьшение морских ресурсов, нейронная сеть, Арктические воды РФ, Северный морской путь, пиратство.

## PROSPECTS FOR USING NEURAL NETWORKS TO SOLVE THE PROBLEMS OF IUU-FISHING AND PIRACY IN THE ARCTIC ZONE OF RUSSIA

Kostromin Nikita, Sivova Aleksandra

BAUMAN MOSCOW STATE TECHNICAL UNIVERSITY, MOSCOW, RUSSIA

This article discusses the prospects for using neural networks to solve the problems of IUU fishing (illegal, unaccountable and uncontrolled fishing) and piracy in the Arctic zone of the Russian Federation. A brief overview of similar foreign applications that have already been implemented (Global Fishing Watch) is provided. Special attention is paid to the fact that the use of artificial intelligence for the needs of Arctic waters would contribute to the safe passage of the Northern sea route by ships and slow down or stop the depletion of bioresources in the future. The work concludes that the neural network can help the development of Arctic waters both environmentally (reducing harm to the marine environment through illegal fishing) and economically (creating a safe sea route from pirates).

**Keywords:** IUU fishing (illegal, unaccountable and uncontrolled fishing), reduction of marine resources, neural network, Arctic waters of the Russian Federation, the Northeast Passage, piracy.

Статья получена: 27.08.2020

Принята к публикации: 20.09.2020

Опубликована онлайн: 03.12.2020

### Введение

Рыбные запасы мира находятся под угрозой не только в результате интенсивной легальной рыболовной деятельности, но и в результате незаконного, несооб-

щаемого и нерегулируемого (ННН) рыболовного промысла. Трудно точно оценить общий улов от пиратского лова. Однако, одни эксперты оценивают этот показатель в 11 млн тонн в год, другие полагают, что он



может достигать 26 млн тонн, что составляет соответственно 14 и 33 процента от общего объема легального вылова рыбы и других видов морской фауны в мире в 2011 году. Эти уловы являются дополнительными к мировому ежегодному улову рыбы и другой морской фауны, который в настоящее время составляет 78,9 млн тонн [9]. В течение многих лет в оценках рыбных запасов слишком мало учитывалось ННН-рыболовство. Это проблематично, поскольку, если доля ННН-рыболовства не учитывается в расчетах, законные квоты на вылов для данного морского региона не могут быть определены правильно. Исходя из предположения, что вылавливается меньше рыбы, чем на самом деле, эксперты переоценивают размер запаса и устанавливают слишком высокие квоты на вылов в следующем году, что может привести к усилению и ускорению чрезмерной эксплуатации запаса. ННН-рыболовство также усугубляет проблему перелова, поскольку ННН-суда работают даже в морских охраняемых районах, где введен полный запрет на промысел. Они зачастую не обращают внимания на планы управления рыболовством, которые направлены на сохранение чрезмерно эксплуатируемых или истощенных запасов. Однако главная причина, по которой ННН-рыболовство является сегодня особенно важной проблемой, заключается в том, что многие рыбные запасы уже чрезмерно эксплуатируются в результате легального рыболовства. Таким образом, ННН-рыболовство создает дополнительное давление на рыбные запасы. С другой стороны, если бы управление запасами осуществлялось на устойчивой основе, то ННН-рыболовство больше не усугубляло бы и без того сложную ситуацию в той мере, в какой это происходит сегодня. Таким образом, во многих морских регионах мира незаконное рыболовство в значительной степени способствует истощению рыбных запасов, особенно в прибрежных водах развивающихся стран. В настоящее время появляется более эффективное международное сотрудничество в области контроля за рыболовными судами. Его главные цели состоят в том, чтобы сократить долю незаконного рыбо-

ловства в настоящее время, окончательно ликвидировать в будущем и найти способы рационального пользования ресурсами Мирового океана, используя как правовые, так и технические средства.

На первый взгляд может показаться, что данная проблема не грозит Арктическим водам, так как там преобладают ледники, а стоимость ледоколов более миллиарда рублей, но наблюдения 2012 года показали, что с 1980-х годов общая масса льда сократилась на 70%. По словам Питера Уадхамса, профессора Кембриджского университета, руководителя группы учёных, изучающих физику «полярных океанов», в 2012 году общая масса арктического льда составила всего 30% от уровня 80-х годов.

Его слова дополняют высказывания Романа Менделевича Вильфанда, научного руководителя Гидрометцентра России: «В 2012 году были зарегистрированы очень нестандартные рекорды. Впервые в акватории Арктики (положительная) аномалия среднегодовой температуры достигла 7 градусов. Это фантастическое значение. Даже когда средняя дневная температура отличается от нормы на 7 градусов — это заметное событие, но такое отклонение среднегодовой температуры было зафиксировано впервые». Температурная аномалия была зафиксирована в районе на севере Карского моря между Землей Франца-Иосифа и Новой Землей.

В сентябре 2012 года площадь поверхности арктического льда достигла своего ежегодного минимума, площадь которого начали регулярно измерять с 1979 года. Тогда площадь ледового минимума составила 7,0 млн кв. км. С 2002 года этот показатель начал практически ежегодно сокращаться. Только к августу 2007 года растаяло более 1 млн кв. км льда за год (составив 4,8 млн кв. км), впервые обнажив Северо-Западный проход, морской путь вдоль северного побережья Северной Америки, соединяющий Атлантический и Тихий океаны. 16 сентября 2012 году был поставлен новый рекорд минимума — 3,41 млн кв. км. Затем этот процесс несколько замедлился. В середине сентября 2017 года площадь ледового покрова со-

ставляла 4,64 млн кв. км [13].

Таким образом, из-за ускорения таяния льдов Арктики вероятность плавания в водах Арктики без дорогостоящих судов увеличивается ежегодно, а значит проблема пиратства и ННН-рыболовства будет развиваться.

### **Нейронные сети как решение.**

Сегодня благодаря развитию нейронных сетей были решены многие задачи, например, обработка естественного языка, обработка изображений (считывание номера нарушителя дорожной безопасности), распознавание рукописных символов, создание виртуальных помощников (Siri, Алиса). Всё это стало доступным за счёт использования эволюционных алгоритмов для повышения эффективности обучения нейросети. Кроме этого, нейросети нашли применения в решении проблем безопасности и экологии: было создано приложение для борьбы с ННН-рыболовством. Ранее индонезийские эксперты сообщали, что крайне трудно отследить местонахождение судов, перевозящих ННН-улов, вокруг островов и архипелагов страны. Объем незаконного вылова здесь соответственно высок и составляет 1,5 млн тонн ежегодно. Арафурское море, лежащее между Австралией и Индонезией, также сильно пострадало. После Западной Африки (40%) западно-центральная часть Тихого океана является регионом с самым высоким уровнем ННН-рыболовства в мире. В западной части Тихого океана ННН-лов составляет 34% от общего улова. Поэтому в 2017 году Индонезия стала первой страной, предоставляющей данные отслеживания судов через Global Fishing Watch — это приложение компании Google, которое предоставляет возможность мониторинга глобального коммерческого рыболовства, отслеживать рыбную деятельность в режиме реального времени через общедоступную карту.

Работа Global Fishing Watch основана на достижениях в области спутниковых технологий, облачных вычислений и машинного обучения. Процесс начинается с отслеживания судна. Global Fishing Watch использует несколько систем слежения

за судами: автоматическую систему идентификации (АСИ), устройства, подобные GPS, которые большие суда используют для трансляции своего местоположения, чтобы избежать столкновений. По оценкам, на суда с АСИ приходится более половины добычи рыбы в 100 морских милях от берега и до 80% добычи в открытом море. АСИ предоставляет данные, а Global Fishing Watch запускает эти данные через две нейронные сети, используя компьютерные алгоритмы для анализа больших наборов данных. Более чем 300 000 судов в день проходят через классификаторы машинного обучения.

С помощью карты Global Fishing Watch правительства стран могут выявить и принять меры в отношении судов, которые не имеют права заниматься добычей рыбы или которые добывают её в охраняемых районах. А исследователи могут изучать воздействие рыболовства на состояние Мирового океана, выявлять уязвимые районы и защищать морскую среду [5, 11].

Таким образом, возникает вопрос: можно ли данный зарубежный опыт использовать в водах Арктической зоны Российской Федерации и рационально ли это? Ведь незаконное рыболовство достаточно критично в северо-западной части Тихого океана, особенно в западной части Берингова моря. Здесь ННН-рыболовство в основном практикуется Китаем и Россией и составляет 33% улова [1, 9].

### **Материалы и методы исследования.**

Для достижения поставленной цели выполнен литературный обзор международных подобных систем, экспертных интервью и анализ применимости данной системы в условиях Российской Арктики. Также внимание уделяется не только возможным проблемам, которые могут появиться при создании системы для Арктических вод, но и путям их решения.

### **Возникающие проблемы.**

Одной из главных проблем в использовании системы в данной зоне является ненадежность технологии GPS в Арктике [7, 8].

Во-первых, это связано с орбитальным наклоном задействованных спутников.

Спутники находятся на одной из шести орбитальных плоскостей с наклоном около 64,8 градусов (данный наклон характерен GLONASS - спутниковой навигационной системе Россия). Северный полярный круг начинается примерно на 66,5 градусах северной широты. На этих высоких широтах в любой момент времени всё еще видны несколько спутников, но они никогда не проходят прямо над головой. Фактически, при использовании GPS прямо на полюсе, высота самого высокого GPS спутника, который вы сможете увидеть, составляет примерно 45 градусов над горизонтом.

Во-вторых, это связано с тем, что в Арктическом регионе ощущается большая активность ионосферы, которая колеблется в зависимости от солнечного цикла. Каждые 11 лет наблюдается подъем ионосферной активности, которая может создавать прекрасные северные сияния, но также вызывает множество проблем с электроникой в целом, так как GPS-спутники не являются непроницаемыми для ионосферной активности, которая может вызывать сцинтилляцию (мерцания) сигнала, создавая изменения в амплитуде и фазе сигналов. Это может привести к ошибкам синхронизации, что затем приводит к ошибкам в расчетах позиционирования.

Однако для решения проблем арктической навигации было предложено много решений. Одним из таких решений является реализация многоканальных частот L-диапазона в системах спутниковой навигации. Это позволит получать больше данных для расчета местоположения и поможет преодолеть ионосферные помехи, если используется несколько частот.

Инерциальные навигационные системы (INS) также могут быть сопряжены со спутниковой навигацией, что может компенсировать пробелы в данных во время сцинтилляции. Тем не менее, INS обладают склонностью испытывать трудности в поддержании точного направления, но это несущественно, если сцинтилляционные нарушения происходят в относительно коротких всплесках.

Наконец, для повышения точности GPS в Арктике также может быть реализовано

увеличение спутниковых созвездий на средних орбитах Земли. Системы расширения, такие как Wide Area Augmentation System (WAAS) в США, используются в дополнение к GPS для обеспечения еще более точных данных позиционирования, в особенности, они адаптированы для авиации.

Таким образом, для создания системы мониторинга судов первоначально необходимо создать надёжную GPS навигацию, которая также будет способствовать развитию Северного морского пути, то есть экономики РФ [2, 6].

Ещё одной проблемой является отсутствие дешёвых и стабильных сети Интернет и связи, что затрудняет взаимодействие между моряками, лётчиками, учёными, работниками различных предприятий и госучреждений, а также с нейросетью, которой необходим доступ в Интернет, например, для вызова морской охраны для задержания рыбных браконьеров или пиратов. Однако и эта проблема уже решается: известная российская телекоммуникационная компания «Мегафон» начала строить сеть связи в Арктике [4]. По мнению сотрудников «Мегафон», на её создание может уйти три года и более \$1 млрд.

Получается, что основные проблемы, возникающие при создании системы, планируются быть решены в ближайшие несколько лет, что позволяет говорить о возможности и перспективности создания системы мониторинга судов в водах Арктики на основе нейронной сети и GPS для предотвращения истощения биоресурсов.

### **Описание работы системы.**

Более подробно разберём реализацию данной системы, что необходимо для её разработки.

Вся модель состоит из судов, GPS-спутника, спутниковой системы мониторинга судов, наземной спутниковой станции, центра мониторинга судов, судна морской охраны (рис. 1).

Каждое рыболовецкое судно должно быть снабжено АСИ, посредством которого определяется местонахождение судна. Данные о местонахождении судна

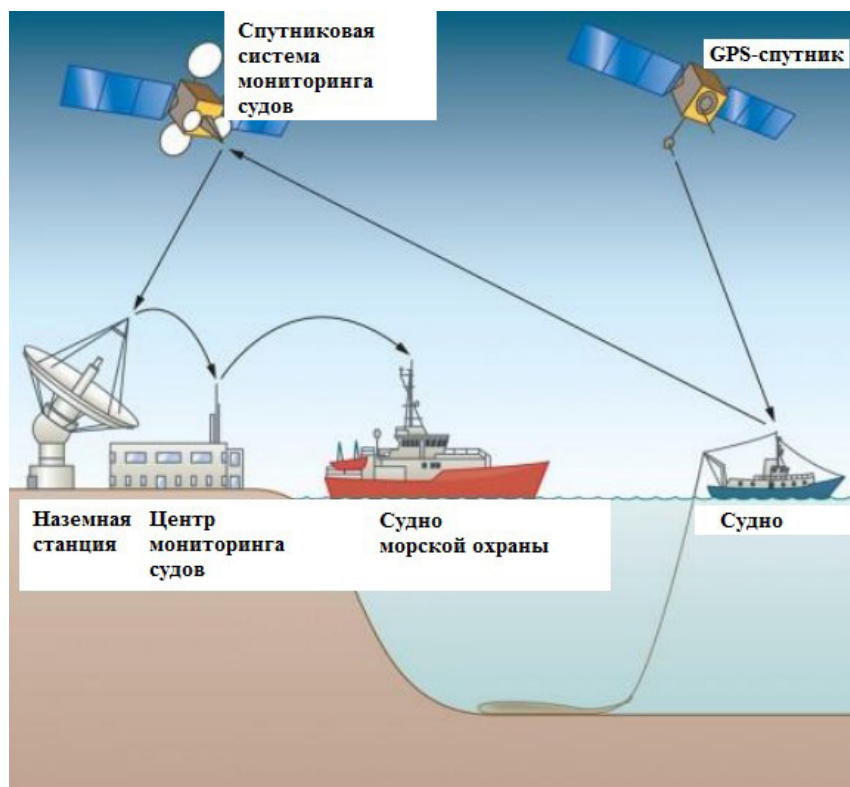


Рисунок 1 – Схема работы системы.

принимаются наземной спутниковой станцией и отправляются в центр мониторинга рыболовства, отвечающий за район, в котором судно в настоящее время ведет промысел, где посредством нейронной сети определяется законно или нет ведётся рыболовство. Нейросети должны определить, снабжено ли судно АСИ, тип судна (грузовое или буксирное судно, парусная или рыбацкая лодки), его размер, используемые орудия лова (ярусный лов, невод, рыболовный трал), и где и когда он ловит на основе его моделей движения для подтверждения данных с АСИ. Анализ данных происходит с использованием методов распознавания объектов на картинке [3] (классификация вида орудия лова, типа судна), сопоставление данных с GPS центра мониторинга и всех судов (наличие АСИ на судне), евклидовой геометрии (определение размеров судна ( $d$  на рис. 2), зная расстояния до противоположных концов судна ( $a, b$ ) и медиану( $m$ )).

Стоит отметить, что приведённая схема для расчёта размера  $d$  грубая, так как на самом деле GPS определяет не один спутник, а сразу несколько, благодаря чему достигается наибольшая точность. Известные параметры треугольника ( $a, b, m$ ) являются косвенными вычислениями.

Дальнометрия в GPS основана на вычислении расстояния по временной задержке распространения радиосигнала от спутника к приемнику, то есть параметры находятся через время, за которое сигнал доходит до спутника от объекта с GPS-приёмником, и скорость сигнала (скорость света  $c$ ):

$$a = t_a * c$$

$$b = t_b * c$$

$$m = t_m * c$$

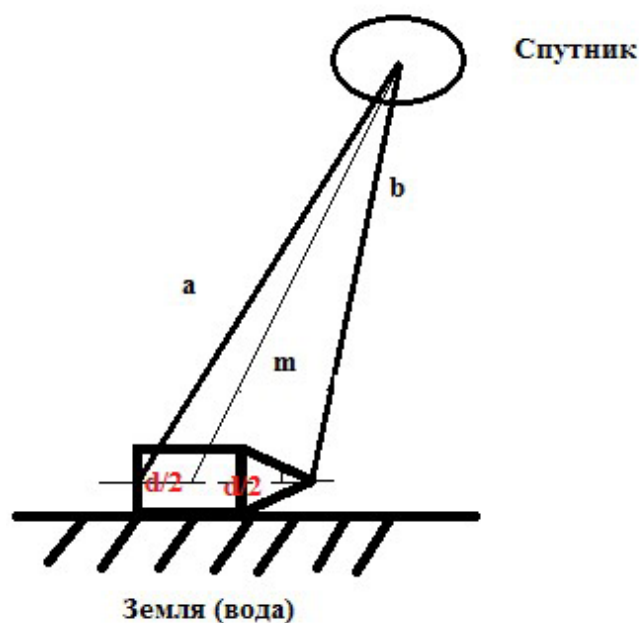


Рисунок 2 – Схема для расчёта длины судна через три параметра.

Выведем формулу для размера  $d$ . Для этого воспользуемся формулой для вычисления медианы треугольника и выразим искомую длину  $d$ :

$$m^2 = \frac{2 * a^2 + 2 * b^2 - d^2}{4}$$

$$d^2 = 2 * a^2 + 2 * b^2 - 4 * m^2$$

$$d = \sqrt{2 * a^2 + 2 * b^2 - 4 * m^2}$$

Также размер судна можно определять с помощью спутниковых снимков (рис. 3). Чтобы это сделать воспользуемся соотношением:

$$\frac{d}{d_{\text{снимка}}} = \frac{\text{max\_scale}}{\text{scale}_{\text{снимка}}}$$

$$d = d_{\text{снимка}} * \frac{\text{max\_scale}}{\text{scale}_{\text{снимка}}}$$

$$d = d_{\text{снимка}} * \text{scale}$$

После подготовки математических вычислений происходит «обучение» алгоритма, для этого необходимо будет вручную классифицировать тысячи различных судов. Но, в итоге, использование облачных вычислений, равномерно распределенных по тысячам машин, позволит

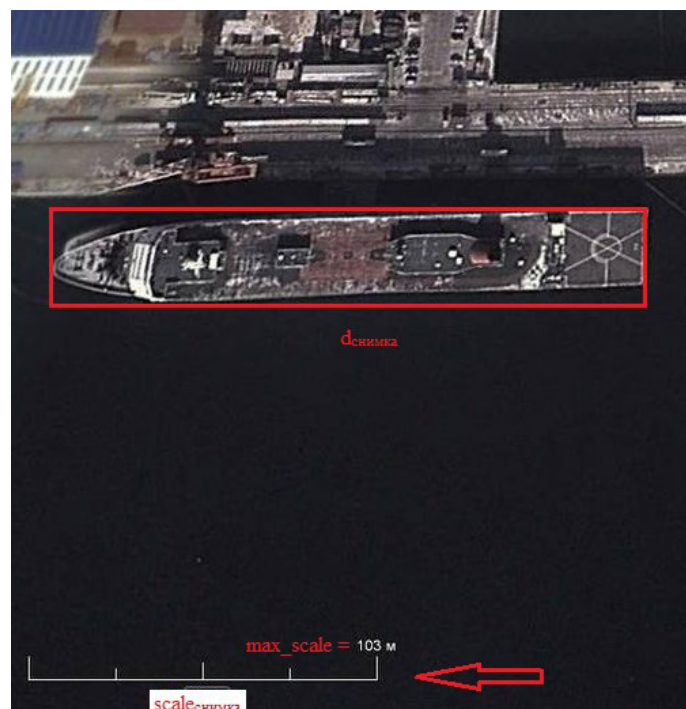


Рисунок 3 – Спутниковый снимок для расчёта длины судна через масштаб [12].

применять это обучения ко всему набору данных.

Следовательно, примерный принцип работы системы следующий: с каждого судна в центр мониторинга через спутники отправляются данные с АСИ, в это время нейросеть центра мониторинга сопоставляет количество АСИ и судов в водах, распознанных, например, по спутниковым снимкам. Если эти цифры отличаются, то запускается программа для поиска судна без АСИ и координаты правонарушителя передаются судну морской полиции, которые должны принять соответствующие меры по отношению к гражданам судна. Однако, чтобы не отправлять морскую полицию к судам нерыболовного, а, например, туристического или частного назначения, частью работы нейросети является и распознавание наличия на судне орудий для лова. Причём данная процедура повторяется постоянно.

### Результат.

В ходе исследования был сделан вывод, что Российская Арктика будет иметь всё необходимое для создания подобных устройств в скором времени: решение проблем навигации, оптоволоконные линии для мобильной связи и доступа в сеть Интернет, интерес к данной проблеме со стороны учёных, бизнесменов и правительства РФ (создание налоговых льгот, программа «Дальневосточный гектар», оплата труда выше среднего) [10].

### Выводы.

Первоначально для создания подобного приложения для Арктических вод необходимо решить проблему навигации в Арктике, так как одной из составляющих системы является качественное определение местоположения и распознавания судна. Далее необходимо обязать судна использовать специальные датчики местоположения и контролировать количество разрешённой им для вылова и реально выловленной рыбы в портах. После нейросеть распознаёт судно, найденное в водах, и сопоставляет с базой данных с АСИ судов. Если судно незаконно плавает в водах, то к нему вызывается морская полиция или ожидает их на суше для вы-

яснения обстоятельств правонарушения и возможного задержания.

Стоит отметить, что с каждым годом увеличивается таяние льдов, поэтому пробле-

ма рыбного браконьерства и пиратства будет усугубляться. Разработка и внедрение данной технологии позволит снизить вышеописанные правонарушения.

### Список литературы:

1. Бекашев К.А., Л. П. Ануфриева, Устинов. Международное публичное право : учеб. - 4-е изд., перераб. и доп. - М. : ТК Велби, Изд-во Проспект. - 784 с.. 2005
2. Белый О.В., Скороходов Д.А., Стариченков А.Л. Северный морской путь: проблемы и перспективы. // Транспорт Российской Федерации. 2011. Т. 32. № 1. С. 8-12.
3. Бенджио Ио., Гудфеллоу Я., Курвилль А. Глубокое обучение. – М.: ДМК Пресс, 2018. – 652 с.
4. Кинякина Е. «Мегафон» начал строить сеть связи в Арктике. URL: <https://www.vedomosti.ru/technology/articles/2020/07/19/834927-megafon-nachal-stroit> (дата обращения: 15.08.2020г.)
5. Костромин Н.С., Сивова А.Н. Применение методов машинного обучения для решения экологических задач. // Modern Science. 2019. № 5-3. С. 144-148.
6. Статуто А. И. Обзор роли Арктического судоходства и обеспечения его экологической безопасности. // Российская Арктика №2(9) 2020. С. 5-17.
7. Dubois Ch. The Limits of Satellite Navigation: GPS Challenges in the Arctic– 2018. URL: [https://www.allaboutcircuits.com/news/navigating-the-arctic-why-gps-might-fail-you/?utm\\_source=All+About+Circuits+Members&utm\\_campaign=3ea6ba1741-EMAIL\\_CAMPAIGN\\_2018\\_07\\_25\\_04\\_57&utm\\_medium=email&utm\\_term=0\\_2565529c4b-3ea6ba1741-270450513/](https://www.allaboutcircuits.com/news/navigating-the-arctic-why-gps-might-fail-you/?utm_source=All+About+Circuits+Members&utm_campaign=3ea6ba1741-EMAIL_CAMPAIGN_2018_07_25_04_57&utm_medium=email&utm_term=0_2565529c4b-3ea6ba1741-270450513/) (дата обращения: 14.08.2020г.)
8. Jensen A., Sicard J. Challenges for Positioning and Navigation in the Arctic – 2010. URL: <https://mycoordinates.org/challenges-for-positioning-and-navigation-in-the-arctic/> (дата обращения: 14.08.2020г.)
9. WOR 2 The Future of Fish - The Fisheries of the Future – 2013. URL: <https://worldoceanreview.com/en/wor-2/fisheries/illegal-fishing/> (дата обращения: 16.08.2020г.)
10. Официальный сайт Министерства Российской Федерации по развитию Дальнего Востока и Арктики. URL: <https://minvr.gov.ru> (дата обращения: 18.08.2020г.)
11. Официальный сайт Global Fishing Watch. URL: [www.globalfishingwatch.org](http://www.globalfishingwatch.org) (дата обращения: 16.08.2020г.)
12. Официальный сайт Google Earth. URL: <https://www.google.com/earth/> (дата обращения: 18.08.2020г.)
13. Ускорение таяния льдов Арктики и Антарктики. Изменение климата. // Информационно-аналитический портал GeoCentre.info. URL: <https://geocenter.info/article/uskorenie-tajanija-ldov-arktiki-i-antarktiki-izmenenie-klimata> (дата обращения: 18.08.2020г.)

### References:

1. Bekyashev KA, LP Anufrieva, Ustinov. International public law: textbook. - 4th ed., Revised. and add. - M.: TK Welby, Prospect Publishing House. - 784 s.. 2005
2. Bely O. V., Skorokhodov D. A., Starichenkov A. L. Northern Sea Route: Problems and Prospects. // Transport of the Russian Federation. 2011. T. 32. No.1. S. 8-12.
3. Bengio Io., Goodfellow J., Courville A. Deep learning. - M.: DMK Press, 2018. -- 652 p.
4. Kinyakina E. "Megafon" began to build a communication network in the Arctic. URL: <https://www.vedomosti.ru/technology/articles/2020/07/19/834927-megafon-nachal-stroit> (date accessed: 15.08.2020)
5. Kostromin N.S., Sivova A.N. Application of machine learning methods for solving environmental problems. // Modern science. 2019. No. 5-3. S. 144-148.
6. Statuto AI Review of the role of Arctic shipping and ensuring its environmental safety. // Russian Arctic №2 (9) 2020. P. 5-17.
7. Dubois Ch. Satellite Navigation Limitations: GPS Challenges in the Arctic - 2018. URL: [https://www.allaboutcircuits.com/news/navigating-the-arctic-why-gps-might-fail-you/?utm\\_source=All+About+Chains+Members&utm\\_campaign=3ea6ba1741-EMAIL\\_CAMPAIGN\\_2018\\_07\\_25\\_04\\_57&utm\\_medium=email&utm\\_term=0\\_2565529c4b-3ea6ba1741-270450513/](https://www.allaboutcircuits.com/news/navigating-the-arctic-why-gps-might-fail-you/?utm_source=All+About+Chains+Members&utm_campaign=3ea6ba1741-EMAIL_CAMPAIGN_2018_07_25_04_57&utm_medium=email&utm_term=0_2565529c4b-3ea6ba1741-270450513/) (date accessed: 08/14/2020)
8. Jensen A., Sikard J. Problems of Positioning and Navigation in the Arctic - 2010. URL: <https://mycoordinates.org/challenges-for-position-and-navigation-in-the-arctic/> (date accessed: 14.08.2020)
9. WOR 2 The Future of Fish - Fishing of the future - 2013. URL: <https://worldoceanreview.com/en/wor-2/fisheries/illegal-fishing/> (date accessed: 16.08.2020)
10. Official website of the Russian Federation for the development of the Official East and the Arctic. URL: <https://minvr.gov.ru> (date of access: 18.08.2020)
11. Official website of Global Fishing Watch. URL: [www.globalfishingwatch.org](http://www.globalfishingwatch.org) (date accessed: 16.08.2020)
12. Official site of Google Earth. URL: <https://www.google.com/earth/> (date accessed: 18.08.2020)
13. Acceleration of ice melting in the Arctic and Antarctic. Climate change // Information and analytical portal GeoCentre.info. URL: <https://geocenter.info/article/uskorenie-tajanija-ldov-arktiki-i-antarktiki-izmenenie-klimata> (date of accessed: 18.08.2020)

УДК 551.46.065

DOI: 10.24411/2658-4255-2020-12514

## БИБЛИОТЕКА PYHUM

---

П.Н. Веревкин<sup>1</sup>, А. А. Кузнецов<sup>2</sup>, А.Е. Гончаров<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Студент, кафедра технической физики. Сибирский государственный университет науки и технологий имени академика М. Ф. Решетнёва, г. Красноярск, Россия.

<sup>2</sup> Д-р физ.-мат. наук, профессор, директор научно-образовательного центра "Институт космических исследований и высоких технологий". Сибирский государственный университет науки и технологий имени академика М. Ф. Решетнёва, г. Красноярск, Россия.

<sup>3</sup> Канд. ист. наук, доцент кафедры технического иностранного языка. Сибирский государственный университет науки и технологий имени академика М. Ф. Решетнёва, г. Красноярск, Россия.

✉ verevkinpavel1997@mail.ru, kuznetsov@sibsau.ru, goncharovae@sibsau.ru

В статье представлены результаты применения библиотеки с открытым исходным кодом PyHum для декодирования и анализа данных, получаемых с гидролокаторов фирмы Humminbird. Рассмотрена структура кода, функционал, а также достоинства и недостатки данной библиотеки в сравнении проприетарным программным обеспечением. В итоге проделанной работы мы пришли к выводу, что библиотека PyHum является удобным и функциональным инструментом для анализа данных, в то время как проприетарное программное обеспечение имеет ограниченный функционал. Открытый код PyHum позволяет расширять функциональные возможности данной библиотеки. В ближайшем будущем мы планируем переписать код данной библиотеки на языке Python 3, поскольку поддержка Python 2 в настоящее время прекращена.

**Ключевые слова:** гидролокатор бокового обзора, Humminbird, библиотека PyHum, дистанционное зондирование, затонувшие корабли.

---

## THE PYHUM LIBRARY

P.N. Verevkin<sup>1</sup>, A.A. Kuznetsov<sup>2</sup>, A.E. Goncharov<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Undergraduate student, Department of Technical Physics. Reshetnev Siberian State University of Science and Technology, Krasnoyarsk, Russia.

<sup>2</sup> D.Sc., Institute of Space Research and High Technologies, CEO. Reshetnev Siberian State University of Science and Technology, Krasnoyarsk, Russia.

<sup>3</sup> Cand.Sc., Department of Humanities, docent. Reshetnev Siberian State University of Science and Technology, Krasnoyarsk, Russia.

The article presents the results of using the PyHum open source library for decoding and analyzing data received from Humminbird sonars. The structure of the code, functionality, as well as the advantages and disadvantages of this library in comparison with proprietary software are considered. As a result of the work done, we came to the conclusion that the PyHum library is a convenient and functional tool for data analysis, while the proprietary software has limited functionality. PyHum is open source to extend the functionality of this library. In the near future, we plan to rewrite the code of this library in Python 3, since support for Python 2 is currently discontinued.

**Keywords:** side-scanning sonar, Humminbird, PyHum library, remote sensing, shipwrecks.

---

Статья получена: 13.10.2020

Принята к публикации: 26.11.2020

Опубликована онлайн: 21.12.2020

---

© P.N. Verevkin, A.A. Kuznetsov, A.E. Goncharov

This in an open access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution License (CC-BY 4.0)

## Введение

Ценность арктических водных ресурсов не только природная, но и историческая. В решении вопроса об исследовании богатейшего подводного мира водоемов Крайнего Севера, важнейшим инструментом являются гидроакустические системы. Для интерпретации данных с различных гидроакустических устройств, главным образом гидролокаторов бокового обзора (ГБО), используется комплекс специализированных программ.

В настоящее время в Сибирском государственном университете науки и технологий имени академика М.Ф. Решетнева реализуется междисциплинарный проект «Географическая информационная система «Енисей–Арктика» [1].

Часть исследователей проекта занимается сбором полевых данных при помощи гидроакустических систем. Собранные данные кодируются и хранятся в двоичном 8-ми битном виде. Это дает возможность существенно уменьшить объем памяти, необходимой для хранения данных. Полученные данные можно дешифровать и произвести осмотр дна непосредственно на самом устройстве. В тоже время, зная алгоритм кодирования данных, их можно декодировать и провести дальнейший анализ

при помощи стороннего программного обеспечения. Решение подобных задач требует как правило большого количества вычислительных ресурсов. Для этой цели мы задействовали специальный комплекс, состоящий из нескольких компьютеров – вычислительный кластер [2]. Этот подход позволяет существенно сократить время обработки данных, однако возникает необходимость создания параллельных алгоритмов и программ, адаптированных к использованию на многопроцессорных вычислительных системах. Новые алгоритмы дадут возможность распознавать заданные объекты на изображении.

Одним из устройств для исследования в данной области является приобретенный прибор, обеспечивающий возможность совмещения «эхолота» с гидролокатором бокового обзора Onix 8 sxi SI Combo от фирмы Humminbird (Рис. 1). Данный аппарат при сравнительно невысокой цене, малых габаритах и мощности звукового излучения не уступает по качеству визуализации своим более дорогим «собратьям» и моделям других производителей [3]. Несмотря на то, что данное устройство позиционируется как устройство для рыбалки, его вполне можно использовать как вспомогательный инструмент для поиска подводных объектов [4].

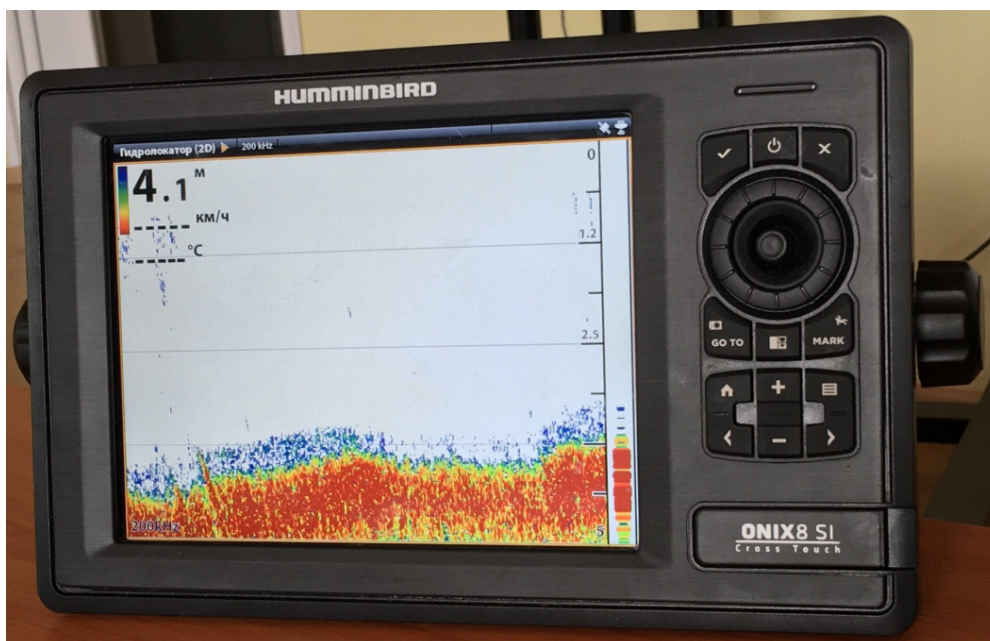


Рисунок 1 – Onix 8 sxiSICombo от фирмы Humminbird.



## Работа гидролокатора

Среди множества устройств для изучения дна водоемов бесконтактными методами наиболее практичными являются гидролокаторы и эхолоты. Используя принципы гидроакустики, эти устройства позволяют обнаружить подводные объекты. В таблице 1 представлены сведения о зависимости дальности действия от частоты акустического сигнала [5].

Таблица 1

Зависимость дальности действия от частоты акустического сигнала.

Частота акустического сигнала, кГц	Длина волны акустического сигнала, м	Дальность действия, км
0,1	15	1000 и больше
1	1,5	100 и больше
10	0,15	10
25	0,06	3
50	0,03	1
100	0,015	0,6
500	0,003	0,15
1000	0,0015	0,05

При работе эхолота от излучателя (трансдюсера), расположенного вертикально относительно дна водоема, посылается звуковой сигнал определенной частоты. Этот сигнал отражается (в идеале) от донного объекта. Устройство считает время между отправлением и прибытием сигнала, а после считается глубина, которую прошел сигнал. Далее данные о глубине записываются и цикл повторяется. Однако наибольший интерес представляют гидролокаторы бокового обзора.

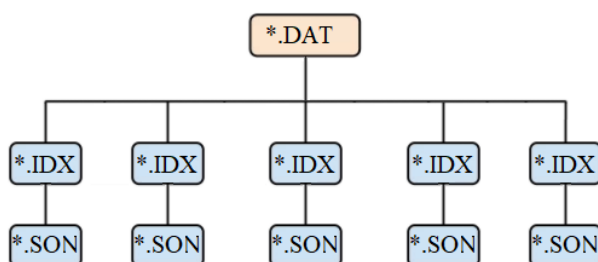


Рисунок 2 – Структура файлов на памяти гидролокатора бокового обзора.

Эти устройства могут излучать звуковые волны по 5 лучей разной направленности, которые, в свою очередь, имеют разные углы и частоты. Один луч обязательно расположен вертикально, другие – по бортам судна. Humminbird Onix 8 cxi SI Combo имеет встроенную функцию ГБО.

## Кодирование данных

Рассматриваемые гидролокаторы от Humminbird записывают данные с 5 лучей разной направленности и частоты. Эти данные представляют собой зашифрованные двоичные 8 битные файлы.

В качестве примера структура файлов в памяти гидролокатора Onix Humminbird представлена на Рис. 2.

Исходя из Рис. 2 и 3, в памяти устройства имеется три типа файлов: .DAT, .IDX, .SON. Каждый тип файла рассмотрим по отдельности. Самый первый тип файла \*.DAT. Для всех моделей этот файл является бинарным и его требуется расшифровывать. Для модели Onix его можно открыть обычным текстовым редактором и увидеть всю информацию, потому что кодировка данного файла сопоставима с таблицей ASCII. В нем содержится базовая информация о сонаре: время начальной записи, начальной позиции и настройки сонара. Полный список параметров, которые можно извлечь из этого файла [6]:

1. Код воды (water code) – определяет тип воды по значениям: '0' – свежая вода (freshwater), '1' – очень соленая вода (deep salt), '2' – слабосоленая вода (shallow salt), '3' – неизвестная соленость воды (unknown).

2. Название эхолота (sonar name) – числовой код сообщаемый прибором.

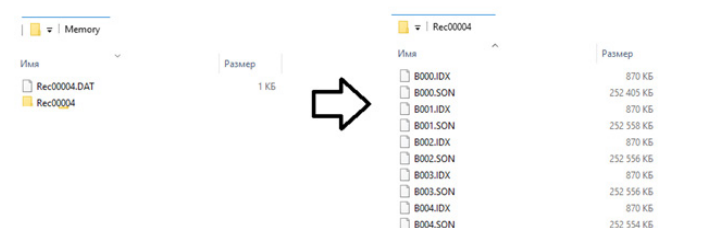


Рисунок 3 – Вид файлов гидролокатора бокового обзора в корневой папке.

3. Время unix (unix time) – время в секундах по Unix.

4. Универсальная поперечная проекция Меркатора (utm x coordinate).

5. Универсальная поперечная проекция Меркатора (utm y coordinate).

6. Имя файла (filename) – название файла \*.DAT.

7. Количество сигналов (pings number of records) – количество сигналов (pings) в \*.SON файлах.

8. Время между двумя записями (record length) – промежуток времени между последовательными записями.

9. Количество байтов в строке для ping (line size) – количество байтов нужные для кодирования одного ping в \*.SON файле.

В основном, в \*.DAT файле самая важная информация касательно данных это: количество отправленных-принятых сигналов (ping) и количество байт (line size), используемых для записи одного такого сигнала.

Файлы \*.IDX идут неразрывно с файлами \*.SON, каждому файлу \*.SON соответствует свой файл \*.IDX. Дело в том, что в \*.IDX содержится информация об индексах последовательных сигналов (pings) в соответствующем файле \*.SON. Под индексом подразумевается номер байта в файле \*.SON. То есть, если есть необходимость прочитать 5-й сигнал, то из файла \*.IDX берется значение байта для 5-го сигнала и считывается информация в \*.SON согласно длине записи одного сигнала (line size).

В файлах \*.SON содержатся записан-

ные эхограммы. Параметры, которые можно извлечь из данного файла:

1. Координаты (широту UTM x coordinate, долготу UTM y coordinate).

2. Время в миллисекундах.

3. Частоту луча (=0, 50 or 83 kHz; =1 200 kHz; =2 SI Port; =3 SI Starboard).

4. Длину предложения – количество байт, которые отводятся на 1 эхограмму. Читаются они через заголовок. Заголовок – это последовательность байтов, где каждый байт несет в себе информацию о глубине, частоте и так далее.

5. Глубину в сантиметрах.

6. Скорость передвижения лодки в см/сек.

Стоит также отметить, для алгоритмов дешифрирования компания Humminbird использует побитовый сдвиг.

## Программы для чтения

Для декодирования записанных данных на гидролокаторах фирмы Humminbird используются следующие программы: Reefmaster, HumViewer и PyHum.

Reefmaster – это коммерческое приложение для персональных компьютеров [7] на базе операционной системы Windows, которое использует данные из файлов журнала эхолота для создания трехмерных подводных карт в сочетании с многоканальным средством просмотра эхолота и графическим управлением путевыми точками (Рис.4). Больше позиционируется как программа для рыболовов.

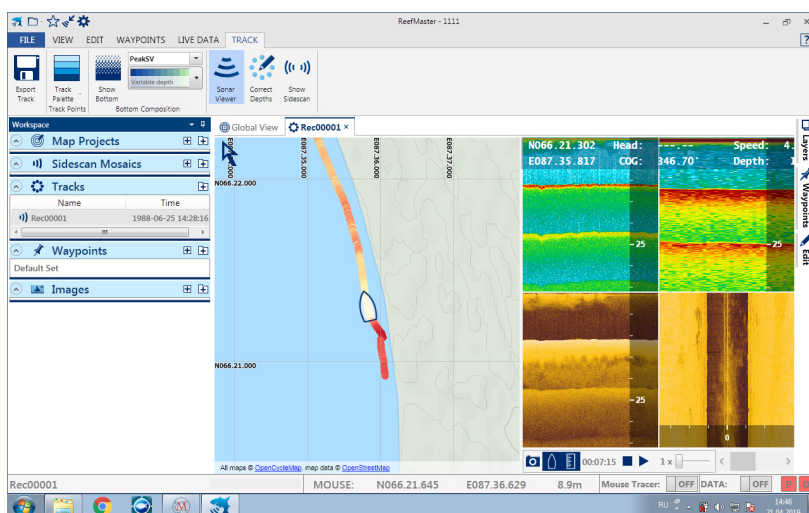


Рисунок 4 – Трек движения судна в программе Reefmaster.

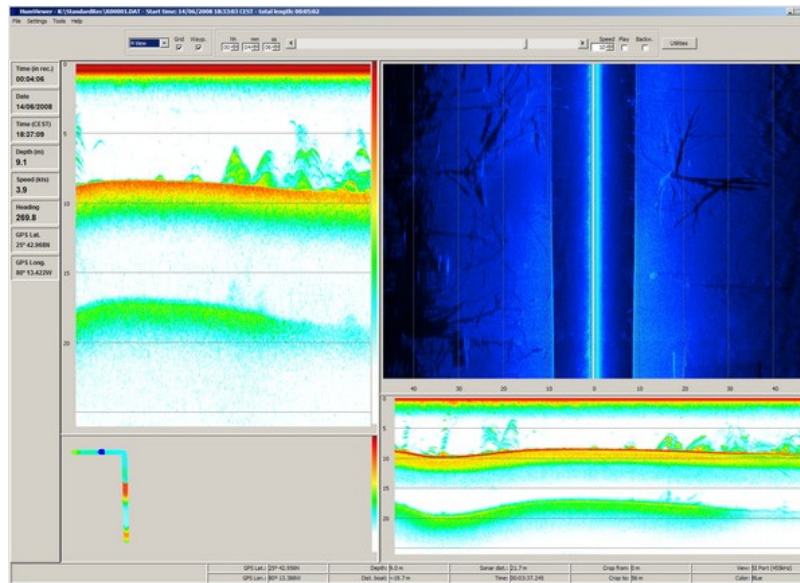


Рисунок 5 – HumViewer пример работы в программе.

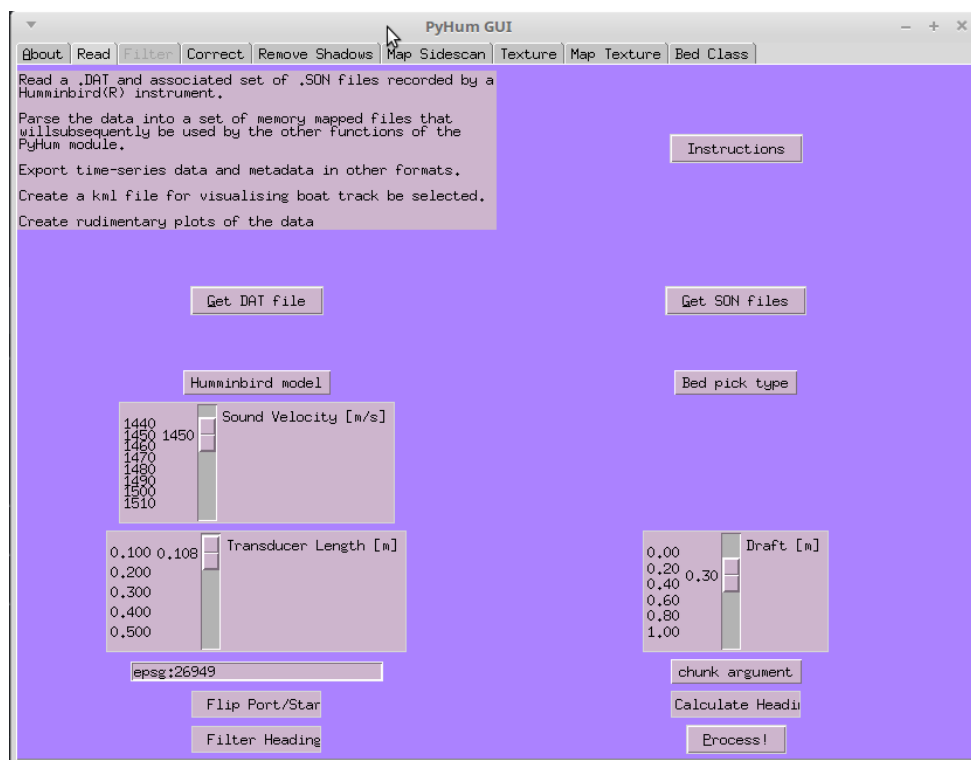


Рисунок 6 – GUI интерфейс библиотеки PyHum.

HumViewer — это бесплатная программа [8] для просмотра записей эхолотов Humminbird (Рис. 5). Устанавливается под операционными системами Windows и MacOS. Модель гидролокатора Humminbird ONIX не поддерживается. Главный минус данной программы – закрытый исходный код и ограниченный функционал программы; в целом, она может использоваться для просмотра файлов, а не их анализа.

И последняя программа для расшифровки данных называется PyHum [9]. Это программа с открытым исходным кодом, написанная на языке

программирования Python. Она совместима с большинством моделей гидролокаторов фирмы Humminbird. Данная программа имеет модульный набор инструментов (Рис. 6) и обширный функционал для первичной и вторичной обработки данных. Возможность бесплатного приобретения и доработки кода, а также исследование новых алгоритмов, предоставленных разработчиком Даниэлем Бускомбом (Daniel Buscombe) имеет свою ценность. Поэтому данная программа рассматривается как основная для расшифровки данных с гидролокаторов Humminbird.

## Исследование библиотеки PyNum

В процессе исследования данной библиотеки были выявлены следующие недостатки: медленная скорость работы языка Python, которую разработчики попытались компенсировать, используя доработку языка CPython и многопоточность. CPython способен увеличить скорость работы программы, написанной на языке Python на 20%. Использование параллельных библиотек позволяет ускорить программу, однако это приводит к увеличению объема используемой оперативной памяти, которой может не хватить для завершения декодирования. В зависимости от конфигурации компьютера можно выбрать оптимальное количество процессов, дающее максимальное ускорение и не приводящее к переполнению объема оперативной памяти.

Другая проблема библиотеки в том, что разработчики с 2019 г. не поддерживают программу, не развивают ее, и она в плане языка Python уже устаревает, так как написана на Python 2.7 версии. Это создает некоторые проблемы при установке программы, подборе пакетов для ее нормального функционирования. Однако, несмотря на эти недостатки, PyNum имеет богатый функционал для работы с данными от гидролокаторов фирмы Humminbird.

Функционал библиотеки PyNum представлен в виде модульной структуры [10]:

1. «Read» – модуль чтения, декодирует необработанные данные, содержащиеся в файлах \*.SON, для создания временного ряда данных.

2. «Correct» – модуль корректировки, применяет основные геометрические и радиометрические поправки для учета воздействия условий окружающей среды (например, звукопоглощения) и настроек эхограмм (например, уровня сигнала и диаграммы направленности).

3. «Remove Shadows» – модуль удаления теней, используется для визу-

ального сегментирования и удаления областей, лишенных текстуры (например, водяного столба и акустических теней), которые существуют в ближнем и дальнем полях эхограммы.

4. «Map Sidescan» – модуль карты, используется для проецирования откорректированной и отфильтрованной эхограммы в известную систему координат с использованием информации о местоположении и навигации, собранной с помощью прилагаемой GPS-антенны, в единицах децибел ватт (дБВт). В [11] подробно изложены методы обработки данных и акустические поправки, закодированные в программном обеспечении.

5. «Texture» – модуль текстуры, считает радиометрические скорректированные данные Humminbird, выполняет текстовый анализ, используя спектральный метод [11]. Данные разбиваются на ячейки и в каждом окне анализируются спектрально, чтобы вычислить масштаб длины текстуры для каждого окна.

6. «Map Texture» – модуль позволяет загружать фрагменты бокового сканирования и создавать облако точек с пространственно привязанными значениями масштаба длины текстуры. Создает файлы с расширением \*.kml, которые рассчитаны по эхограммам бокового обзора.

7. «Bed Class» – анализ первого коэффициента  $e_1$  – «шероховатость» и второго  $e_2$  – «твердость», эхо возвращается от высокочастотного направленного вниз эхолота. Генерирует обобщенные акустические параметры в целях точечной классификации погруженных субстратов/растительности. Создает некоторые элементарные графики KML файла и текстовые файлы.

Если обобщить, то получается, что PyNum позволяет читать данные в первичном виде, позволяет извлекать данные о местоположении, скорости судна, глубине, времени, извлекать трек движения. Но самое главное – можно удалять ненужные тени со снимков и производить сглаживание, различные корректировки, делая

изображение более читаемым. Стоит также обратить внимание, что в программе есть алгоритм, позволяющий определять тип грунта. Также в библиотеку встроена “защита от ошибок”, касающаяся файлов \*.IDX. Заключается она в том, что если файлы \*.IDX отсутствуют или повреждены, то их можно создать самому благодаря алгоритму Кнута-Морриса-Пратта. Алгоритм позволяет отыскать начало каждого сигнала в файле \*.SON по записи строки целых чисел [192, 222, 171, 33, 128] и восстановить файлы \*.IDX.

В процессе декодирования данных с Humminbird ONIX с помощью библиотеки PyNim было обнаружено затонувшее судно в Игарской протоке. Длина корабля 80 метров и ширина 14 м (Рис. 7).

На снимке четко видны очертания корабля. Мы предполагаем, что это баржа 1930–50-х годов.

Итоги исследования и перспективы развития.

В итоге проделанной работы мы пришли к выводу, что библиотека PyNim является удобным и функциональным инструментом для анализа данных, получаемых с гидролокаторов от фирмы Humminbird, в то время как проприетарное программное обеспечение имеет ограниченный функционал. Открытый код PyNim позволяет расширять функциональные возможности данной библиотеки. В 2021 году мы планируем переписать код данной библиотеки на языке Python 3, поскольку поддержка Python 2 в настоящее время прекращена.

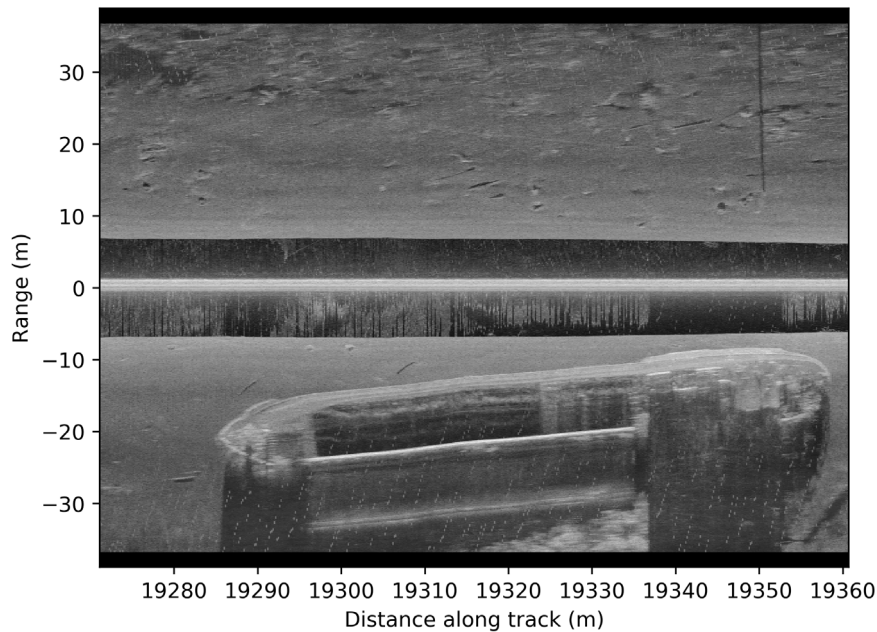


Рисунок 7 – Затонувший корабль через PyNim.

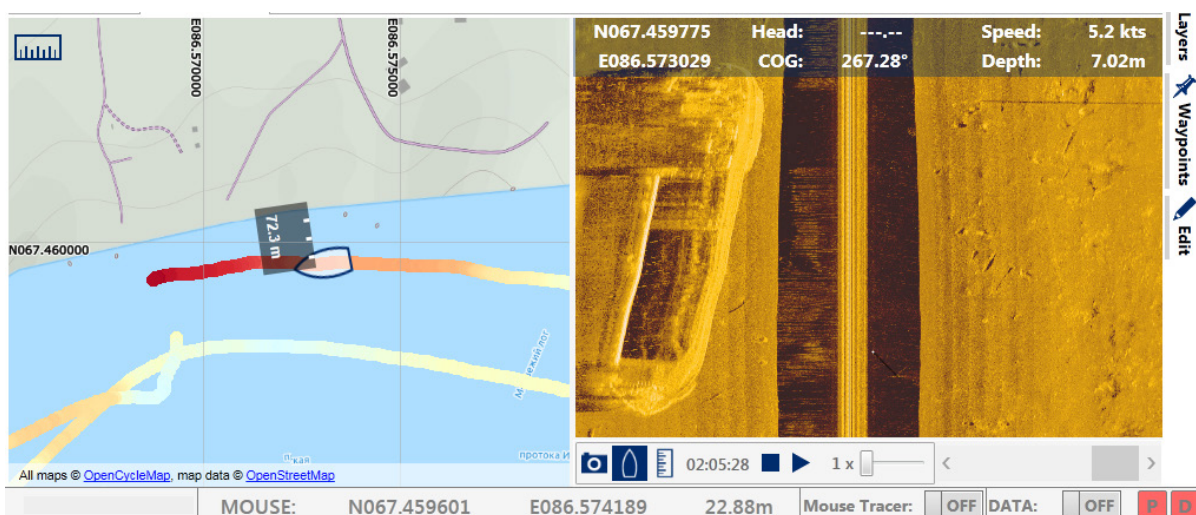


Рисунок 8 – Местоположение затонувшего корабля через Reefmaster (на гидроакустическом снимке пропорции судна существенно искажены).

Работа выполнена при поддержке гранта Президента Российской Федерации на развитие гражданского общества «Некоммерческая междисциплинарная научно-образовательная платформа «Енисейская Арктика» (проект № 18-2-017584).

### Список литературы:

1. Goncharov A. E. A GIS for the Yenisei: an overview of maritime industrial archaeology on the Yenisei River and prospects for its development // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. 2020. 822. 012040.
2. Астафьев Д. С., Веревкин П. Н., Мадисон Р. А., Федоров В. А. Виртуальный вычислительный кластер. Решетнёвские чтения. Электронное издание 2019 г. URL: <https://disk.sibsau.ru/index.php/s/L9sHGIDFLhGZbCx> (дата обращения 04.10.2020г.)
3. Астафьев Д. С., Веревкин П. Н. Применение библиотеки PyHum для анализа гидрографических данных. Актуальные проблемы авиации и космонавтики. Электронное издание 2019 г. URL: <https://disk.sibsau.ru/index.php/s/7sAiJGJW5LkapdR> (дата обращения 04.10.2020г.)
4. Hamill D., Buscombe D., Wheaton J.M. Alluvial substrate mapping by automated texture segmentation of recreational-grade side scan sonar imagery // PLoS ONE. 2018. 13(3): e0194373. URL: <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0194373> (дата обращения 04.10.2020г.)
5. Фирсов Ю. Г. Основы гидроакустики и использования гидрографических сонаров. Санкт-Петербург, 2010.
6. Buscombe D. Binary Sonar Data Formats. URL: [https://github.com/dbuscombe-usgs/PyHum/blob/master/docs/data\\_formats.rst](https://github.com/dbuscombe-usgs/PyHum/blob/master/docs/data_formats.rst) (дата обращения 04.10.2020 )
7. Reefmaster. URL: <https://reefmaster.com.au/index.php/products/reefmaster> (дата обращения 04.10.2020 )
8. HumViewer. URL: <http://humviewer.cm-johansen.dk/> (дата обращения 04.10.2020 )
9. Buscombe D. PyHum. URL: <https://github.com/dbuscombe-usgs/PyHum> (дата обращения 04.10.2020 )
10. Buscombe D. Modules. URL: <https://github.com/dbuscombe-usgs/PyHum/blob/master/docs/modules.rst/> (дата обращения 04.10.2020 )
11. Buscombe D., Grams, P.E., and Smith, S. (2015) "Automated riverbed sediment classification using low-cost sidescan sonar", Journal of Hydraulic Engineering, 10.1061/(ASCE)HY.1943-7900.0001079, 06015019. URL: <https://ascelibrary.org/doi/full/10.1061/%28ASCE%29HY.1943-7900.0001079> (дата обращения 05.12.2020 )

### References:

1. Goncharov A. E. A GIS for the Yenisei: an overview of maritime industrial archaeology on the Yenisei River and prospects for its development // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. 2020. 822. 012040.
2. Astafiev D. S., Verevkin P. N., Madison R. A., Fedorov V. A. Virtual'nyj vychislitel'nyj klaster. Reshetnyovskie chteniya. Elektronnoe izdanie 2019 g. [The virtual computing cluster. Reshetnev readings. Electronic edition 2019]. URL: <https://disk.sibsau.ru/index.php/s/L9sHGIDFLhGZbCx> (access date 04.10.2020)
3. Astafiev D. S., Verevkin P. N. Primenenie biblioteki PyHum dlya analiza gidrograficheskikh dannyh. Aktual'nye problemy aviacii i kosmonavtiki. Elektronnoe izdanie 2019 g. [Using the PyHum library to analyze hydrographic data. Actual problems of aviation and cosmonautics. Electronic edition 2019]. URL: <https://disk.sibsau.ru/index.php/s/7sAiJGJW5LkapdR> (access date 04.10.2020)
4. Hamill D., Buscombe D., Wheaton J.M. Alluvial substrate mapping by automated texture segmentation of recreational-grade side scan sonar imagery // PLoS ONE. 2018. 13(3): e0194373. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0194373>
5. Firsov YU. G. Osnovy gidroakustiki i ispol'zovaniya gidrograficheskikh sonarov. Sankt-Peterburg, 2010. [Fundamentals of hydroacoustics and the use of hydrographic sonars. St. Petersburg, 2010.]
6. Buscombe D. Binary Sonar Data Formats. URL: [https://github.com/dbuscombe-usgs/PyHum/blob/master/docs/data\\_formats.rst](https://github.com/dbuscombe-usgs/PyHum/blob/master/docs/data_formats.rst) (access date 04.10.2020)
7. Reefmaster. URL: <https://reefmaster.com.au/index.php/products/reefmaster> (access date 04.10.2020)
8. HumViewer. URL: <http://humviewer.cm-johansen.dk/> (access date 04.10.2020)
9. Buscombe D. PyHum. URL: <https://github.com/dbuscombe-usgs/PyHum> (access date 04.10.2020)
10. Daniel Buscombe. Modules. URL: <https://github.com/dbuscombe-usgs/PyHum/blob/master/docs/modules.rst/> (access date 04.10.2020)
11. Buscombe, D., Grams, P.E., and Smith, S. (2015) "Automated riverbed sediment classification using low-cost sidescan sonar", Journal of Hydraulic Engineering, 10.1061/(ASCE)HY.1943-7900.0001079, 06015019. URL: <https://ascelibrary.org/doi/full/10.1061/%28ASCE%29HY.1943-7900.0001079> (access date 05.12.2020)

УДК 656.61.052

DOI: 10.24411/2658-4255-2020-12515

## СРАВНЕНИЕ САМОСТОЯТЕЛЬНОГО ДВИЖЕНИЯ И ДВИЖЕНИЯ ПОД ПРОВОДКОЙ ЛЕДОКОЛА ГАЗОВОЗОВ ТИПА «YAMALMAX»

---

Ю.В. Соколова<sup>1</sup>, О.С. Девятаев<sup>1</sup>, Е.В. Афанасьева<sup>1</sup>, Ю.М. Титова<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Арктический и антарктический научно-исследовательский институт, Санкт-Петербург, Россия

✉ j.sokolova@aari.ru, osd@aari.ru, afanasieva@aari.ru, ymtitova@aari.ru

В мае-июне 2020 года было выполнено два сверхранних перехода по Северному морскому пути в восточном направлении газозовами «Кристоф де Маржери» и «Владимир Воронин». Первый рейс на всём пути сопровождался атомным ледоколом «Ямал», а второй большую часть пути прошёл самостоятельно. На примере пары «Кристоф де Маржери» - «Владимир Воронин», а также пары газозовов «Георгий Брусилов» - «Владимир Русанов», которая вышла спустя месяц по тому же маршруту, в данной работе было проанализировано два типа движения: движение под проводкой ледокола и самостоятельное движение. Анализ движения газозовов не выявил существенного преимущества во времени или скорости при проводке газозовов атомными ледоколами перед самостоятельным плаванием в тех ледовых условиях, которые сложились к началу летнего навигационного периода.

**Ключевые слова:** газозовы типа Yamalmax, атомные ледоколы, ледовый класс Arc7, Северный морской путь, Арктика, летняя навигация, гидрометеорологическое обеспечение.

---

## COMPARISON OF INDEPENDENT NAVIGATION OF LNG CARRIERS OF TYPE YAMALMAX AND THEIR TRANSITION WITH AN ICEBREAKER ESCORT

Yu.V. Sokolova<sup>1</sup>, O.S. Devyataev<sup>1</sup>, E.V. Afanasyeva<sup>1</sup>, Yu.M. Titova<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Arctic and Antarctic Research Institute, St. Petersburg, Russia

In May-June 2020 two early transits through the Northern Sea Route to the east were made by LNG carriers «Christophe de Margerie» and «Vladimir Voronin». The first voyage was accompanied by the nuclear icebreaker «Yamal» all the way down, the second voyage «Vladimir Voronin» covered independently. In this paper, on the example of the pair «Christophe de Margerie» and «Vladimir Voronin» and one more pair «Georgy Brusilov» and «Vladimir Rusanov», followed the pioneer tankers a month later, it was analyzed two types of navigation: independent and with an icebreaker escort. The results of the analysis did not reveal sufficient differences in time and velocity of tankers, navigating independently or under icebreaker escort in those ice conditions, which had developed by the beginning of summer navigational season.

**Keywords:** LNG-carriers of type Yamalmax, nuclear icebreakers, ice class Arc7, Northern Sea Route, Arctic summer navigation, hydrometeorological data provision.

---

Статья получена: 16.12.2020

Принята к публикации: 28.12.2020

Опубликована онлайн: 29.12.2020

---

Финансирование. Исследование не имело спонсорской поддержки.

## Начало весенней навигации в 2020 году

Летняя навигация по Северному морскому пути (СМП) в восточном направлении обычно начинается не раньше июля [1], когда во всех российских арктических морях наблюдаются процессы таяния и разрушения ледяного покрова.

31 мая 2020 года газовоз «Кристоф де Маржери» компании «Совкомфлот» успешно завершил переход по трассе СМП. Впервые в истории крупнотоннажное судно ледового класса Arc7 совершило такой ранний рейс на восток. На переходе по СМП газовоз двигался в сопровождении атомного ледокола «Ямал». Немногим позже, 2 июня 2020 года завершился второй сверххранний рейс газовоза «Владимир Воронин». Главным отличием этого рейса стало то, что почти 70% пути «Владимир Воронин» прошёл самостоятельно, в том числе самый сложный участок в Восточно-Сибирском море. На всём пути газовоз имел полноценное обеспечение гидрометеорологической информацией. Эти два сверххранних рейса заложили основу для возможного расширения окна навигации по трассе СМП в восточном направлении. Кроме этого, суда класса Yamalmax, такие как «Кристоф де Маржери» и «Владимир Воронин», показали высокую ледопроездимость не только в канале за ледоколом, но и при самостоятельном движении.

Более чем 2500 морских миль (далее – миль) газовозы прошли за разное время: «Кристоф де Маржери» за 12.5 суток со средней скоростью 8.2 узлов, «Владимир Воронин» - за 9.4 суток со средней скоростью 11.0 узлов. Таким образом, возможные ожидания более высокой скорости прохождения СМП газовозом «Кристоф де Маржери» в сопровождении ледокола «Ямал» на всём пути по отношению к скорости газовоза «Владимир Воронин», который шёл под проводкой ледокола («50 лет Победы», «Ямал») только часть пути, не оправдались.

В данной работе было проанализировано движение пары газовозов «Кристоф де Маржери» — «Владимир Воронин» с тем, чтобы установить, насколько

ледокольная проводка или её отсутствие при прочих равных условиях (начало движения, маршрут и связанная с ними ледовая обстановка), влияла на скорость и время прохождения СМП газовозами типа Yamalmax с ледовым классом Arc7. Ледовые условия на пути газовозов «Кристоф де Маржери» и «Владимир Воронин» не всегда совпадали, поскольку их маршруты на нескольких участках СМП значительно отклонялись друг от друга, по этой причине для сравнения ледокольного и безледокольного движения газовозов была привлечена ещё одна пара, которая вышла на восток через месяц после первых двух сверххранних рейсов: «Владимир Русанов» и «Георгий Брусилов». Эти газовозы вышли с разницей в один день в конце июня (29 и 30 июня 2020 года соответственно), а маршруты движения на всём пути совпадали.

### Газовозы типа Yamalmax

Yamalmax — тип арктических танкеров-газовозов для перевозки сжиженного природного газа (СПГ). Головной газовоз «Кристоф де Маржери» был построен в 2016 года [2], а в марте 2017 года принят в эксплуатацию компанией «Совкомфлот» [3] после успешного прохождения ледовых испытаний в Арктике [4]. В последующие три года было построено ещё 14 газовозов для обслуживания проекта «Ямал СПГ», среди них: «Владимир Воронин», «Владимир Русанов» и «Георгий Брусилов».

Газовоз типа Yamalmax с габаритами 299 м в длину и 50 м в ширину, вместимостью более 170 тыс. куб. и водоизмещением более 140 тыс. т, имеет пропульсивный комплекс из трех полноповоротных винторулевых комплексов типа Azipod суммарной мощностью 45 МВ. Имея высокий ледовый класс Arc7, судно способно осуществлять движение в ледовых условиях как передним, так и задним ходом (судно двойного действия). Спецификационная ледопроездимость при движении носом составляет 1.5 м, а кормой вперёд – 2.1 м [2],[5].

«Кристоф де Маржери» в мае 2020 года превзошёл более чем на месяц ре-



корд газозовов «Владимир Русанов» и «Эдуард Толль», которые в 2018 году совершили первые сверххранные рейсы на восток, выйдя из порта Сабетта 25 и 27 июня соответственно. «Владимир Русанов» и «Эдуард Толль» самостоятельно преодолели СМП примерно за 9 суток [7].

Впервые самостоятельный переход по СМП в период зимней навигации с востока на запад без ледокольного сопровождения осуществил газозов «Эдуард Толль». 24 декабря 2017 года «Эдуард Толль» вышел на трассу СМП и после 22 дней транзитного перехода 14 января 2018 года благополучно прибыл в порт Сабетта [6].

На рубеже 2018-2019 года случилось ещё одно важное событие. Газозов «Борис Давыдов» осуществил проводку менее мощного танкера «Борис Соколов» (22 МВт) через СМП в западном направлении в зимний сезон. «Борис Соколов» вышел на акваторию СМП 29 декабря 2018 года и, встретив лёд, сильно замедлил продвижение вперёд. В ночь с 1 на 2 января 2019 года «Борис Соколов» лёг в дрейф в ожидании подхода газозова «Борис Давыдов», который 5 января подошел в точку дрейфа танкера и взял его под проводку. 23 января 2020 года, спустя 18 дней, караван прибыл в район Обской губы, откуда «Борис Соколов» продолжил самостоятельное движение в направлении Мурманска [8], [9].

Таким образом, газозовы типа Ямал-Макс с 2017 года демонстрировали возможности не только самостоятельного плавания в сложных ледовых условиях, но и осуществления проводки менее мощного судна.

### **Ледовые условия, сложившиеся к началу летней навигации**

Сложившаяся ледовая обстановка в морях СМП в конце мая благоприятствовала раннему началу навигации.

В предшествующий осенний период 2019 года ледообразование началось позже средних многолетних сроков (в начале сентября). Позже, в ноябре и декабре интенсивность ледообразования и увеличение площади льда значительно возросли, тогда

как толщина льда нарастала медленнее, по сравнению с нормой.

В январе все арктические моря были покрыты дрейфующими и припайными льдами. Преобладание однолетних льдов средней толщины (70-120 см, согласно Номенклатуре морских льдов [10], [11]) на значительной части акватории наблюдалось только в море Лаптевых и в Восточно-Сибирском море. Однолетний толстый лёд (более 120 см толщиной) отсутствовал. Появление зон с преобладанием однолетних толстых льдов не наблюдалось ни в феврале, ни в марте, что нехарактерно для этих месяцев. Это свидетельствует о медленном нарастании толщины ледяного покрова.

Развитие припая в морях в течение первых зимних месяцев проходило с малой интенсивностью, оно наблюдалось во всех российских арктических морях. Площадь припая во всех морях была ниже средних многолетних значений [12].

В апреле однолетние средние льды начали переходить в градацию однолетних толстых льдов в большинстве арктических морей, за исключением юго-западной части Карского и Чукотского морей, где преобладали однолетние средние и тонкие льды (30-70 см). Процесс нарастания льда в весенний период 2020 года происходил со значительным запаздыванием по сравнению с нормой.

В мае, в период максимального развития и накопления ледяного покрова, однолетние льды занимали весь российский сектор Арктики и более половины приполюсного района, где они частично вытеснили многолетние льды. Припай в конце этого периода был развит слабо, наиболее обширный – в районе Новосибирских островов. Но площадь припая во всех морях по-прежнему оставалась меньше среднемноголетних значений.

В весенний период интенсивность нарастания толщины льда была несколько выше нормы в море Лаптевых и Восточно-Сибирском море, что привело к приближению толщины льда к среднемноголетним значениям в этих районах. В морях западного района сектора Арктики отрицательные аномалии толщины сохранились (до 50 см).

В июне началось очень быстрое очищение морей западного района российского сектора Арктики (Баренцева, Карского, Лаптевых), а в юго-западной части Чукотского моря развилось большое разрежение. Ледообразование во всех морях прекратилось [13].

В конце зимнего сезона и в начале летнего (марте-мае) ледовитость в Северном Ледовитом океане (СЛО) была близка к среднемноголетнему значению, а с началом таяния ледовитость в СЛО заметно уменьшилась по сравнению со средним многолетним значением (рис. 1). Толщина ледяного покрова была значительно ниже нормы по всему СЛО, что подтверждается модельными расчетами объема накопленного льда в СЛО (рис. 2) [14].

### Исходные данные и метод анализа

Для анализа движения газозавозов использовались следующие исходные данные:

1. Данные АИС (Автоматическая идентификационная система) для 4 газозавозов («Кристоф де Маржери», «Владимир Воронин», «Владимир Русанов» и «Георгий Брусилов») и 2 ледоколов («Ямал», «50 лет Победы»), содержащие информацию о местоположении судов и параметрах их движения (скорость, направление, время) на всем маршруте от начала

движения из порта Сабетта и до выхода из СМП.

2. Диспетчерские сообщения, получаемые от газозавозов и ледоколов, с описанием ледовой обстановки на маршруте следования по СМП.
3. Обзорные ледовые карты ААНИИ по всем морям СМП.
4. Спутниковые изображения видимого, ИК- и радио- диапазонов.

АИС-данные использовались для построения маршрутов движения (треков) газозавозов (рис. 3), каждый из которых разбивался на 5 одинаковых участков: 1 - юго-запад (ЮЗ) Карского моря (район Обской губы, Енисейского и Пясинского заливов), 2 - северо-восток (СВ) Карского моря, 3 - море Лаптевых и Новосибирские острова, 4 - западная и центральная часть Восточно-Сибирского моря (ВСМ), 5 – восточная часть Восточно-Сибирского моря и Чукотское море. Для каждого участка затем рассчитывались следующие показатели: средняя скорость, время прохождения участка и характерные ледовые условия.

Характерные ледовые условия, включающие возраст льда и сплоченность, определялись по ледовым картам. Дополнительные характеристики, такие как торосистость и разрушенность, брались из диспетчерских донесений с судов при их наличии или достаточном количестве для обобщения.

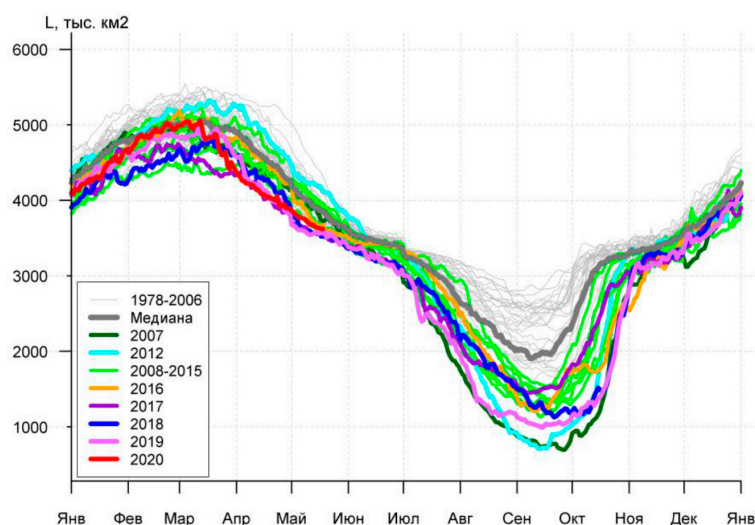


Рисунок 1 – Ежедневные оценки сезонного хода ледовитости за период 26.10.1978 – 17.05.2020 для сектора  $95^{\circ}\text{E} - 170^{\circ}\text{W}$  (моря Лаптевых – Чукотское и Берингово, Охотское) [14].

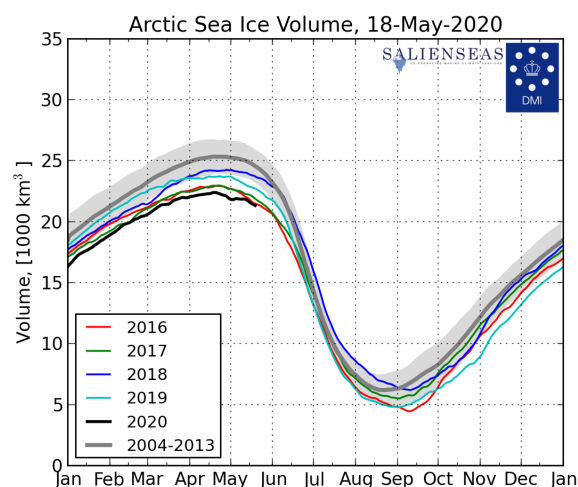


Рисунок 2 – Ежедневные оценки сезонного хода объема морского льда СЛО на основе расчетов средневзвешенной толщины льда совместной модели морского льда – океана НУСОМ/СИСЕ Датского метеорологического института с 01.01.2004 по 18.05.2020 гг. [15].

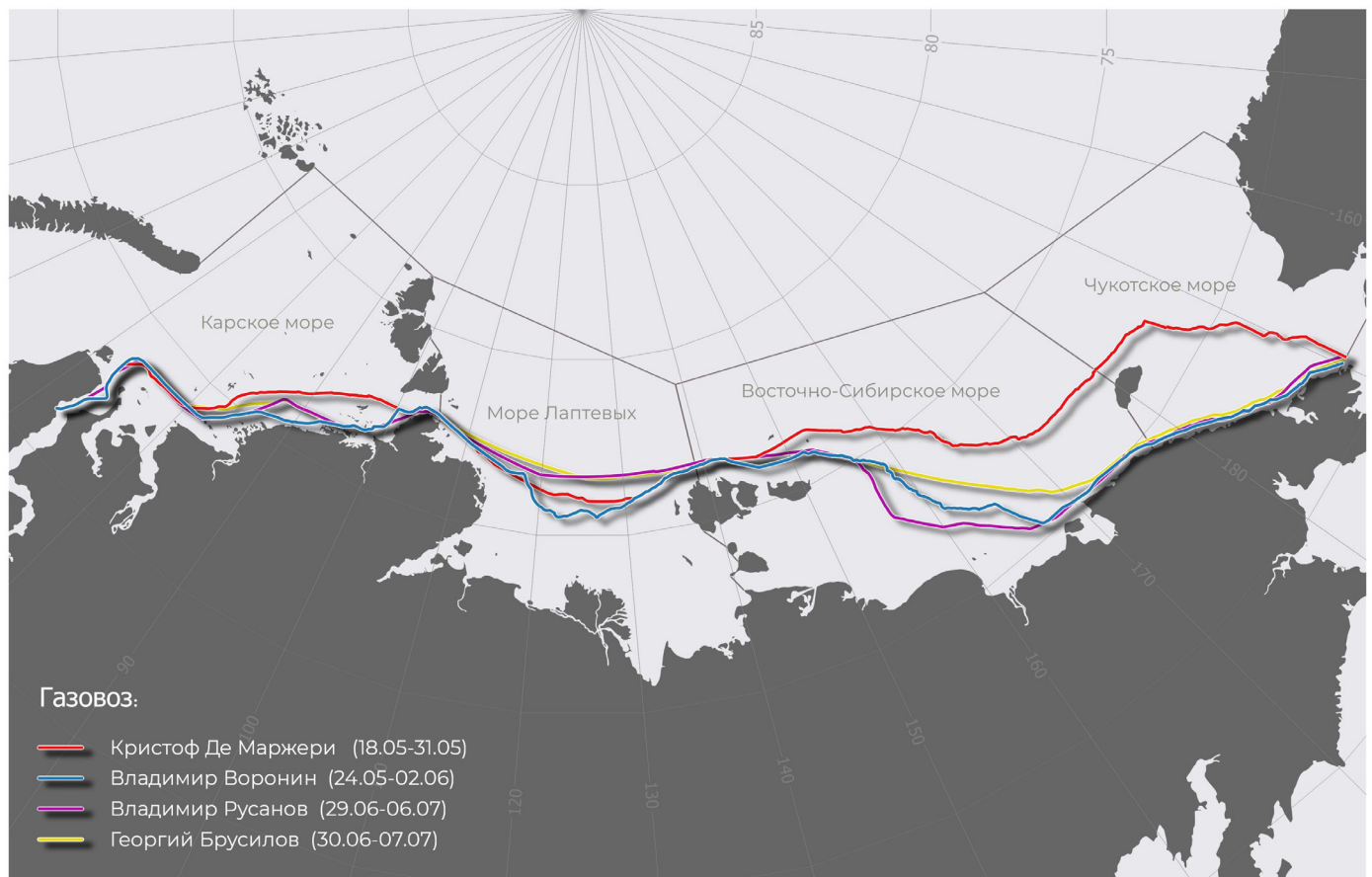


Рисунок 3 – Треки газовозов «Кристоф де Маржери», «Владимир Воронин», «Владимир Русанов» и «Георгий Брусилов».

Диспетчерские сообщения с судов и спутниковые изображения привлекались для анализа аномалий скоростей. Для визуальной оценки изменения скорости газовоза или каравана, производилась классификация скорости на 6 градаций: менее 2х узлов, 2-4, 4-8, 8-12, 12-16 и более 16 узлов.

### Обсуждение результатов

В результате обработки исходных данных были получены две таблицы (табл. 1 и 2) для пар «Кристоф де Маржери» - «Владимир Воронин» и «Георгий Брусилов» - «Владимир Русанов» с обобщенными характеристиками их движения.

Расчеты, представленные в таблицах, показывают, что средняя скорость и время прохода для рейсов газовозов «Кристоф де Маржери» и «Владимир Воронин» заметно отличаются. «Кристоф де Маржери», сопровождаемый на всем пути ледоколом, преодолел СМП за 12.5 суток со средней скоростью 8.2 узлов, а «Владимир Воронин», прошедший большую часть пути самостоятельно, – за 9.4 суток со средней скоростью 11.0 узлов. Средние характери-

стики движения второй пары «Владимир Русанов» - «Георгий Брусилов» отличаются незначительно. «Георгий Брусилов» в сопровождении ледокола прошёл за 6.8 суток со средней скоростью 14.0 морских узлов, тогда как «Владимир Русанов» в преимущественно самостоятельном плавании совершил переход на восток за 7.0 суток со средней скоростью 14.1 узлов.

Рассмотрим более подробно особенности движения каждой пары на отдельных участках СМП.

#### «Кристоф де Маржери» - «Владимир Воронин»

Газовоз «Кристоф де Маржери» вышел из порта Сабетта 18 мая 2020 года. Встреча с ледоколом «Ямал» и начало проводки состоялись 19 мая 2020 года на выходе из Обской губы. «Владимир Воронин» вышел спустя 5.5 суток, 24 мая 2020 года. Встреча с ледоколом «50 лет Победы» и начало проводки состоялись 25 мая 2020 года на траверзе Пясинского залива (рис. 4). Ледовые условия в морях СМП на момент выхода газовоза «Владимир Воронин» в целом поменялись незначительно.

Таблица 1

Показатели движения и обобщенные характеристики ледовой обстановки для газовозов  
«Кристоф де Маржери» и «Владимир Воронин»

	№ уч-ка	1	2	3	4	5			
<b>газовоз</b>	Название уч-ка	ЮЗ Карского моря	СВ Карского моря	море Лаптевых и Новосибирские о-ва	зап. и центр. часть ВСМ	вост. часть ВСМ и Чукотское море	Выход из СМП	Показатели движения на всём маршруте	
<b>«Кристоф де Маржери»</b>	Тип проводки <sup>1</sup>	АЛ/САМ	АЛ	АЛ	АЛ	АЛ/САМ			
	Сплоченность	-	10	9-10	10	10			
	Возраст	средние; тонкие	средние; толстые	тонкие; молодые; средние	толстые; средние	средние; толстые			
	Торосистость (баллы)	2	2-4	1-3	2-3	3-4			
	Разрушенность (баллы)	1	1	1-2	-	1			
	Начало прохождения уч-ка	18.05 12:55	20.05 4:43	22.05 8:01	25.05 6:43	27.05 7:14	31.05 2:02		
	Время прохода (сутки)	1.66	2.14	2.95	2.02	3.78			<b>12.5</b>
	Расстояние (морские мили)	489	252	740	368	674			<b>2525</b>
	Ср. скорость (узлы):								
	- общая	<b>12</b>	<b>4.6</b>	<b>10.1</b>	<b>7.2</b>	<b>7.1</b>			<b>8.2</b>
	- с ледоколом	<b>12.5</b>	<b>4.6</b>	<b>10.1</b>	<b>7.2</b>	<b>5.9</b>			<b>8.1</b>
	- без ледокола	11.3				12.3		<b>11.8</b>	
<b>«Владимир Воронин»</b>	№ уч-ка	1	2	3	4	5		Показатели движения на всём маршруте	
	Тип проводки	АЛ/САМ	АЛ	САМ	САМ	АЛ/САМ			
	Сплоченность	<1;1-3	<1;10	<1;9-10	9-10	1-3;9-10			
	Возраст	средние; тонкие	средние; толстые (вкл. припай)	средние	толстые; средние	средние; толстые; тонкие			
	Торосистость (баллы)	-	-	1-3	1-3	2-4			
	Разрушенность (баллы)	-	-	-	-	1-2			
	Начало прохождения уч-ка	24.05 11:33	25.05 20:54	27.05 4:28	29.05 17:00	31.05 20:03			
	Время прохода (сутки)	1.39	1.32	2.52	2.13	2.03			<b>9.4</b>
	Расстояние (морские мили)	471	287	780	368	666			<b>2572</b>
	Ср. скорость (узлы):								
	- общая	<b>13.8</b>	<b>8.4</b>	<b>12.6</b>	<b>7</b>	<b>13.3</b>			<b>11.0</b>
	- с ледоколом	13	8.4			12.4			<b>11.3</b>
- без ледокола	<b>14.1</b>		<b>12.6</b>	<b>7</b>	<b>14.9</b>		<b>12.2</b>		

<sup>1</sup> Тип проводки: АЛ – движение под проводкой ледокола; САМ – самостоятельное движение; АЛ/САМ – часть пути пройдена под проводкой атомного ледокола и самостоятельно.

Таблица 2

Показатели движения и обобщенные характеристики ледовой обстановки для газозовов «Георгий Брусилов» и «Владимир Русанов»

	№ уч-ка	1	2	3	4	5			
<b>газовоз</b>	Название уч-ка	ЮЗ Карского моря	СВ Карского моря	море Лаптевых и Новосибирские О-ва	зап. и центр. часть ВСМ	вост. часть ВСМ и Чукотское море	Выход из СМП	Показатели движения на всём маршруте	
<b>«Георгий Брусилов»</b>	Тип проводки	<b>САМ</b>	<b>АЛ</b>	<b>АЛ</b>	<b>АЛ</b>	<b>АЛ/САМ</b>			
	Сплоченность	<1	9-10	<1	9-10	1-3; 4-6			
	Возраст	-	-	-	-	-			
	Торосистость (баллы)	-	-	-	1-2	2-4			
	Разрушенность (баллы)	-	3-4	3	2-3	2-4			
	Начало прохождения уч-ка	30.06 18:04	02.07 7:08	03.07 8:27	04.07 21:59	06.07 12:09	07.07 23:29		
	Время прохода (сутки)	1.15	1.06	1.56	1.59	1.47			<b>6.8</b>
	Расстояние (морские мили)	447	307	595	478	540			<b>2368</b>
	Ср. скорость (узлы):								
	- общая	<b>15.9</b>	<b>11.7</b>	<b>15.5</b>	<b>12.1</b>	<b>14.9</b>			<b>14.0</b>
	- с ледоколом		<b>11.7</b>	<b>15.5</b>	<b>12.1</b>	<b>14.2</b>			<b>13.4</b>
	- без ледокола	15.9				18		17.0	
	<b>№ уч-ка</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>		Показатели движения на всём маршруте	
<b>«Владимир Русанов»</b>	Тип проводки	<b>САМ</b>	<b>АЛ</b>	<b>САМ</b>	<b>САМ</b>	<b>САМ</b>			
	Сплоченность	<1	9-10	<1	9-10	9-10;7-8;1-3			
	Возраст	-	-	-	-	-			
	Торосистость (баллы)	-	-	-	-	-			
	Разрушенность (баллы)	-	2-3	-	3	5			
	Начало прохождения уч-ка	29.06 4:08	30.06 9:37	01.07 9:11	02.07 23:38	04.07 11:57	06.07 4:47		
	Время прохода (сутки)	1.23	0.98	1.60	1.51	1.70			<b>7.0</b>
	Расстояние (морские мили)	444	303	613	477	613			<b>2450</b>
	Ср. скорость (узлы):								
	- общая	<b>15.2</b>	<b>12.5</b>	<b>15.4</b>	<b>12.8</b>	<b>14.6</b>			<b>14.1</b>
	- с ледоколом		12.5						<b>12.5</b>
	- без ледокола	<b>15.2</b>		<b>15.4</b>	<b>12.8</b>	<b>14.6</b>		<b>14.5</b>	

При переходе газозова «Кристоф де Маржери» было запланировано попутно выполнить испытания в Карском море и море Лаптевых. В масштабах всего рейса испытания не оказали существенного влияния на среднюю скорость газозова, поэтому этими издержками можно было пренебречь.

Основной вклад в различия средних скоростей внесли выбранные маршруты газозовов, которые на отдельных участках от-

клонялись друг от друга и, как следствие, характеризовались разными ледовыми условиями (рис. 5 и 6), благодаря чему «Владимир Воронин» в итоге сумел сократить разрыв во времени с газозовом «Кристоф де Маржери» до трёх суток. К этим участкам относятся северо-восток Карского моря, восточная часть Восточно-Сибирского моря и Чукотское море. Рассмотрим подробнее ледовые условия на каждом участке.

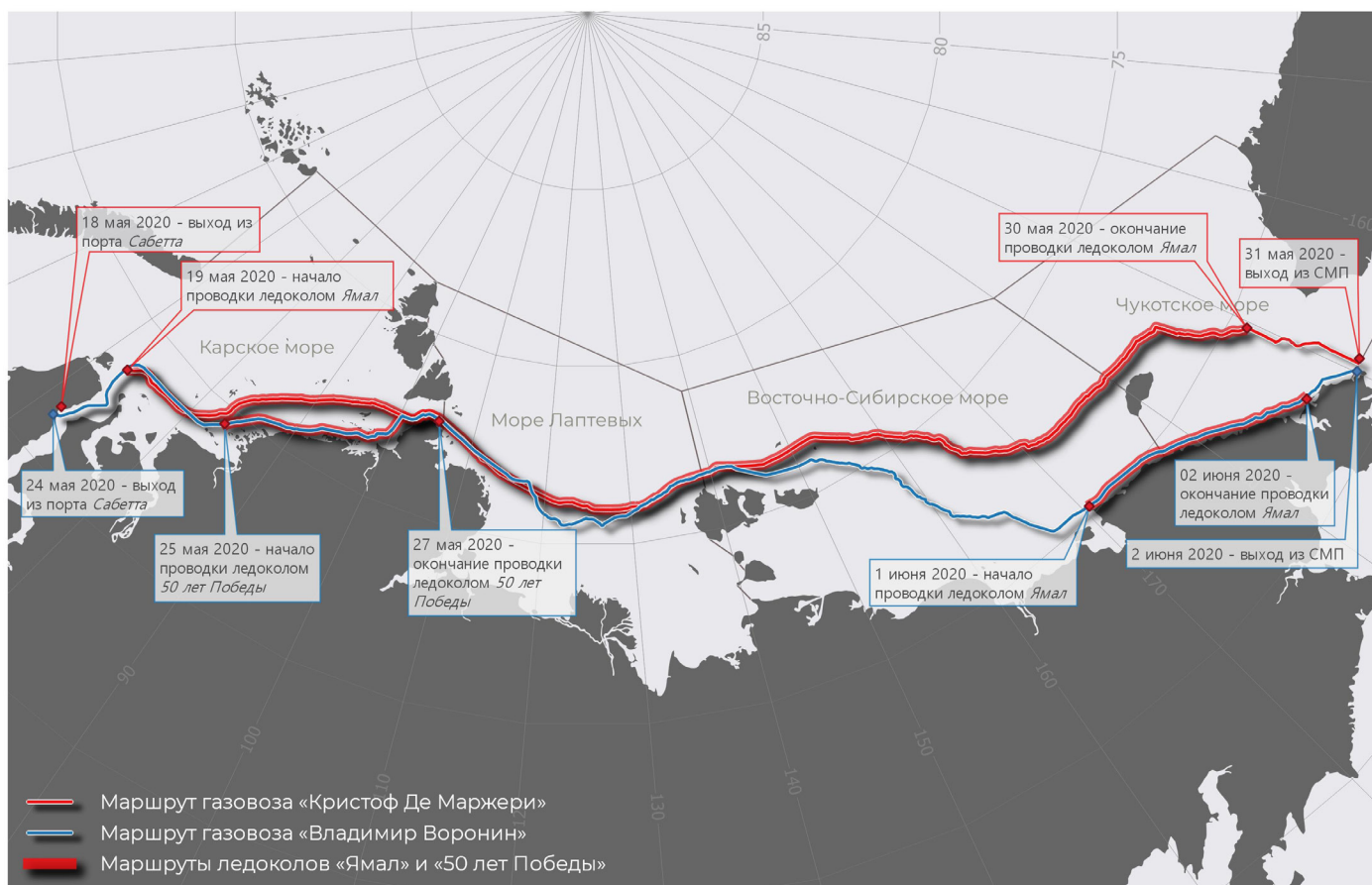


Рисунок 4 – Маршруты газовозов «Кристоф де Маржери» и «Владимир Воронин» и ледоколов «Ямал» и «50 лет Победы».

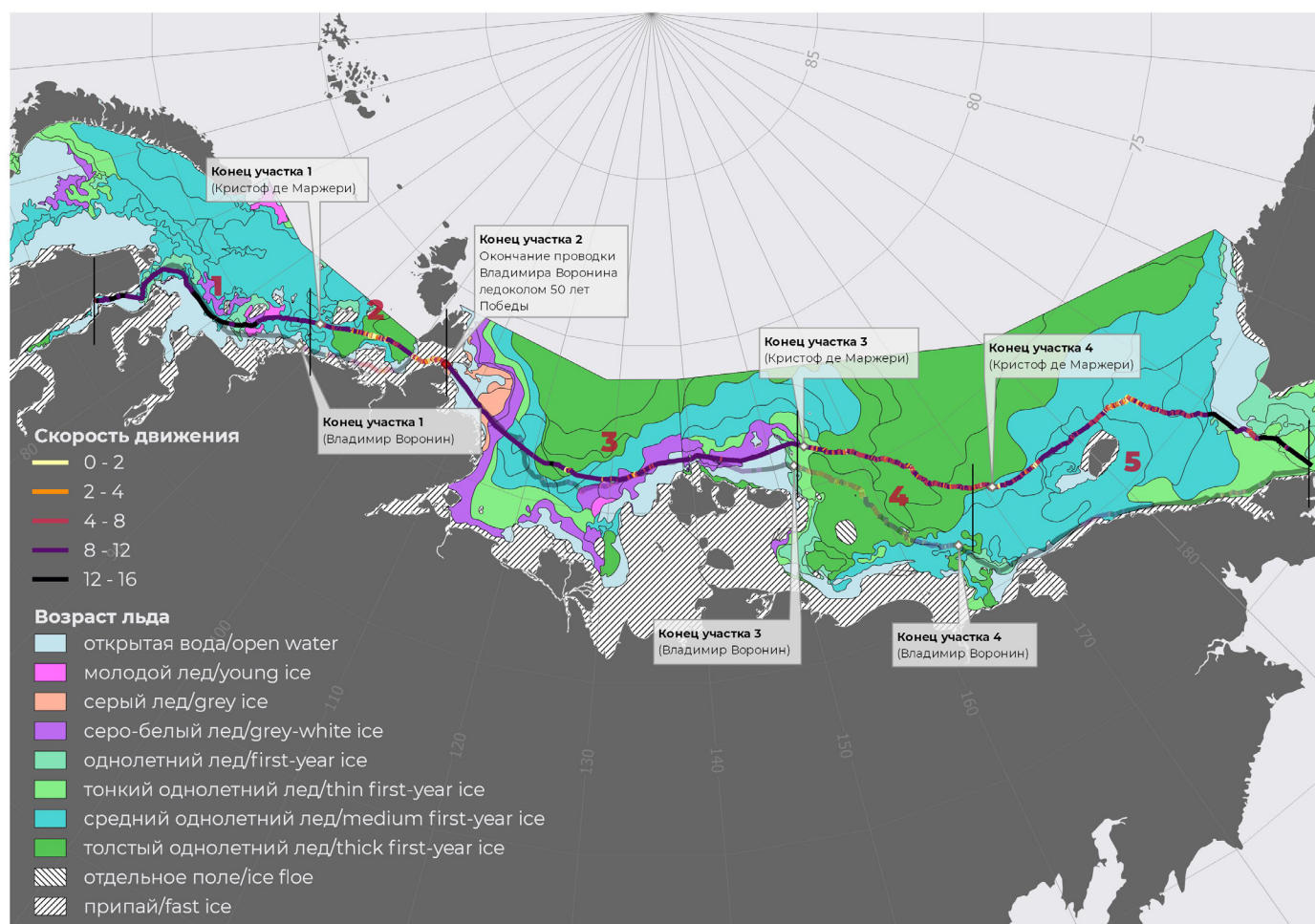


Рисунок 5 – Ледовая обстановка в морях СМП во время перехода на восток газовоза «Кристоф де Маржери» и трек его движения со скоростями. Трек газовоза «Владимир Воронин» дан полупрозрачным цветом. Цифры 1-5 – номера участков, выделенные для сравнения.

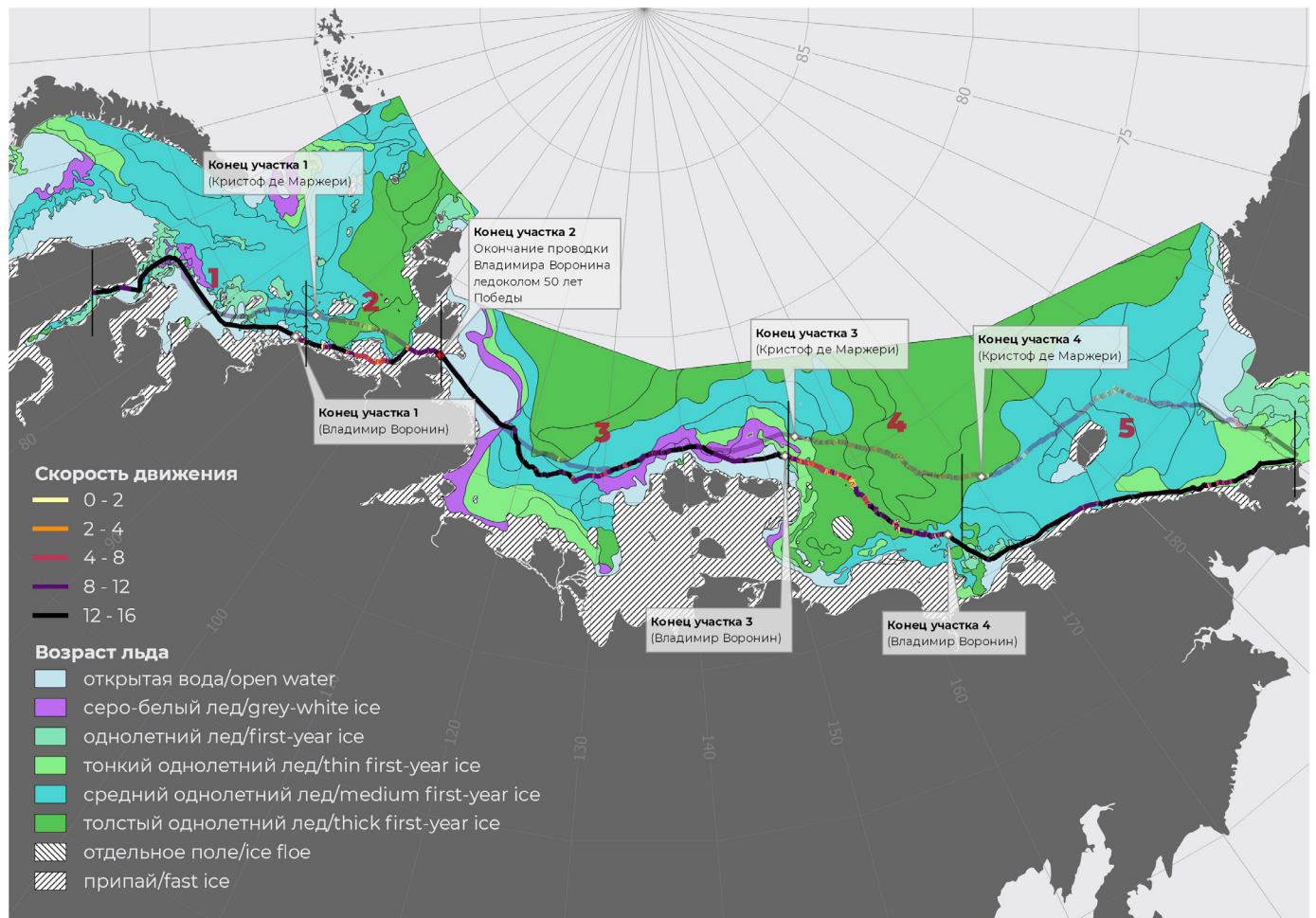


Рисунок 6 – Ледовая обстановка в морях СМП во время перехода на восток газовоза «Владимир Воронин» и трек его движения со скоростями. Трек газовоза «Кристоф де Маржери» дан полупрозрачным цветом. Цифры 1-5 – номера участков, выделенные для сравнения.

**Первый участок** (1 - ЮЗ Карского моря) газовозы частично прошли самостоятельно, а частично – под проводкой ледокола. Ледовые условия на этом участке не представляли препятствий для самостоятельного плавания газовозов. Юго-западная часть Карского моря начала очищаться, маршруты газовозов пересекали участки открытой воды (<1 б.) и редких (1-3 б.) льдов. За островом Свердруп маршруты газовозов начинают отклоняться.

**На втором участке** (2 - северо-восток Карского моря), берущем начало на траверзе о-вов Сергея Кирова, маршруты газовозов проходят в разных ледовых условиях. «Кристоф де Маржери» заходит в однолетние толстые и средние льды (рис. 7). Согласно диспетчерским сообщениям, на этом участке газовоз неоднократно был вынужден совершать остановки в ожидании прохождения ледоколом торосистого поля или прокладки канала. В припай в проливе Вилькицкого караван вошёл 21 мая 2020 года. Средняя скорость прокладки канала в припае составила около 4 узлов. На открытую воду в море Лаптевых «Кристоф де Маржери» вышел спустя 17.5 часов.

Маршрут газовоза «Владимир Воронин» под проводкой ледокола «50 лет Победы» проходил преимущественно вдоль континентального побережья, пересекая зоны редкого однолетнего льда, а также участки припайного льда (рис. 8). Пролив Вилькицкого караван прошёл по ранее проложенному ледоколом «Ямал» каналу со средней скоростью 10 узлов. Таким образом, «Владимир Воронин» преодолел второй участок со средней скоростью 8.4 узлов, а «Кристоф де Маржери» - 4.6 узлов. Сравнение показывает, что на данном отрезке СМП газовозы находились в неравных условиях. Данный участок не может участвовать в сравнении также и потому, что оба газовоза шли под проводкой ледоколов.

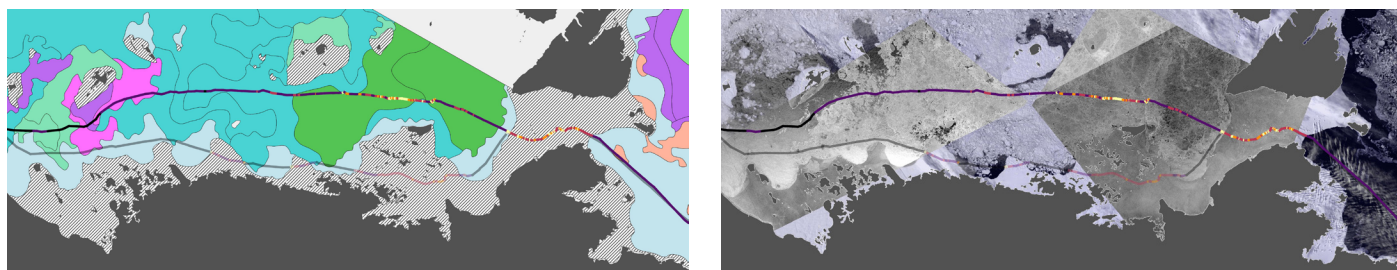


Рисунок 7 – Ледовая карта за 17-18 мая (слева). Мозаика снимков радиометра MODIS (Terra) и радиолокационного спутника Sentinel-1, 20 мая 2020 года (справа). Маршрут газовоза «Кристоф де Маржери» (трек газовоза «Владимир Воронин» дан полупрозрачным цветом).

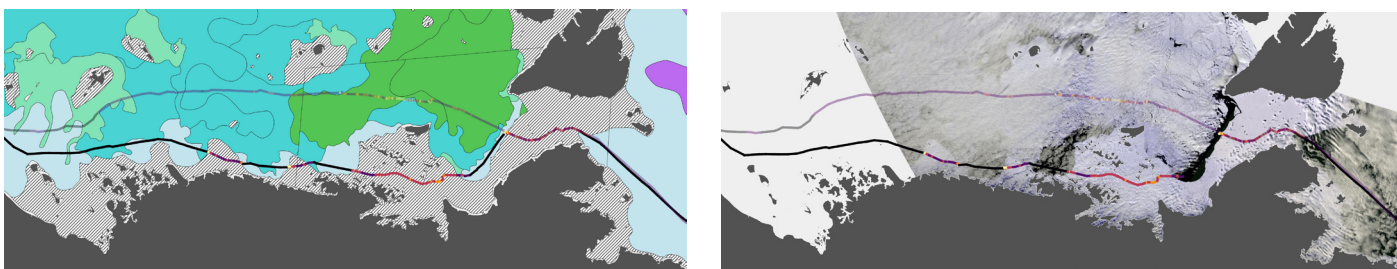


Рисунок 8 – Ледовая карта за 21-22 мая и за 26 мая (слева). Мозаика снимков радиометров MODIS (Terra) и VIIRS (Suomi-NPP), 26 мая 2020 (справа). Маршрут газовоза «Владимир Воронин» (трек газовоза «Кристоф де Маржери» дан полупрозрачным цветом).

Третий, самый длинный, участок (3 - море Лаптевых и Новосибирские острова) «Кристоф де Маржери» и «Владимир Воронин» преодолели со средней скоростью 10.1 и 12.6 узлов соответственно, при этом «Владимир Воронин», выйдя из пролива Вилькицкого, дальнейший путь продолжил самостоятельно. В море Лаптевых сложилась лёгкая ледовая обстановка, поэтому оба газовоза его пересекли без существенных проблем. На рисунках 9 и 10 видно, что на протяжении практически всего участка маршруты газовозов совпадали за исключением отрезка в центральной части моря Лаптевых, где маршрут газовоза «Владимир Воронин» прошёл несколько южнее маршрута газовоза «Кристоф де Маржери», минуя язык однолетнего толстого льда, распространяющегося на акваторию с севера. Согласно экспертным оцен-

кам, на момент прохождения газовозами данного отрезка количество однолетнего толстого льда в нём составляло от 5 до 8 баллов из 10. На отдельных небольших отрезках наблюдались падения скорости. В диспетчерских донесениях газовоз «Кристоф де Маржери» докладывал о торосистости до 3х баллов на этих участках. Обход зоны однолетнего толстого льда с юга увеличил протяженность пути газовоза «Владимир Воронин» на третьем участке почти на 100 миль, но зато позволил ему пройти самостоятельно центральную часть моря Лаптевых почти на 2 узла быстрее, чем «Кристоф де Маржери» под проводкой ледокола «Ямал». Участок открытой воды в западной части моря Лаптевых «Владимир Воронин» также прошёл с большей скоростью (14.5 узлов), чем «Кристоф де Маржери» (11.5 узлов).

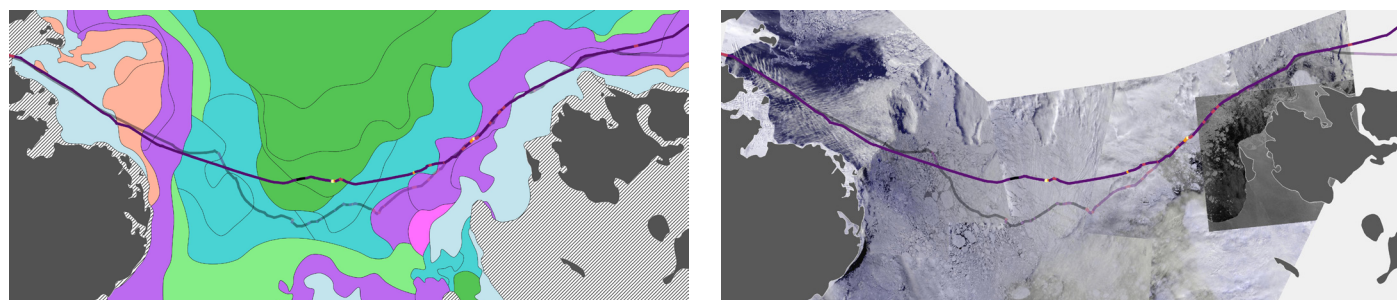


Рисунок 9 – Ледовая карта за 19-20 мая (слева). Мозаика снимков радиометра VIIRS (Suomi-NPP), 22-24 мая 2020 года (справа). Маршрут газовоза «Кристоф де Маржери» (трек газовоза «Владимир Воронин» дан полупрозрачным цветом).



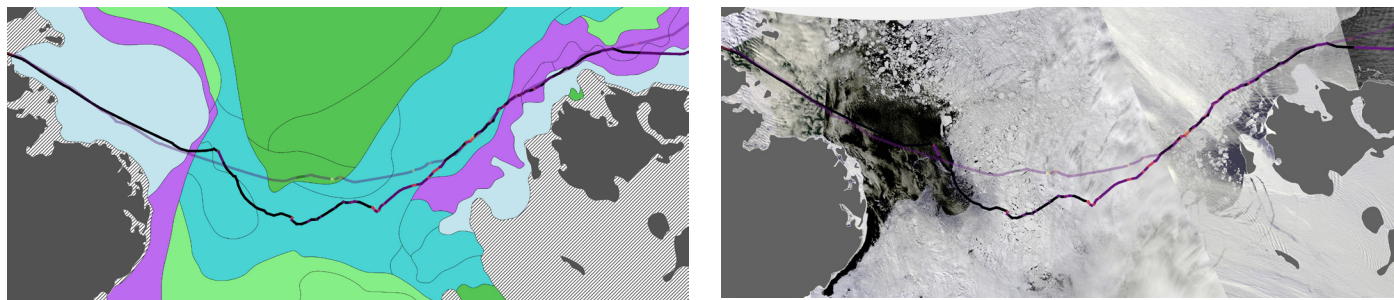


Рисунок 10 – Ледовая карта 25-26 за мая (слева). Мозаика снимков радиометров MODIS (Terra) и VIIRS (Suomi-NPP), 29 мая 2020 года (справа). Маршрут газовоза «Владимир Воронин» (трек газовоза «Кристоф де Маржери» дан полупрозрачным цветом).

Четвертый участок (западная и центральная часть ВСМ) встретил газозовы «Кристоф де Марджери» и «Владимир Воронин» наиболее тяжелыми ледовыми условиями. Хотя весь лёд, присутствующий на трассе при прохождении газозовов, был представлен льдом первого года жизни, характеристики этого льда, в частности его толщина, вдоль трассы были неодинаковы. Это связано с тем, что в разных частях моря лёд формировался в разное время и при разных внешних условиях.

В открытом море ледообразование началось в середине октября. На конец октября льдом была покрыта вся центральная часть моря, а также проливы Новосибирских островов, при этом северо-западная и восточная части всё ещё оставались чистыми. Дальнейшее развитие ледовой обстановки в зимний период происходило под воздействием преобладающих ветров, которые в восточной части моря обеспечивали заток тепла и дрейф льда со стороны Чукотского моря в центр Восточно-Сибирского, а на западе вызывали постоянный отжим льда в северном направлении от побережий Новосибирских островов (формировалась стационарная полынья). В последствии все эти факторы способствовали формированию сложных ледовых условий в центральной части моря и более лёгких условий к западу и востоку. На западе и востоке в течение зимнего сезона имело место обновление льда, в то время как в центральной части моря происходило накопление льда, сформированного здесь ещё осенью, а также принесённого из Чукотского моря, что, вероятнее всего, сопровождалось сильными сжатиями и торошением льда.

При прохождении газозовов «Кристоф

де Марджери» и «Владимир Воронин» через Восточно-Сибирское море, участок Новосибирского ледяного массива стал лимитирующим. На конец мая 2020 года, согласно экспертным оценкам, в пределах участков преобладал однолетний толстый лёд в количестве 5-8 баллов. Снижение скоростей в первую очередь были обусловлены движением среди торосистых полей однолетнего среднего и толстого льда (рис. 11 и 12). Фактором, усложняющим преодоление этих участков, могло послужить также то, что лёд был сформирован из блинчатого. Оба газозова преодолели этот участок примерно за одно и то же время и почти с одинаковой средней скоростью («Кристоф де Марджери» - 7.2 узлов, «Владимир Воронин» - 7.0 узлов). Первую часть пути газозов «Владимир Воронин» шёл со средней скоростью около 5 узлов, а по мере отклонения к юго-востоку по направлению к острову Айон, средняя скорость во второй половине участка возросла до 8.5 узлов. В итоге «Владимир Воронин» вышел в более лёгкие однолетние средние льды, а «Кристоф де Марджери» продолжил своё движение в тяжелых однолетних толстых льдах центральной части моря, взяв направление к северу от острова Врангеля.

Ледовые условия пятого участка (восточная часть Восточно-Сибирского моря и Чукотское море) на маршрутах газозовов кардинально отличались друг от друга, поскольку проходили в совершенно разных районах Восточно-Сибирского и Чукотского морей (рис. 13). «Владимир Воронин», дойдя до континентального побережья, вышел на заприпайную полынья в районе Чаунской губы и практически беспрепятственно завершил проход по СМП. Опережая газозов «Владимир

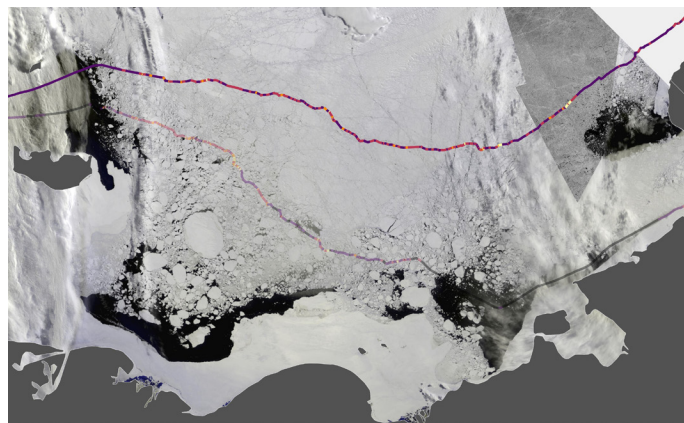


Рисунок 11 – Ледовая карта за 24-26 мая (слева). Мозаика снимков радиометра VIIRS (Suomi-NPP) и радиолокационного спутника Sentinel-1, 27 мая 2020 года (справа). Маршрут газовоза «Кристоф де Марджери» (трек газовоза «Владимир Воронин» дан полупрозрачным цветом).

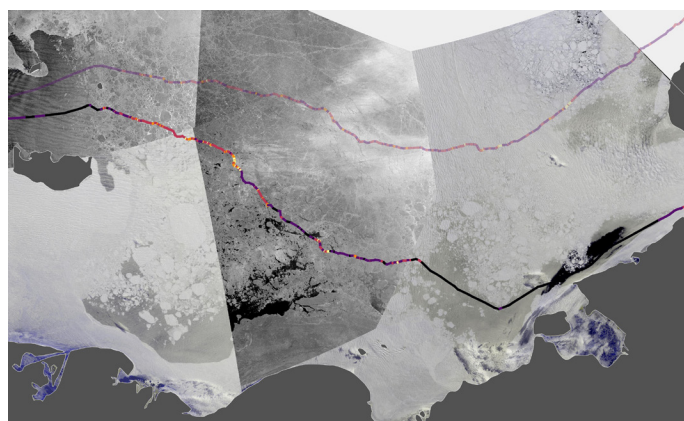


Рисунок 12 – Ледовая карта за 27-28 мая (слева). Мозаика снимков радиометра VIIRS (Suomi-NPP) за 29 мая и 1 июня 2020 года и радиолокационного спутника Sentinel-1 за 29 и 30 мая 2020 года (справа). Маршрут газовоза «Владимира Воронина» (трек газовоза «Кристоф де Марджери» дан полупрозрачным цветом).

Воронин» в Восточно-Сибирском море на 4 суток, «Кристоф де Марджери» последовал навигационной рекомендации, взяв курс к северу от острова Врангеля, когда Чукотской полыньи ещё не наблюдалось. Согласно экспертным оценкам, на момент прохождения газовоза пролив Лонга был полностью закрыт очень сплоченным однолетним средним и толстым льдом и имел место риск попадания в зону сильных сжатий. Однако к северо-востоку от острова Врангеля, в Чукотском море, караван всё же начал регулярно застревать в сильно торосистых льдах (3-4 б.) и испытывать регулярные сжатия (1-2 б.) из-за усиления южного ветра, вызвавшего сплочение льда. Этот отрезок пути длиной около 130 миль караван прошёл со средней скоростью 3.5 узла. В результате, было потеряно около полутора суток.

Пятый участок «Кристоф де Марджери» прошёл со средней скоростью 7.1 узлов, а «Владимир Воронин» - 13.3 узлов. Данный

участок не может использоваться в сравнении ещё и потому, что «Владимир Воронин» также как «Кристоф де Марджери» прошёл большую часть данного участка под проводкой ледокола «Ямал».

Анализ движения данной пары газозовов показывает, что сравнивать между собой средние скорости на всем маршруте некорректно, поскольку на некоторых участках ледовые условия могут значительно отличаться. Из пяти участков, на которые были поделены маршруты газозовов, сравнивать между собой возможно только 3-й и 4-й участки. Средняя скорость на этих двух участках составила 8.7 узлов у газовоза «Кристоф де Марджери» и 9.8 узлов - у газовоза «Владимир Воронин».

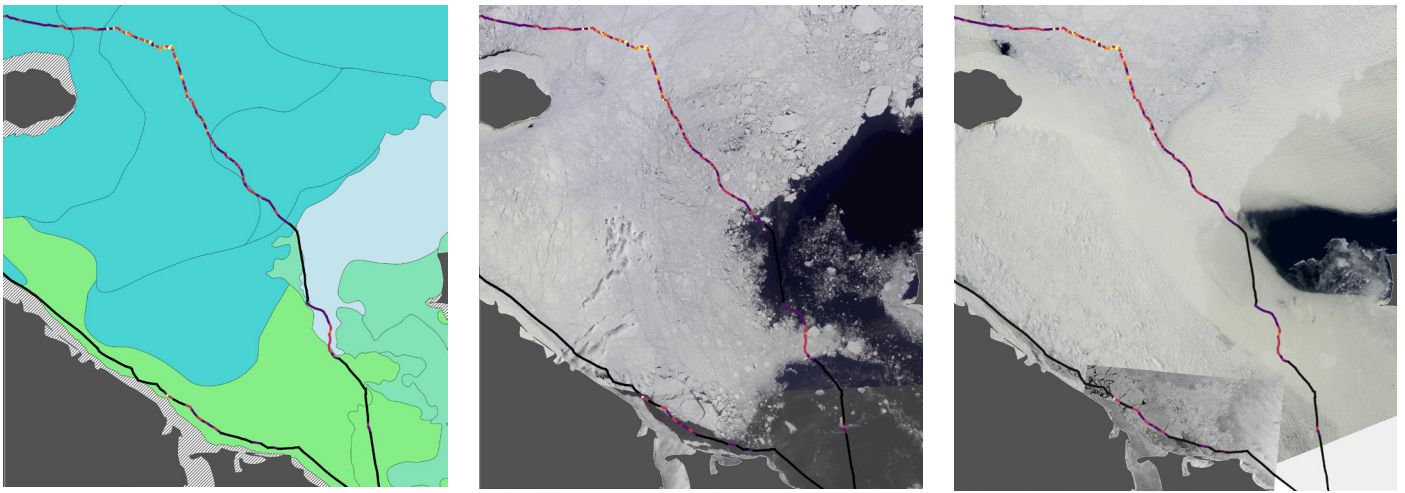


Рисунок 13 – Ледовая карта за 26-28 мая 2020 года (слева). Мозаика снимков радиометра VIIRS (Suomi-NPP), 27 и 30 мая 2020 года (в центре). Мозаика снимков радиометра MODIS (Terra) за 01 июня 2020 года и радиолокационного спутника Sentinel-1 за 2 июня 2020 года (справа). Маршруты движения газозовов «Кристоф де Маржери» (огибает о. Врангеля с севера) и «Владимир Воронин» (вдоль материкового побережья).

### «Владимир Русанов» - «Георгий Брусилов»

В отличие от первой пары, «Владимир Русанов» и «Георгий Брусилов» вышли с разницей всего в полтора суток. Маршруты почти на всём пути совпадали, за исключением участка в Восточно-Сибирском море (рис. 14). Невынужденная остановка была отмечена только у газозова

«Георгий Брусилов», который около 10 часов лежал в дрейфе в ожидании ледокола. Это время было исключено из анализа.

«Владимир Русанов» вышел из порта Сабетта ранним утром 29 июня 2020 года, а «Георгий Брусилов» выдвинулся на восток вечером следующего дня 30 июня 2020 года. Встреча с ледоколом «Ямал» произошла примерно в одной точке, к северо-востоку от Пясинского залива.

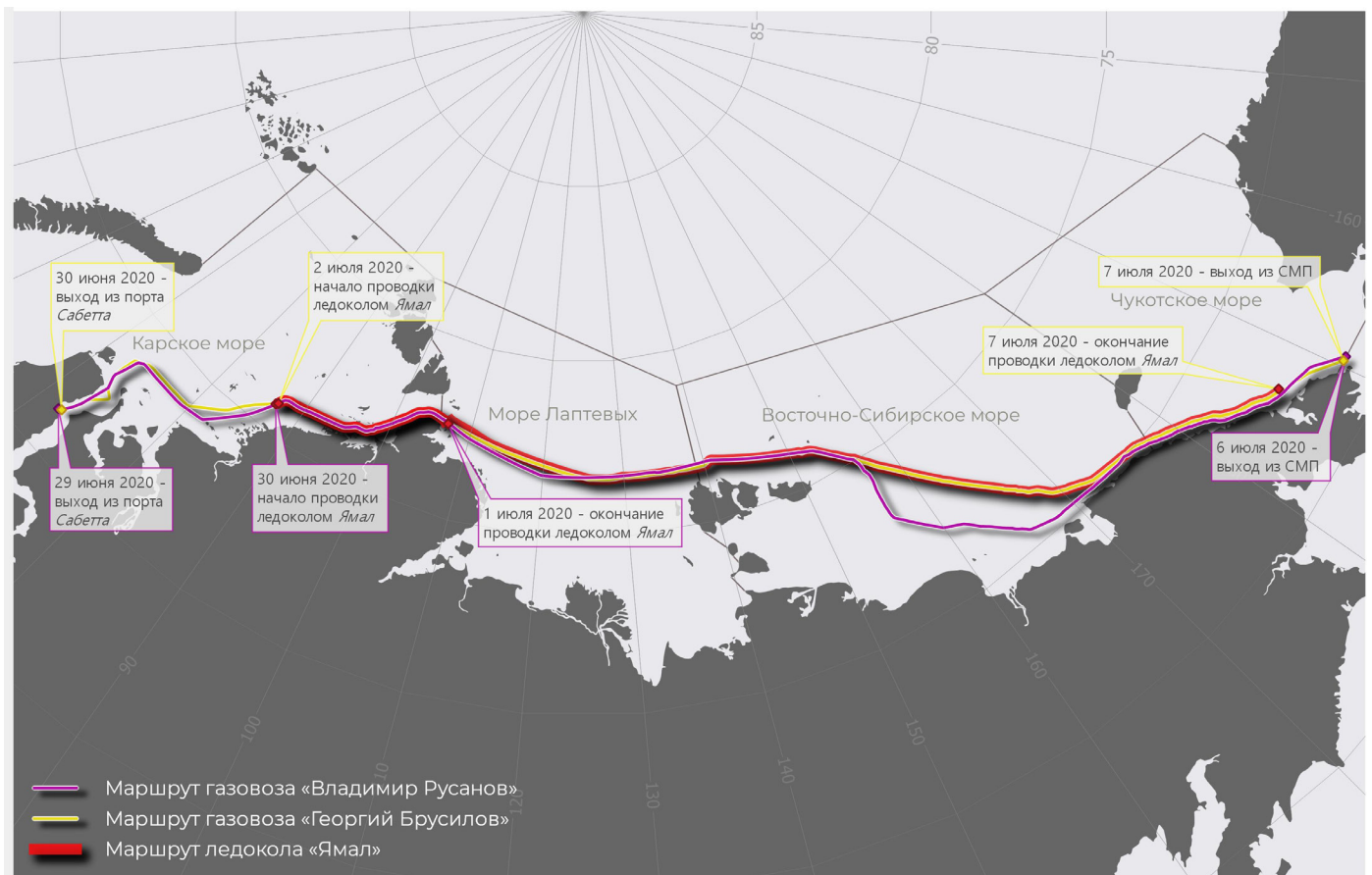


Рисунок 14 – Маршруты газозовов «Георгий Брусилов» и «Владимир Русанов» и ледокола «Ямал».

На момент выхода второй пары, ледовая обстановка на всем СМП не представляла для газозовов сложностей, и это подтверждается высокими показателями скорости на всём их пути (рис. 15 и 16). Минимальная средняя скорость на участке составила 11.7 узлов, максимальная – 15.9 узлов. В конце июня во всех морях идёт активное таяние и разрушение ледяного покрова. Северо-восточная часть Карского моря, море Лаптевых и Чукотское море в это время уже были наполовину свободными ото льда.

Совпадение треков газозовов и одинаковые ледовые условия позволяют сравнивать средние скорости газозовов по всему маршруту. Поэтому детального описания ледовой обстановки, как в случае с первой парой, далее не приводится.

**Первый участок** СМП оба ледокола прошли самостоятельно с высокой скоростью: «Владимир Русанов» - 15.2 узлов, «Георгий Брусилов» - 15.9 узлов.

**Второй участок** оба газозова прошли под проводкой ледокола «Ямал». Маршруты газозовов пролегли вдоль континентального побережья, пересекая припай в проливе Матисена. Припай в проливе Вилькицкого на момент прохода газозовов был уже разрушен (рис. 17 и 18). На выходе из пролива Вилькицкого самостоятельное движение продолжил только «Владимир Русанов». Средние скорости на втором участке составили 12.5 и 11.7 узлов для газозовов «Владимир Русанов» и «Георгий Брусилов» соответственно.

Большую часть пути на третьем участке в море Лаптевых оба газозова прошли по чистой воде по одному и тому же маршруту с одинаковой скоростью («Георгий Брусилов» - 15.5 узлов, «Владимир Русанов» - 15.4 узлов). Редкие (1-3 б.), разреженные (4-6 б.) и сплоченные (7-8 б.) льды газозовы встретили в восточной части моря на подходе к Новосибирским островам (рис. 19).

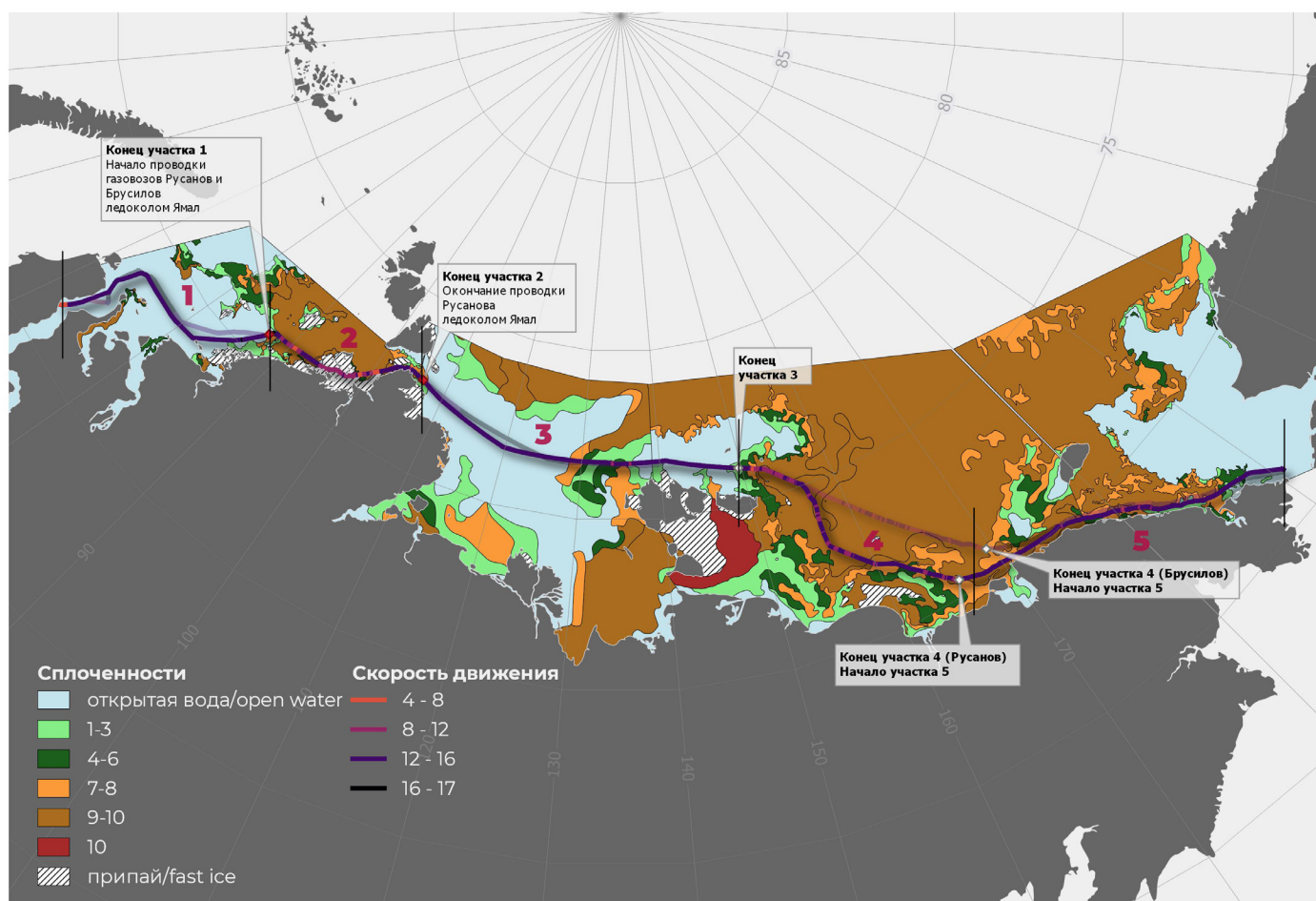


Рисунок 15 – Ледовая обстановка в морях СМП во время перехода на восток газозова «Владимир Русанов» и трек его движения со скоростями. Трек газозова «Георгий Брусилов» дан полупрозрачным цветом. Цифры 1-5 – номера участков, выделенные для сравнения.

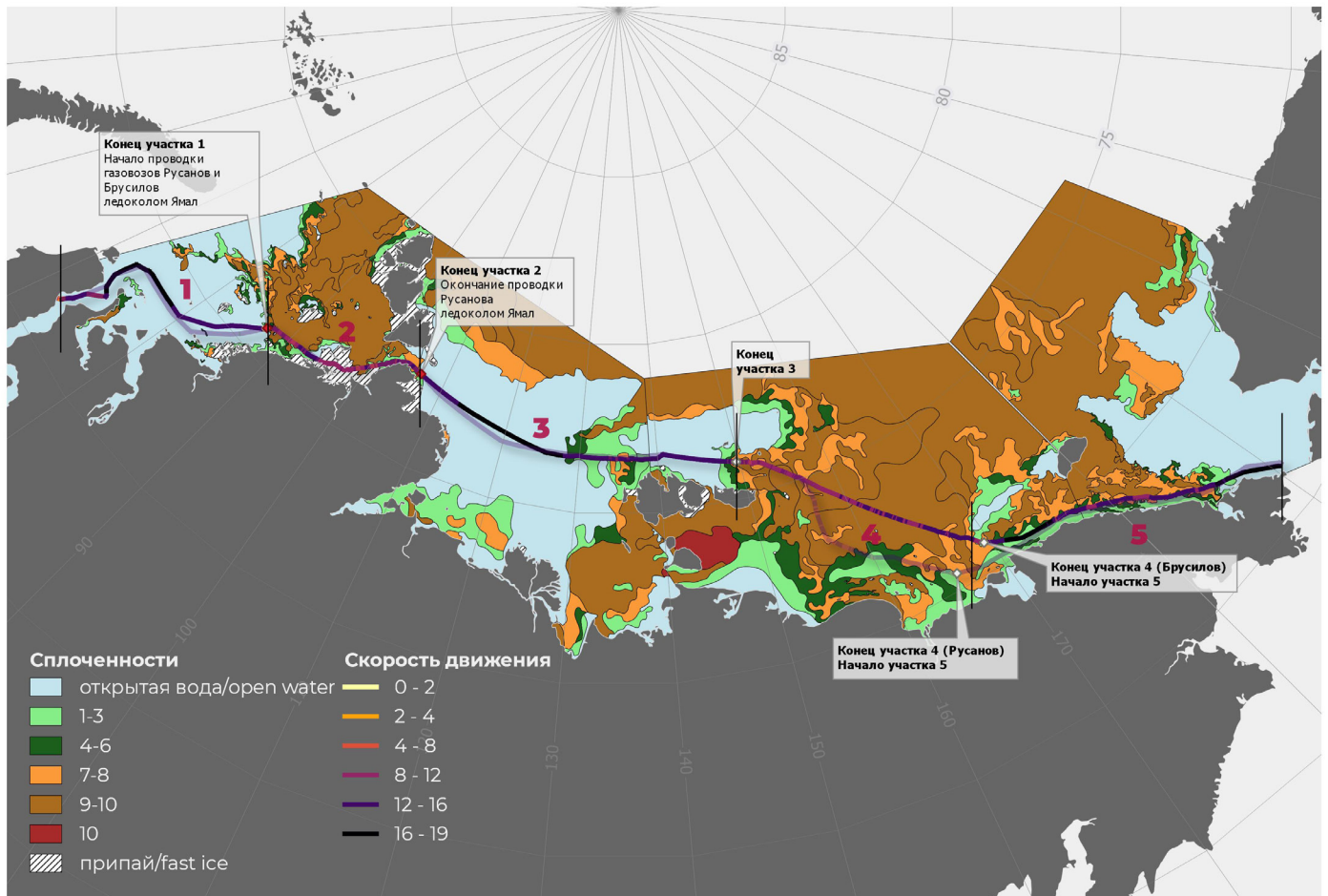


Рисунок 16 – Ледовая обстановка в морях СМП во время перехода на восток газозова «Георгий Брусилов» и трек его движения со скоростями. Трек газозова «Владимир Русанов» дан полупрозрачным цветом. Цифры 1-5 – номера участков, выделенные для сравнения.

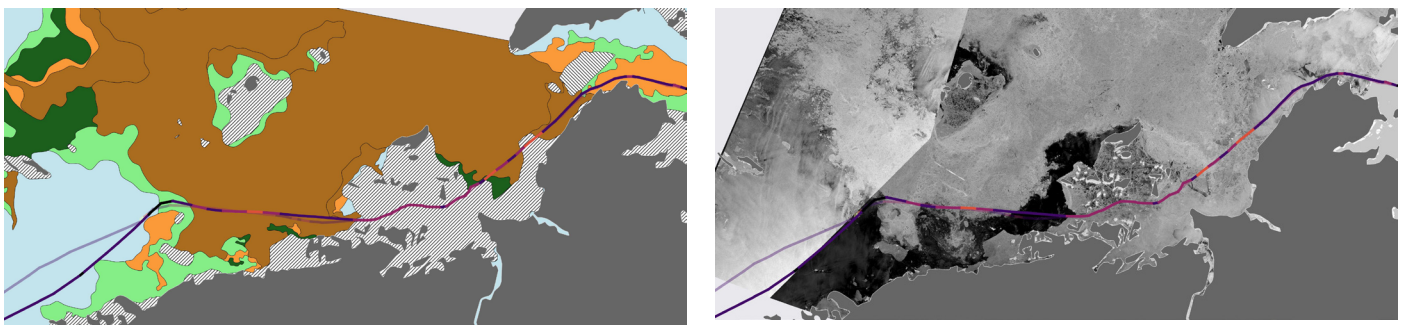


Рисунок 17 – Ледовая карта за 28-30 июня 2020 года (слева). Мозаика снимков радиолокационного спутника Sentinel-1, 30 июня и 1 июля 2020 года (справа). Маршрут газозова «Владимир Русанов» (трек газозова «Георгий Брусилов» дан полупрозрачным цветом).

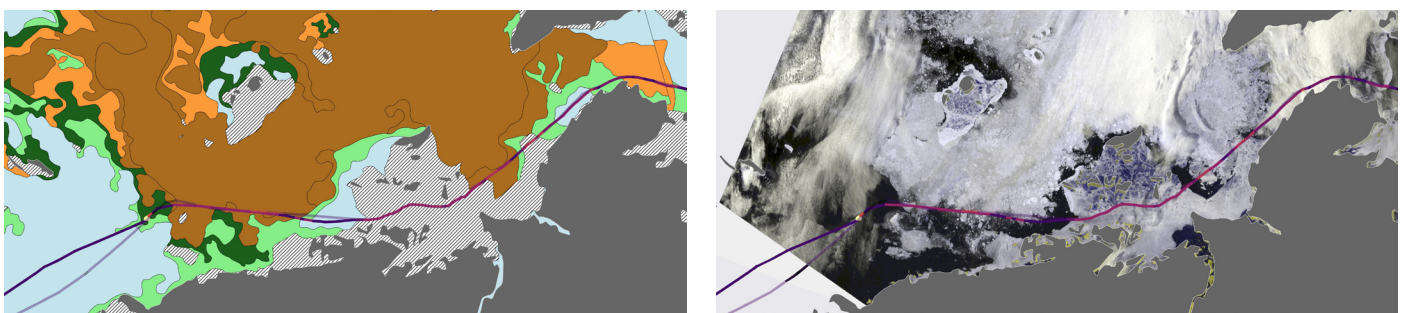


Рисунок 18 – Ледовая карта за 28-30 июня 2020 года (слева). Снимок радиометра MODIS (Terra), 3 июля 2020 года (справа). Маршрут газозова «Георгий Брусилов» (трек газозова «Владимир Русанов» дан полупрозрачным цветом).

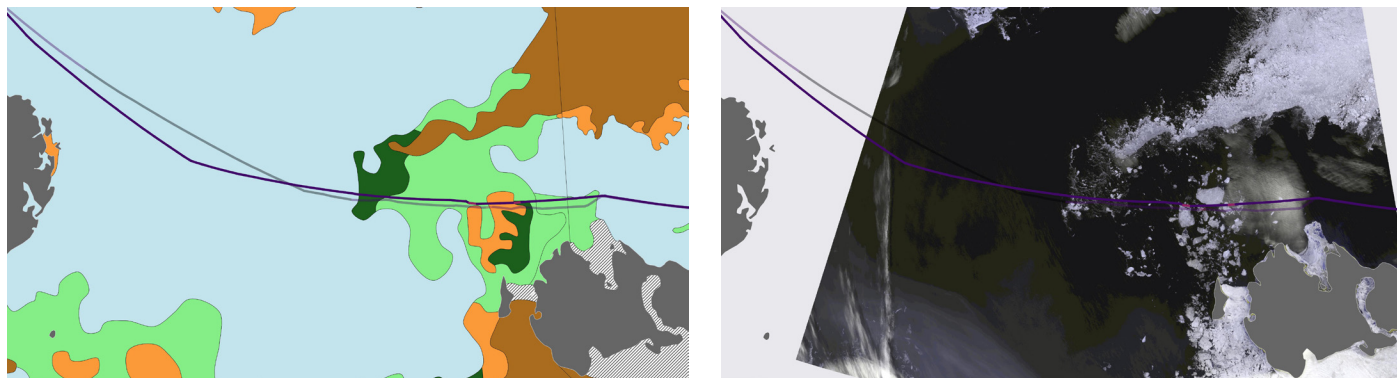


Рисунок 19 – Ледовая карта за 2-3 июля 2020 года (слева). Снимок радиометра MODIS (Terra), 2 июля 2020 года (справа). Маршрут газовоза «Владимир Русанов» (трек газовоза «Георгий Брусилов» дан полупрозрачным цветом).

На **четвёртом участке**, в Восточно-Сибирском море, маршруты газовозов впервые отклоняются. На широте о. Новая Сибирь «Владимир Русанов» поворачивает на юг и движется в этом направлении на протяжении 100 миль, после чего поворачивает на юго-восток в направлении на о. Айон и далее следует вдоль континентального побережья до самого выхода из СМП. Войдя в Восточно-Сибирское море и миновав Новосибирские острова, «Георгий Брусилов» и «Ямал» пошли напрямик через центральную часть акватории моря в юго-восточном направлении. Большую часть пути оба газовоза шли через очень сплоченные льды (9-10 б.), однако, «Владимир Русанов» раньше вышел в сплоченные (7-8 б.) и разреженные льды (4-6 б.) (рис. 20). В итоге, «Владимир Русанов» преодолел 4-й участок со средней скоростью 12.8 узлов, «Георгий Брусилов» - 12.1 узлов.

Последний, **пятый** участок оба газовоза прошли вдоль континентального побережья по полынье. Отдельные небольшие падения скорости (до 8 узлов) у газовоза «Владимир Русанов» случались из-за

встреч с обломками торосистого припая. У газовоза «Георгий Брусилов» наблюдались более длинные участки со сниженной скоростью. Караван проходил немного севернее по отношению к маршруту газовоза «Владимир Русанов», пересекая зоны очень сплоченного льда (9-10 б.) (рис. 21). Однако это не сказалось на средней скорости прохождения всего участка, которая составила 14.9 узлов (с учетом отрезка, пройденного газовозом самостоятельно по окончании проводки ледоколом «Ямал»), тогда как средняя скорость газовоза «Владимир Русанов» составила 14.6 узлов.

Средняя скорость прохождения всего СМП газовозом «Владимир Русанов» составила 14.1 узлов, а газовозом «Георгий Брусилов» - 14.0 узлов. Если из рейса газовоза «Владимир Русанов» исключить второй участок, пройденный под проводкой ледокола «Ямал», то его средняя скорость возрастет до 14.5 узлов. А если из рейса газовоза «Георгий Брусилов» исключить ту небольшую часть его пути, которую он прошёл самостоятельно (1-ый участок и частично 5-ый), то его средняя скорость

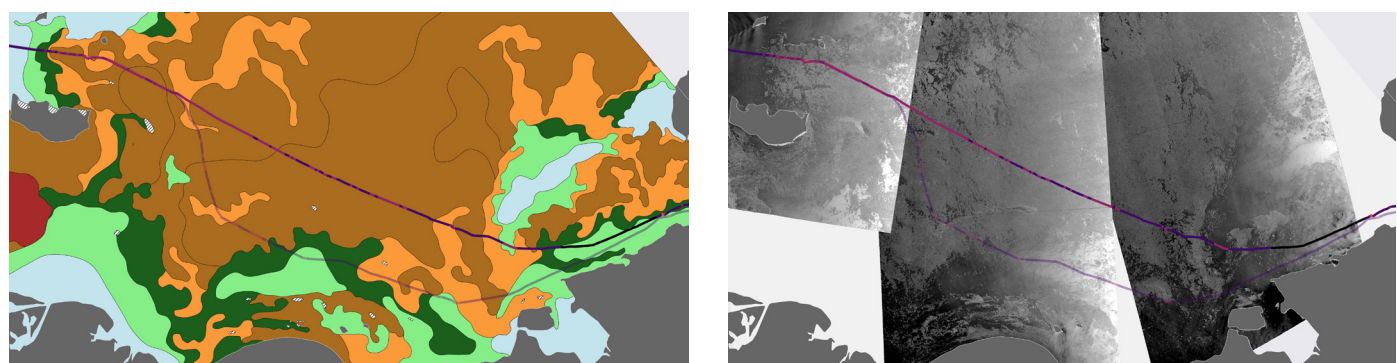


Рисунок 20 – Ледовая карта за 4-6 июля 2020 года (слева). Мозаика снимков радиолокационного спутника Sentinel-1, 4 июля 2020 года (справа). Маршрут газовоза «Георгий Брусилов» (трек газовоза «Владимир Русанов» дан полупрозрачным цветом).

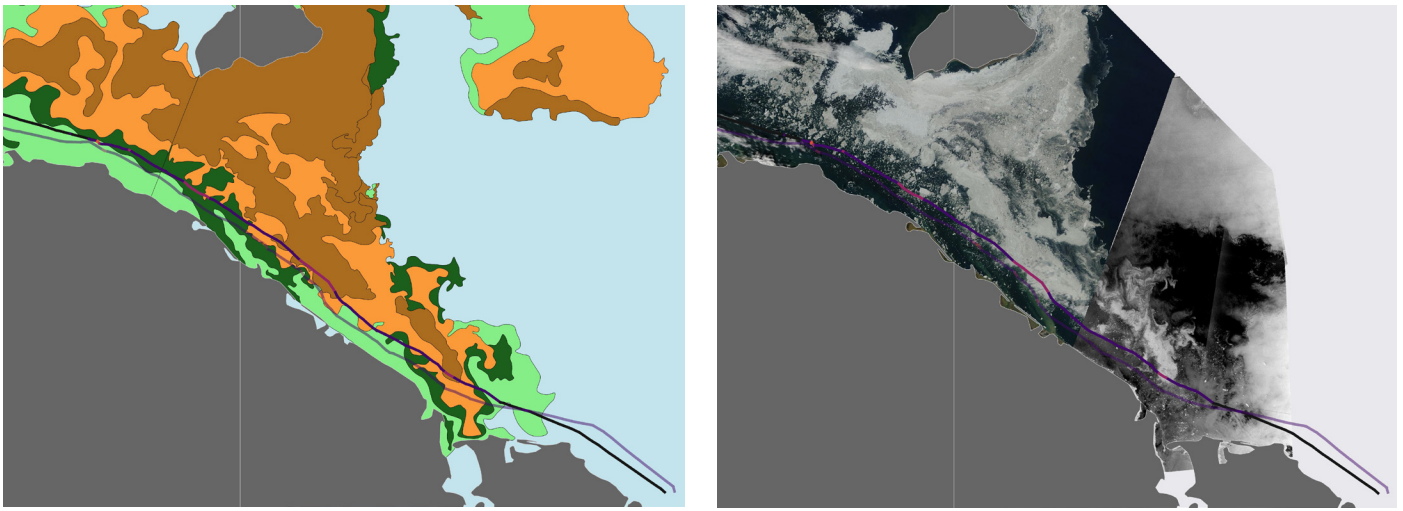


Рисунок 21 – Ледовая карта за 6-7 июля 2020 года (слева). Мозаика снимков радиометра MODIS (Terra) и радиолокационного спутника Sentinel-1, 6 июля 2020 года. Маршрут газовоза «Георгий Брусилов» (трек газовоза «Владимир Русанов» дан полупрозрачным цветом).

уменьшится до 13.4 узлов. Таким образом, средняя скорость газовоза «Владимир Русанов» в обоих случаях была выше. Тем не менее, «Георгий Брусилов» прошёл СМП немного быстрее (6.8 суток), чем «Владимир Русанов» (7.0 суток), маршрут которого оказался на 80 миль длиннее.

## Заключение

Затраты времени на проводку атомным ледоколом «Ямал» газовоза «Кристоф де Маржери» (18 – 31 мая 2020 года) составили 12.5 суток, пройдено 2525 миль, со средней скоростью 8.1 узлов (движение только с ледоколом). Затраты времени на рейс газовоза «Владимир Воронин» (24 мая – 2 июня 2020 года) составили 9.4 суток, пройдено 2572 миль, со средней скоростью 12.2 узла (только самостоятельное движение).

Сравнение самостоятельного движения газовозов и под проводкой ледокола по характеристикам всего маршрута невозможно из-за различий в ледовых условиях на отдельных протяженных участках. По результатам анализа 5 участков, на которые были разбиты маршруты газовозов, только 2 из них пригодны для сравнения: море Лаптевых, включая Новосибирские острова, а также западная и центральная часть Восточно-Сибирского моря. На участке в море Лаптевых сложились лёгкие ледовые условия. «Владимир Воронин» прошёл его на 2.5 узла быстрее (12.6 узлов), чем «Кристоф де Маржери» (10.1 узла) во многом благодаря отклоне-

нию своего маршрута к югу в обход более тяжелых льдов, и увеличению площади открытой воды на западе моря («Владимир Воронин» вышел на 5 суток позже). В Восточно-Сибирском море газовозы встретились с наиболее тяжелыми ледовыми условиями. Оба газовоза прошли этот участок примерно с одинаковой скоростью: «Кристоф де Маржери» - 7.2 узлов, «Владимир Воронин» - 7 узлов. Ледовые условия, несмотря на отклонение маршрута газовоза «Владимир Воронин» к югу, были схожими.

Затраты времени на проводку атомным ледоколом «Ямал» газовоза «Георгий Брусилов» (30 июня – 7 июля 2020 года) составили 6.8 суток, пройдено 2368 миль, со средней скоростью 13.4 узлов (движение только с ледоколом). Затраты времени на рейс газовоза «Владимир Русанов» (29 июня – 6 июля 2020 года) составили 7 суток, пройдено 2450 миль, со средней скоростью 14.5 узлов (только самостоятельное движение).

Вторая пара газовозов оказалось более показательной с точки зрения сравнения ледокольного и безледокольного движения. Поскольку рейсы начались почти в одно и то же время, а маршруты практически совпадали на всём пути, 4 из 5 участков подошли для сравнения (на 2-ом участке оба газовоза шли под проводкой ледокола). Средние скорости на всех рассматриваемых участках отличались незначительно, разница не превышала 1 узла: средняя скорость газовоза «Георгий Брусилов» была выше на 1-ом и 3-ем участках,

а у газовоза «Владимир Русанов» - на 4-ом и 5-ом участках.

Таким образом, сравнение движения газовозов не показывает существенного преимущества во времени или скорости при сопровождении (проводке) газовозов атомными ледоколами перед самостоятельным плаванием в относительно лёгких ледовых условиях, которые сложились в мае-июне 2020 года. Ледопроездимость газовозов типа Ямалмакс с ледовым классом Arc7 и атомных ледоколов проекта 10520 в описанных выше ледовых условиях показала сопоставимые результаты. Для подтверждения выводов необходимо провести дополнительные исследования, основанные на анализе предстоящих экспериментальных рейсов в 2021 году.

Сверхранний рейс газовоза «Кристоф де Маржери» подтвердил возможность расширения окна навигации, а следующий за ним рейс газовоза «Владимир

Воронин» и позже – газовоза «Владимир Русанов», показал, что при полноценном обеспечении гидрометеорологической информацией (спутниковые снимки, ледовые карты, метеорологические и ледовые прогнозы, навигационные рекомендации), в аналогичных (лёгких) ледовых условиях, возможен самостоятельный переход на восток при ледокольной поддержке на отдельных лимитирующих участках СМП. В этом году основной лимитирующий участок отмечался в центральной части Восточно-Сибирского моря. Из года в год количество и расположение лимитирующих участков на трассах СМП может меняться, поэтому для расстановки ледоколов и осуществления эффективного избирательного плавания, необходимо проводить сезонный мониторинг во всех морях СМП для определения и прогнозирования этих участков.

## Список литературы:

1. Приказ Министерства транспорта Российской Федерации (Минтранс России) от 17 января 2013 г. N 7 «Об утверждении Правил плавания в акватории Северного морского пути» // Российская газета. 2013. 19 апреля.
2. Платонов В.В., Тряскин В.В. Архитектурно-конструктивные особенности арктических судов двойного действия // Арктика: экология и экономика. 2019. № 3 (35). С. 84-96. DOI: 10.25283/2223-4594-2019-3-84-96.
3. Сайт компании «Современный Коммерческий флот (Совкомфлот, СКФ)». URL: [http://www.scf-group.ru/press\\_office/press\\_releases/item86385.html](http://www.scf-group.ru/press_office/press_releases/item86385.html) (дата обращения 24.12.2020).
4. First icebreaking LNG carrier in ice trials // Arctic Passion News (Aker Arctic Technology Inc Newsletter). 2017. No. 2 (14). P. 9-10. URL: [https://akerarctic.fi/app/uploads/2019/05/arctic\\_passion\\_news\\_2\\_2017\\_First-icebreaking-LNG-carrier-in-ice-trials.pdf](https://akerarctic.fi/app/uploads/2019/05/arctic_passion_news_2_2017_First-icebreaking-LNG-carrier-in-ice-trials.pdf).
5. Штрек А.А. Современные тенденции и вызовы при проектировании арктических транспортных судов // Российская Арктика. 2019. № 5. С.30-35.
6. Ольховик Е. О. Анализ скоростных режимов СПГ-танкеров в акватории Северного морского пути в период зимней навигации 2017 – 2018 гг. // Вестник Государственного университета морского и речного флота имени адмирала С. О. Макарова. 2018. Т. 10. № 2. С. 300-308. DOI: 10.21821/2309-5180-2018-10-2-300-308.
7. Макаров Е.И., Бресткин С.В., Гаврилов Ю.Г., Лямзин М.О., Фоломеев О.В. Первое безледокольное плавание по трассе Северного морского пути танкеров типа Yamalmax в период ранней летней навигации // Российские полярные исследования. 2018. Т. 33. № 3. С. 34-36.
8. Михайлов А. Лёд тронулся. По Севморпути впервые прошли два танкера без ледоколов // Российская газета. 2019. № 24 (7782). URL: <https://rg.ru/2019/02/05/reg-szfo/po-sevmorputi-vpervye-proshli-dva-tankera-bez-ledokolov.html> (дата обращения 13.12.2020)
9. Холопцев А.В., С.А. Подпорин. Перспективы безледокольной навигации судов класса Arc7 в районе Новосибирских островов в зимний период // Вестник Государственного университета морского и речного флота имени адмирала С. О. Макарова. 2019. Т. 11. № 5. С. 867-879.
10. Номенклатура морских льдов: условные обозначения для ледовых карт. – Л.: Гидрометеоиздат, 1974. 75 с.
11. WMO №259, WMO Sea-Ice Nomenclature. 2014.
12. Государственный научный центр РФ Арктический и антарктический научно-исследовательский институт. Обзор гидрометеорологических процессов в Северном ледовитом океане. I квартал 2020. 2020. 57 с. URL: [http://www.aari.ru/resources/m0035/gm\\_review\\_2020\\_1.pdf](http://www.aari.ru/resources/m0035/gm_review_2020_1.pdf) (дата обращения 13.12.2020).
13. Государственный научный центр РФ Арктиче-



ский и антарктический научно-исследовательский институт. Обзор гидрометеорологических процессов в Северном ледовитом океане. II квартал 2020. 2020. 63 с. URL: [http://www.aari.ru/resources/m0035/gm\\_review\\_2020\\_2.pdf](http://www.aari.ru/resources/m0035/gm_review_2020_2.pdf) (дата обращения 13.12.2020).

14. ФГБУ «Арктический и антарктический научно-исследовательский институт». Информационные материалы по мониторингу морского ледяного покрова Арктики и Южного Океана на основе данных ледового картирования

и пассивного микроволнового зондирования SSMR-SSM/ISSMIS-AMSR2. 11.05.2020 - 19.05.2020. 2020. № 20 (454). 62 с. URL: [http://wdc.aari.ru/datasets/d0042/2020/aari\\_20200511-20200519.pdf](http://wdc.aari.ru/datasets/d0042/2020/aari_20200511-20200519.pdf) (дата обращения 13.12.2020).

15. Сайт Polar Portal датских научно-исследовательских институтов DMI, DTU и GEUS. URL: <http://polarportal.dk/en/sea-ice-and-icebergs/sea-ice-thickness-and-volume/> (дата обращения 13.12.2020).

## References:

1. Prikaz Ministerstva transporta Rossijskoj Federacii (Mintrans Rossii) ot 17 yanvarya 2013 g. N 7 «Ob utverzhdenii Pravil plavaniya v akvatorii Severnogo morskogo puti» [Order of the Ministry of Transport of the Russian Federation from January 17, 2013 N 7 «On approval of the Rules for navigation in the waters of the Northern Sea Route»]. Rossijskaya gazeta [Russian Newspaper], 2013, 19 April. (In Russian).
2. Platonov V.V., Tryaskin V.N. Arhitekturno-konstruktivnye osobennosti arkticheskikh sudov dvojnogo dejstviya [Architectural and structural features of Arctic double-acting vessels]. Arktika: ekologiya i ekonomika – Arctic: ecology and economy, 2019, no. 3 (35), pp. 84-96. (In Russian). DOI: 10.25283/2223-4594-2019-3-84-96.
3. Sajt kompanii «Sovremennyj Kommercheskij flot (Sovkomflot, SKF)» [Site of the company «Sovcomflot (SCF)»]. (In Russian). Available at: [http://www.scf-group.ru/press\\_office/press\\_releases/item86385.html](http://www.scf-group.ru/press_office/press_releases/item86385.html).
4. First icebreaking LNG carrier in ice trials. Arctic Passion News (Aker Arctic Technology Inc Newsletter), 2017, no. 2 (14), pp. 9-10. Available at: [https://akerarctic.fi/app/uploads/2019/05/arctic\\_passion\\_news\\_2\\_2017\\_First-icebreaking-LNG-carrier-in-ice-trials.pdf](https://akerarctic.fi/app/uploads/2019/05/arctic_passion_news_2_2017_First-icebreaking-LNG-carrier-in-ice-trials.pdf).
5. Shtrek A.A. Current trends and challenges for the designing of Arctic cargo vessels. Russian Arctic, 2019, no. 5, pp. 30-35.
6. Ol'khovik E. O. Analiz skorostnyh rezhimov SPG-tankerov v akvatorii Severnogo morskogo puti v period zimnej navigacii 2017 – 2018 gg [Analysis of speed regime LNG-tankers in the Northern Sea Route in period of winter navigation 2017-18]. Vestnik Gosudarstvennogo universiteta morskogo i rechnogo flota imeni admirala S. O. Makarov – Journal of Admiral Makarov State University of Maritime and Inland Shipping, 2018, vol. 10, no. 2, pp. 300-308 (In Russian). DOI: 10.21821/2309-5180-2018-10-2-300-308.
7. Makarov Ye.I., Brestkin S.V., Gavrilov Yu.G., Lyamzin M.O., Folomeev O.V. Pervoe bezledokol'noe plavanie po trasse Severnogo morskogo puti tankerov tipa Yamalmax v period rannej letnej navigacii [The first navigation of LNG-tankers of type Yamalmax without an icebreaker through the Northern Sea Route in the early summer navigation period]. Rossijskie polyarnye issledovaniya – Russian Polar Researches, 2018, vol. 33, no. 3, pp. 34-36 (In Russian).
8. Mikhailov A. Lyod tronulsya. Po Sevmorputi vperve proshli dva tankera bez ledokolov [The ice has broken. Two tankers without icebreakers crossed the Northern Sea Route for the first time]. Rossijskaya gazeta – Russian Newspaper, 2019, no. 24 (7782). (In Russian). Available at: <https://rg.ru/2019/02/05/reg-szfo/po-sevmorputi-vperve-proshli-dva-tankera-bez-ledokolov.html> (accessed 12.12.2020).
9. Kholoptsev A.V., Podporin, S.A. Perspektivy bezledokol'noj navigacii sudov klassa Arc7 v rajone Novosibirskih ostrovov v zimnij period [Prospects for unescorted navigation of Arc7 ice-class vessels in the region of the New Siberian Islands during the winter period]. Vestnik Gosudarstvennogo universiteta morskogo i rechnogo flota imeni admirala S. O. Makarov – Journal of Admiral Makarov State University of Maritime and Inland Shipping, 2019, vol. 11, no. 5, pp. 867-879 (In Russian). DOI: 10.21821/2309-5180-2019-11-5-867-879.
10. Nomenklatura morskikh l'dov, uslovnyye oboznacheniya dlya ledovyh kart [Nomenclature of sea ice, symbology for ice charts]. Leningrad, Gidrometeoizdat, 1974, 75 p. (In Russian).
11. WMO-No.259, WMO Sea-Ice Nomenclature, 2014.
12. Obzor gidrometeorologicheskikh processov v Severnom ledovitom okeane. I kvartal 2020 [Overview of the hydrometeorological processes in the Arctic Ocean. 1st quarter of 2020]. Gosudarstvennyj nauchnyj centr RF Arkticheskij i antarkticheskij nauchno-issledovatel'skij institut – State Research Center of Russian Federation Arctic and Antarctic Research Institute, 2020. (In Russian). Available at: [http://www.aari.ru/resources/m0035/gm\\_review\\_2020\\_1.pdf](http://www.aari.ru/resources/m0035/gm_review_2020_1.pdf).
13. Obzor gidrometeorologicheskikh processov v Severnom ledovitom okeane. II kvartal 2020 [Overview of the hydrometeorological processes in the Arctic Ocean. 2nd quarter of 2020]. Gosudarstvennyj nauchnyj centr RF Arkticheskij

- i antarkticheskij nauchno-issledovatel'skij institut – State Scientific Center of Russian Federation Arctic and Antarctic Research Institute, 2020. (In Russian). Available at: [http://www.aari.ru/resources/m0035/gm\\_review\\_2020\\_2.pdf](http://www.aari.ru/resources/m0035/gm_review_2020_2.pdf).
14. Informacionnye materialy po monitoringu morskogo ledyanogo pokrova Arktiki i YUzhnogo Okeana na osnove dannyh ledovogo kartirovaniya i passivnogo mikrovolnovogo zondirovaniya SSMR-SSM/ISSMIS-AMSR2. 11.05.2020 - 19.05.2020. [Information on monitoring of sea ice cover in the Arctic and Southern Ocean, based on ice charts and passive microwave data from SSMR-SSM / ISSMIS-AMSR2. 11.05.2020 - 19.05.2020.]. FGBU «Arkticheskij i antarkticheskij nauchno-issledovatel'skij institut» – State Research Center of Russian Federation Arctic and Antarctic Research Institute, 2020. (In Russian). Available at: [http://wdc.aari.ru/datasets/d0042/2020/aari\\_20200511-20200519.pdf](http://wdc.aari.ru/datasets/d0042/2020/aari_20200511-20200519.pdf).
15. Polar Portal site of Danish research institutions DMI, DTU and GEUS. Available at: <http://polarportal.dk/en/sea-ice-and-icebergs/sea-ice-thickness-and-volume/>.

«Russian Arctic» is a scientific peer-reviewed journal, established in 2018. It publishes open access academic/scholarly research in Russian and English. Full text are available online. Double-blind peer-review process is supported.

LLC Center for Information and Legal Support for the Development of the Arctic is the Journal's founder and publisher.

ISSN (online): 2658-4255.

#### Focus and scope

- enable the scientists studying the Arctic to quickly publish the results of their research;
  - provide scientific support to strategic projects in the Arctic;
- draw the attention of a wide audience to healthcare issues faced by the Arctic's indigenous population, to the environment and climate of the Russian North;
- provide Russian and foreign scientists with a platform for dialogue and exchange of knowledge;
  - increase the prestige of Russian scientific research at the global level.

#### Section Policies:

2739 Public health, Environmental and Occupational health

2100 Energy

1900 Earth and Planetary Sciences:

1902 Atmospheric science

1905 Economic geology

1910 Oceanography

#### Publication frequency:

4 times a year; special and thematic issues are published on request.