

A large, jagged iceberg floats in the middle of a deep blue ocean. The sky above is a vibrant, multi-colored gradient, transitioning from purple and blue on the left to yellow and orange in the center, and back to blue and purple on the right. The water is dark blue with white-capped waves.

# Открывая Арктику заново

10 лет изучения  
уникального региона







# **Открывая Арктику заново**

**10 лет изучения  
уникального региона**



# Rediscovering the Arctic

10 years of exploring  
the unique region



# Открывая Арктику заново

10 лет изучения  
уникального региона

УДК 001.891  
ББК 26.0  
О-83

*Редакционный совет:* А. Н. Шишкин, Н. В. Попова,  
И. В. Андрианова, Э. О. Тимашев, В. Г. Лакеев, А. А. Пашали

*Составители и редакторы:* Д. Р. Загретдинова,  
Я. Е. Сергиевская, Г. Б. Клинов, А. И. Исаченко

*Руководители издания книги:* З. Р. Мадумарова,  
И. С. Федотов, Д. Р. Загретдинова, И. Н. Новикова

*Авторы:* М. Д. Балагуров, М. Л. Болдырев, О. А. Вербицкая,  
В. Е. Вержбицкий, Е. С. Гарова, А. М. Гончарова, С. А. Дубинцов,  
Я. О. Ефимов, Д. Р. Загретдинова, М. М. Засухин, Д. В. Илюшин,  
А. И. Исаченко, А. А. Колюбакин, Г. Б. Клинов, К. А. Корнишин,  
Р. Е. Лазарева, Т. В. Леонова, Н. А. Малышев, Т. Э. Мамедов, О. С. Махова,  
В. А. Мельникова, А. А. Пашали, Н. М. Семенихина, Я. Е. Сергиевская,  
И. Н. Серёжкин, М. В. Скарятин, П. А. Тарасов, Я. Е. Терёхина,  
Э. О. Тимашев, М. Ю. Токарев, А. С. Угрюмов, В. А. Чава, В. А. Шеин

*Руководители упомянутых в книге проектов и консультанты:*  
С. М. Артемьева, А. Т. Беккер, А. А. Бородулин, А. В. Бухановский,  
М. В. Гаврило, Ю. П. Гудошников, П. Ю. Дгебуадзе, Ю. В. Ермилова,  
К. А. Зайцев, Д. Г. Илюшин, Д. К. Комиссаров, Д. В. Корост,  
И. А. Кузин, Е. С. Лебедева, Е. У. Миронов, В. О. Мокиевский,  
И. Н. Мордвинцев, А. А. Найденко, А. В. Нестеров, Т. В. Нестерова,  
Д. А. Новикова, В. В. Обмётко, В. В. Рожнов, А. П. Савченко,  
Е. А. Смирнова, М. А. Соловьёва, А. П. Сошитов, В. Н. Суртаев,  
Д. А. Удовик, А. Б. Цетлин, Н. В. Шабалин, А. И. Шестаков

О-83 **Открывая Арктику заново. 10 лет изучения уникального региона** / ПАО «НК «Роснефть». —  
М.: ПАО «НК «Роснефть», 2022 — 240 с. ил.

ISBN 978-5-6043256-6-7

Это издание представляет собой обзор научных и прикладных исследований, выполненных компанией «Роснефть» на шельфе Российской Арктики с 2012 года. Написанная в жанре научно-популярной энциклопедии, книга предлагает неискушенному читателю познакомиться с современными методами научных изысканий и открытиями в области геологии, гидрометеорологии и экологии арктического региона, открыть для себя многообразие льдов, редких видов животных, тысячелетние наслоения пород, новейшие биотехнологии, вызовы и опасности ледовых плаваний. Читатель, хорошо знакомый с предметной областью, получит возможность оценить результаты работы коллег-ученых и перспективы дальнейших исследований Арктики. Источником информации о научных проектах для авторов книги стали непосредственные участники арктических экспедиций, ученые ведущих научно-исследовательских организаций страны и корпоративного института «Арктический научный центр».

УДК 001.891  
ББК 26.0

© ПАО «НК «Роснефть», 2022

ISBN 978-5-6043256-6-7

Студия Артемия Лебедева,  
дизайн и оформление, 2022



# Содержание

Арктика: основы . . . . .	11
Как изучать Арктику . . . . .	35
Региональные исследования . . . . .	61
Сбор гидрометеорологической информации . . . . .	71
Исследование биологических индикаторов . . . . .	97
Создание геологической модели Арктики . . . . .	125
Анализ гидрометеорологических данных . . . . .	141
Современные геологические процессы . . . . .	153
Мониторинг ледовой обстановки . . . . .	165
Микробный препарат для очистки морских систем . . . . .	189
Картографирование донных сообществ . . . . .	201
Оценка экологической чувствительности берегов . . . . .	217
Накопление научного знания . . . . .	229

# Предисловие

Эта книга — об Арктике, науке и людях. О том, как покорение природы сменилось исследованием и обрело особые черты: жажду научного познания, заботу об экологии, о безопасности людей, готовность делать все, чтобы не потревожить хрупкое природное равновесие.

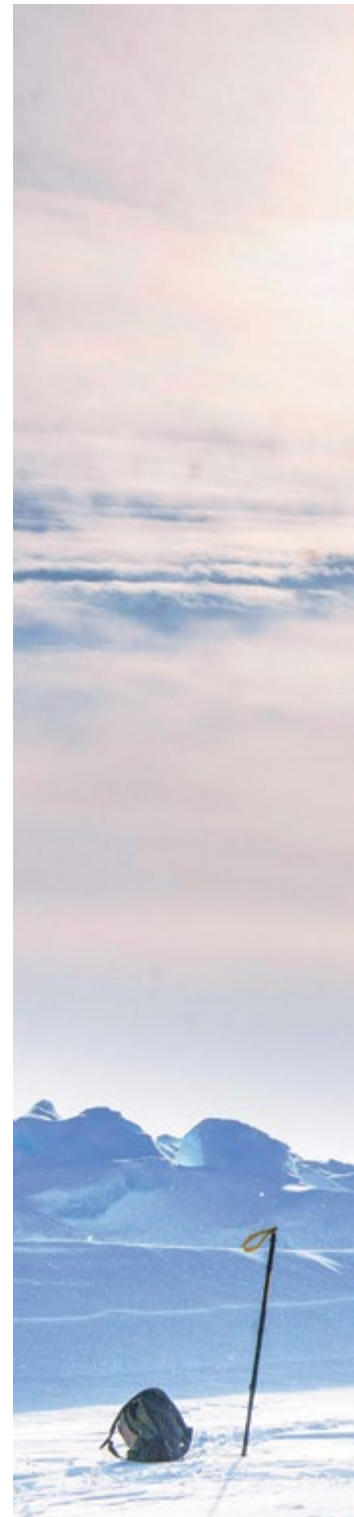
→ с. 28 Исследования, о которых пойдет речь в книге, сосредоточены на пяти морях Российской Арктики: Баренцевом, Карском, Лаптевых, Восточно-Сибирском и Чукотском. А точнее, на их шельфе: части морского дна, со стороны суши ограниченной береговой линией, а со стороны моря — перегибом поверхности дна, когда глубина резко увеличивается.

Поскольку получение научных результатов и разведка потенциальных нефтегазоносных районов требуют всесторонних исследований, книга освещает сразу несколько дисциплин: геологию, гидрометеорологию и экологию. Это значит, что речь пойдет об устройстве земной коры, арктическом климате, свойствах льда и его влиянии на навигацию, о редких арктических видах животных и восстановлении природных ресурсов. И, конечно, об ученых, чьи суда прокладывают путь навстречу новому знанию.

Исследовательские работы проводила компания «Роснефть» совместно с ведущими российскими научными и прикладными центрами изучения Арктики, в том числе с Арктическим научным центром — корпоративным институтом, учрежденным для сопровождения всей потенциальной деятельности компании в пределах арктического региона.

Эта книга задумана как итог 10 лет научной работы. В ее основе — современные результаты, которые опубликованы в научных журналах, запатентованы и награждены премиями. Цель, которую авторы ставили перед собой, — обобщить результаты исследований в виде, доступном как можно большему кругу читателей. Поэтому временами мы склонялись к упрощению терминов и чуть более вольному пересказу научных закономерностей. Мы благодарны ученым-экспертам за то, что они шли нам навстречу и не давали утратить достоверность изложения.

Мы также надеемся, что упрощение не только поможет читателю лучше понять материал, но и позволит самим ученым окинуть взглядом невероятные результаты проделанной работы.





# Как читать книгу

Любому автору или в нашем случае — коллективу авторов хочется, чтобы читатель прочел книгу от начала до конца. А затем возвращался, чтобы перечитать наиболее понравившиеся фрагменты.

Но это совершенно не обязательно, потому что вы держите в руках одновременно энциклопедию, атлас и журнал, а книги такого жанра редко кто читает от корки до корки. Вы вольны выбрать собственный способ прочтения — мы просто расскажем, как устроена книга.

В книге 13 глав. Одиннадцать основных глав посвящены научным проектам, и каждая из них — самостоятельный рассказ о том, какая задача стояла перед учеными и какими способами удалось ее решить.

Две первые главы — вводные, но от этого не менее ценные. Из них вы узнаете, насколько вообще удивительна та область Земли, которую изучала «Роснефть» в последние десять лет, а до нее — исследователи всего мира в течение семи веков. Вы увидите, какие именно исследования и в каком порядке проводились, как вообще устроена экспедиция.

Мы призываем вас не ограничивать себя и следовать за интересом. Смотрите [хронологию исследований](#) во вводной главе — и перейдите → с. 54 к теме, которая показалась вам наиболее любопытной. Изучите [цикл научного познания](#) — и следите за его этапами в каждой из основных глав. При чтении любой главы обратите внимание на отметку с номером страницы и посмотрите, куда приведет вас эта ссылка.

Или же — этот вариант всегда остается! — просто прочтите книгу от начала до конца. 📖







# Арктика: ОСНОВЫ





Северный полярный круг



# Что такое Арктика

Регион Арктика — северная полярная область Земли. Она примыкает к Северному полюсу и имеет только южную границу — по Северному полярному кругу. В России Арктику часто называют Заполярьем или Крайним Севером. Арктика состоит из суши (в основном тундры) и моря, которое значительную часть года покрыто льдом. Лед Арктики — огромный запас чистой питьевой воды. Общая площадь морского льда — до 4,72 млн км<sup>2</sup>. → с. 15

Арктика — регион с уникальной сезонностью: полгода здесь зима с полярной ночью, полгода — лето с полярным днем. Лето холодное, но полярный день дает достаточно света для вегетации растительности.

Территория Арктики включает окраины материков Евразии и Северной Америки, почти весь Северный Ледовитый океан с архипелагами и островами (кроме прибрежных островов Норвегии), прилегающие части Атлантического и Тихого океана.

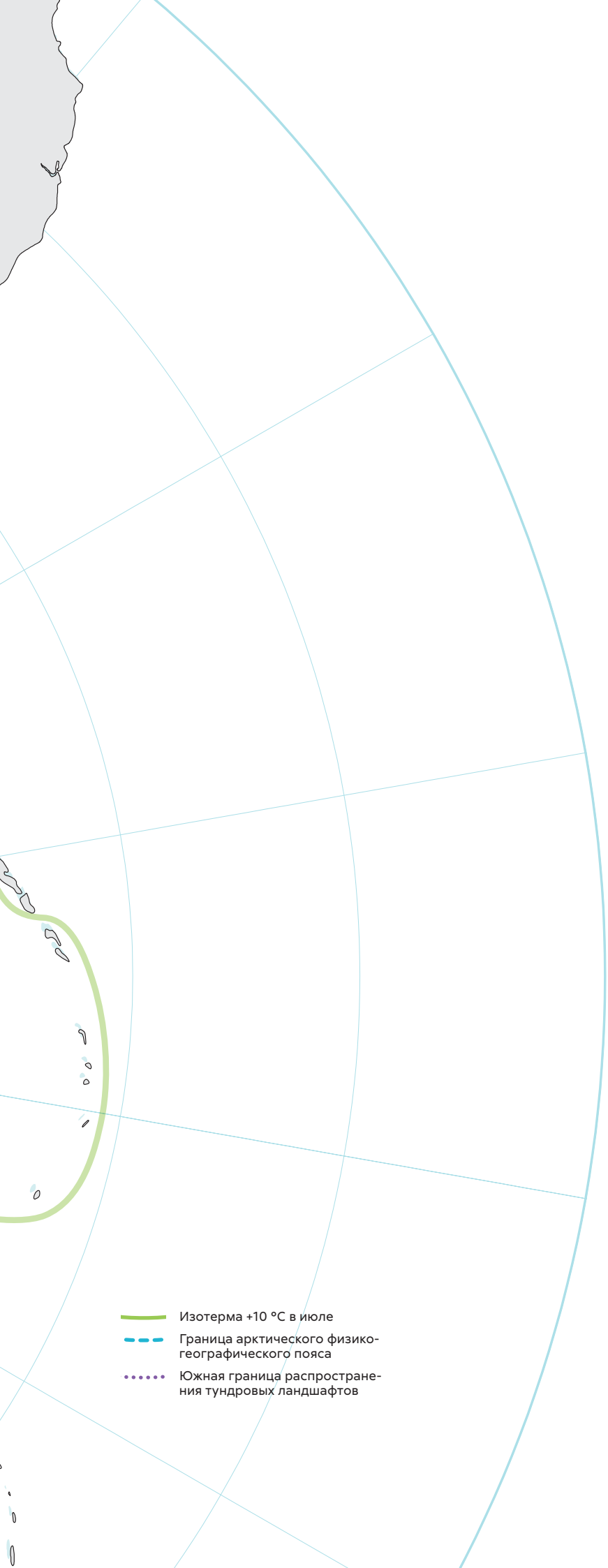
Водные территории Арктики:

- Северный Ледовитый океан с окраинными морями — Гренландским, Баренцевым, Карским, Лаптевых, Восточно-Сибирским, Чукотским, Бофорта, Линкольна, Норвежским;
- внутренние моря Северного Ледовитого океана: Белое море, море Баффина, многочисленные проливы Канадского Арктического архипелага, северные части Атлантического и Тихого океана.

Территории суши Арктики:

- Канадский Арктический архипелаг;
- остров Гренландия;
- архипелаги Шпицберген, Земля Франца-Иосифа, Новая Земля, Северная Земля;
- Новосибирские острова;
- остров Врангеля;
- северные побережья Евразии и Северной Америки.

В границах Арктики расположены территории восьми стран — России, Норвегии, Дании, Швеции, Финляндии, Исландии, Канады и США, но только у шести из них (России, Норвегии, Дании, Исландии, Канады и США) территория непосредственно примыкает к Северному Ледовитому океану.

- 
- Изотерма +10 °C в июле  
— Граница арктического физико-географического пояса  
— Южная граница распространения тундровых ландшафтов



## В чем разница между Арктикой и Антарктикой

Арктика полярна Антарктике географически, геологически и по степени освоенности человеком.

→ с. 165 Арктика — это северная полярная область Земли, покрытый льдом океан в окружении суши. Антарктика — южная полярная область, покрытый льдом материк Антарктида, окруженный Тихим, Атлантическим и Индийским океанами. В Арктике водятся белые медведи, а в Антарктике — пингвины. В Арктике постоянно проживают около 4 млн человек, а в Антарктике — только сотрудники полярных станций, около 4000 человек летом и около 1000 зимой.

Территории и акватории Арктики поделены между арктическими государствами. Антарктика используется в интересах всего человечества согласно Договору об Антарктике от 1 декабря 1959 года. Договор предусматривает свободу научных исследований и поощряет международное сотрудничество, запрещает любую военную деятельность, ядерные взрывы и захоронения радиоактивных материалов.

→ с. 20 Объединяет эти регионы наличие полярного дня и полярной ночи, а также экстремально низкие температуры. Сходство в названиях регионов объясняется тем, что в их основе — древнегреческое слово *арктос* (ἄρκτος) — медвежий, относящийся к созвездию Большой Медведицы, северный.

→ с. 16

## Границы Арктики

Площадь Арктики — 27 млн км<sup>2</sup>. Почти половину площади, 12 млн км<sup>2</sup>, занимает Северный Ледовитый океан. Граница Арктики на суше совпадает с южной границей тундры, но иногда южной границей считают Северный полярный круг, в таком случае площадь Арктики составляет 21 млн км<sup>2</sup>. Площадь Российской Арктики — 9,3 млн км<sup>2</sup>, из них 6,8 млн км<sup>2</sup> — морская акватория.

Существует несколько подходов к определению [границ Арктики](#).

→ с. 12

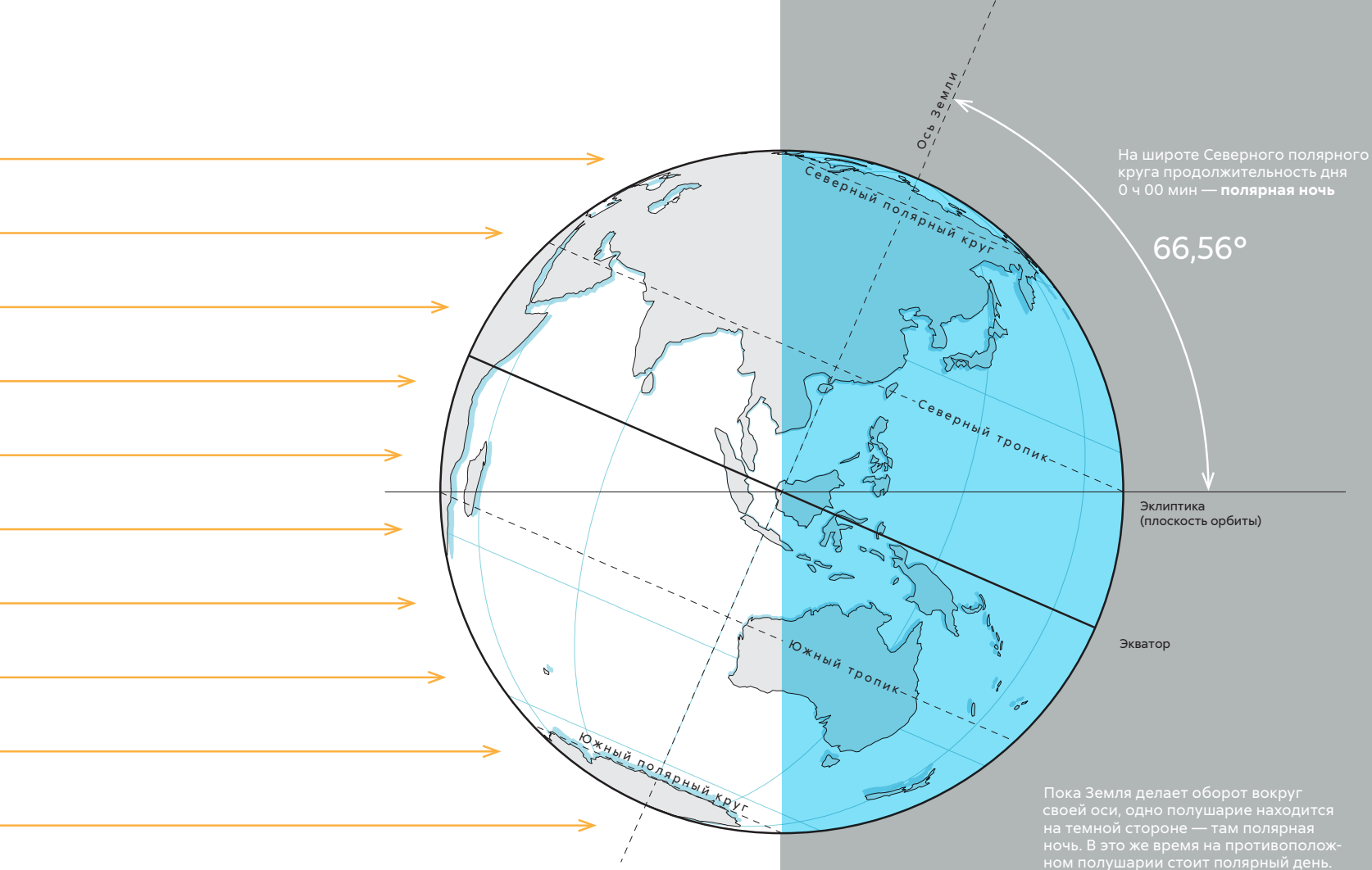
С климатической точки зрения южную границу Арктики можно выделить по расположению июльской изотермы 10 °С, проходящей севернее полярного круга и смещенной к югу от этого географического рубежа лишь в районе Белого моря, Полярного Урала, Хараулахского хребта и на восточном побережье России.

В геоботаническом отношении южная граница Арктики на суше совпадает с северной границей распространения древесной растительности или с южной границей тундры и хорошо согласуется с расположением июльской изотермы 10–12 °С.

На основе учета комплекса климатических и ландшафтных характеристик природной южной границей региона принимается условная линия, для которой величина годового радиационного баланса равна 62,8 кДж/см<sup>2</sup>, а средняя температура июля — +10 °С. Ее расположение корректируется с учетом южного рубежа зоны тундр и рельефа. При таком выборе границ Российская Арктика включает часть Северного Ледовитого океана с входящими в его состав морями и островами, окраину Евразии, занятую тундрой, ледниковыми и пустынно-арктическими ландшафтами.

### 66°33'44" с. ш.

**Северный полярный круг** — параллель, на широте которой солнце в летнее солнцестояние не заходит, а в день зимнего солнцестояния не восходит.



## Полярный день и полярная ночь

Земля как космическое тело обращается вокруг Солнца за один год. При таком орбитальном движении происходит смена времен года: весна, лето, осень и зима. Также Земля за сутки обращается вокруг своей оси — возникают день и ночь.

В космическом пространстве Земля наклонена — с орбитальной плоскостью ось планеты образует угол в  $66,56^\circ$ . Во время очередного поворота вокруг Солнца, когда Северное или Южное полушарие оказывается ближе к светилу, на Земле появляются две области, на одну из которых солнечные лучи попадают постоянно, а другая всегда находится в тени. Эти две области — Северный и Южный полюсы.

В полярный день Солнце не заходит за горизонт дольше суток, а в полярную ночь дольше суток не появляется из-за горизонта.

Продолжительность полярного дня и полярной ночи зависит от широты. Самый короткий полярный день наблюдается на широте полярного круга. Самый долгий полярный день наблюдается на полюсах — более 6 месяцев. На Северном полюсе это примерно 190 дней с 19 марта по 25 сентября, на Южном — 184 дня с 21 сентября по 23 марта.

Самая короткая полярная ночь (двое суток) наблюдается на широте Северного полярного круга. Самая длинная полярная ночь наблюдается на Южном полюсе — чуть менее шести месяцев.

В Арктике полярный день наступает летом. Это благоприятствует экспедиционным научным исследованиям — освещенность позволяет проводить работы на судне почти круглосуточно, меняя смены научного состава экспедиции. → с. 48

Однако стоит помнить, что длительное нахождение в условиях продолжительного светового дня или, наоборот, в условиях полярной ночи сказывается на организме неадаптированного человека из-за нарушения баланса мелатонина и серотонина соответственно.

**Продолжительность полярной ночи и полярного дня в разных широтах Арктики**

Полярная ночь      Полярный день

176      189

Смена дня и ночи

166      178

155      169

144      158

134      148

123      137

111      126

99      114

86      100

72      86

55      70

23      40

**о. Рудольфа** 81°49' с. ш.  
Крайняя северная точка  
Евразии. Полярная ночь  
длится около 133 суток  
с 16 октября  
по 26 февраля

**Нагурское** 80°48' с. ш.  
Самый северный поселок  
и аэродром России.  
Полярный день длится  
около 143 суток с 11 апреля  
по 31 августа. Средне-  
годовая температура  
воздуха -11,8 °С



## Северное сияние

Его еще называют полярным сиянием. Это свечение верхних слоев атмосферы Земли при взаимодействии ее с заряженными частицами солнечного ветра. Происходит оно из-за взрывов на поверхности Солнца, когда частицы солнечного вещества долетают до Земли. Магнитное поле Земли направляет эти частицы к полюсам, где они вызывают обширные магнитные бури. Большинство заряженных частиц солнечного ветра отражаются, однако некоторым удается прорваться в магнитное поле Земли. Эти частицы и образуют свечение, сталкиваясь с молекулами воздуха в верхней части атмосферы (примерно в 100 км над Землей). Желтый, зеленый и красный цвет вызывает кислород, а синий и фиолетовый — азот.

→ с. 195 Фотография северного сияния сделана на [Беломорской станции МГУ](#).



# Климат Арктики

Климат Арктики суров, но разнообразен. Наиболее мягкие климатические условия отмечаются в западной части Атлантического сектора Арктики, в частности над акваторией Баренцева моря. Температура самого холодного месяца зимы (февраля) составляет здесь в среднем  $-4...-6\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Но, несмотря на относительно высокий температурный фон, этот регион характеризуется чрезвычайно высокой повторяемостью штормовых циклонов, а значит, сильных ветров, морского волнения и экстремальных осадков. Наиболее суровые условия складываются на арктическом побережье морей Восточной Арктики в зимние месяцы в результате сочетания низкой температуры ( $-30...-35\text{ }^{\circ}\text{C}$ ), высокой повторяемости штормовых ветров и метелей. Климатические условия большей части арктических территорий зимой идентифицируются как суровые, а на арктическом побережье морей Восточной Арктики — как исключительно суровые.

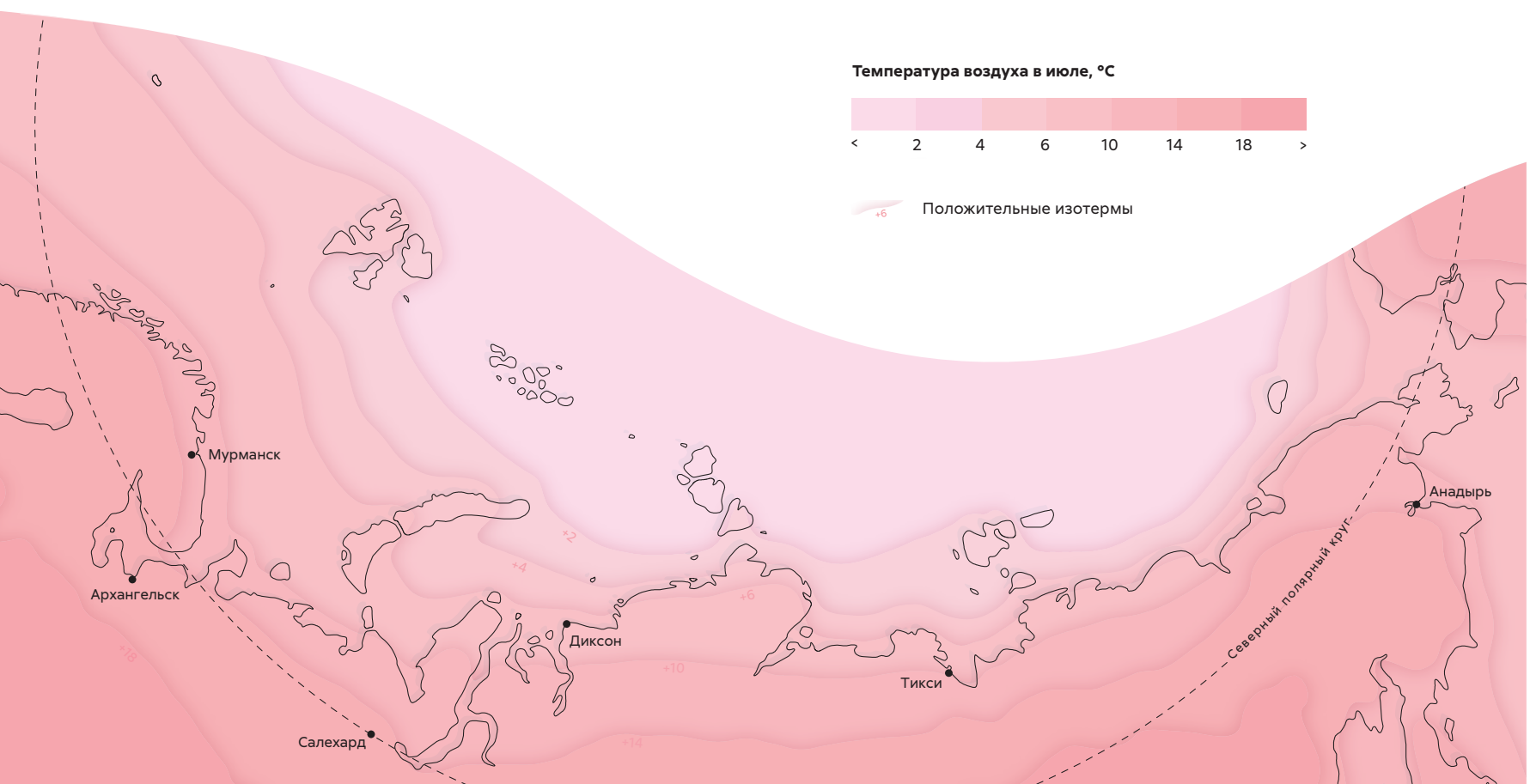
В летние месяцы самые низкие значения температуры фиксируются над ледяным щитом Гренландии (в среднем  $-10...-15\text{ }^{\circ}\text{C}$ ), а самые высокие — вблизи южной границы тундры в Евразии и Северной Америке (в среднем  $+10...+15\text{ }^{\circ}\text{C}$ ). Над массивами морских льдов температура воздуха в течение лета колеблется около  $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ .

Ледяной покров Арктики формируется из морских льдов и айсбергов. → с. 166  
В зависимости от сезона ледяной покров занимает от 45–50 % (сентябрь–октябрь) до 75–80 % площади Северного Ледовитого океана. Зимой ото льда свободна только западная и центральная части Баренцева моря, все остальное морское пространство занято льдами. У берегов материков, архипелагов и островов в октябре — ноябре образуется припай. При образовании припая в результате динамических воздействий дрейфующих льдов со стороны открытого моря формируются гряды торосов, а в случае, если они садятся на дно, — стамухи.

Климатические (гидрометеорологические и ледовые) условия Арктики требуют, чтобы с ними считались:

- с. 40 — короткий навигационный период, высокая вероятность штормов и сильного морского волнения требуют от ученых детального планирования каждого действия в экспедиции, чтобы успеть выполнить весь объем исследований в срок;
- с. 176 — сложная ледовая обстановка и недостаточность данных о ней вызывают необходимость собирать максимальное количество натуральных данных о состоянии льдов и разрабатывать методы по обеспечению ледовой безопасности для объектов на море и в прибрежной зоне;
- с. 144 — недостаток априорных данных требует от ученых-гидрометеорологов сбора гидрометеорологической информации в ходе специальных экспедиционных исследований и с помощью наблюдательной сети, проведения сложных математических расчетов и моделирования процессов в атмосфере и океане;
- с. 149 — необходимых для планирования любой хозяйственной и научной деятельности в Арктике.

**Припай** — малоподвижный морской лед, частично смерзшийся с берегами и дном на мелководных участках.





# Берега морей

Граница суши и моря — крайне динамичная и разнообразная среда. В арктических морях динамика береговой зоны характеризуется суммарным эффектом следующих факторов:

- с. 218 — геолого-геоморфологическим строением берега и подводного берегового склона;
- гидролого-гидродинамическими процессами, включающими ветер, волнение и уровень моря;
- действием течений;
- криолитологическим состоянием пород, слагающих берег и прибрежное дно;
- ледовыми явлениями и динамикой прибрежно-морских наносов.

- с. 224 Среди арктических побережий встречаются мало измененные морем берега (фьордовые и шхерные), они характерны для Белого и Баренцева морей. Берега Карского моря неоднородны, там встречаются как выровненные и бухтовые, так и слабо измененные берега, а также обширные дельты, сформированные крупными реками. В районе морей Лаптевых, Восточно-Сибирского и Чукотского берега на отдельных участках дельтовые, местами лагунные, также распространены другие типы абразионных и аккумулятивных берегов.

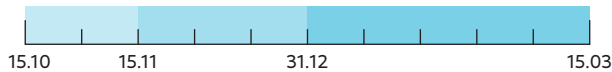
**Криолитология** — наука, изучающая геологические процессы и их литологический и геоморфологический эффект в связи с промерзанием и протаиванием горных пород, то есть с льдообразованием или исчезновением льда в земной коре.

**Берег** — зона взаимодействия всех природных сфер и, как следствие, зона повышенного ландшафтного и биологического разнообразия. Но берег также важен в хозяйственном отношении, что вызывает необходимость не допускать рисков, связанных с любым хозяйственным использованием береговой зоны. Чтобы минимизировать риски, нужно знать, какие именно участки берегов морей Арктики требуют повышенного внимания и защиты, — для этого была разработана и применена методика картографирования и оценки экологической чувствительности берегов. Также необходимо разрабатывать конкретные методы защиты берегов от возможного негативного влияния антропогенных факторов — для этих целей был разработан микробный препарат для очистки северных акваторий от нефтяных загрязнений, эффективный именно для арктических условий.

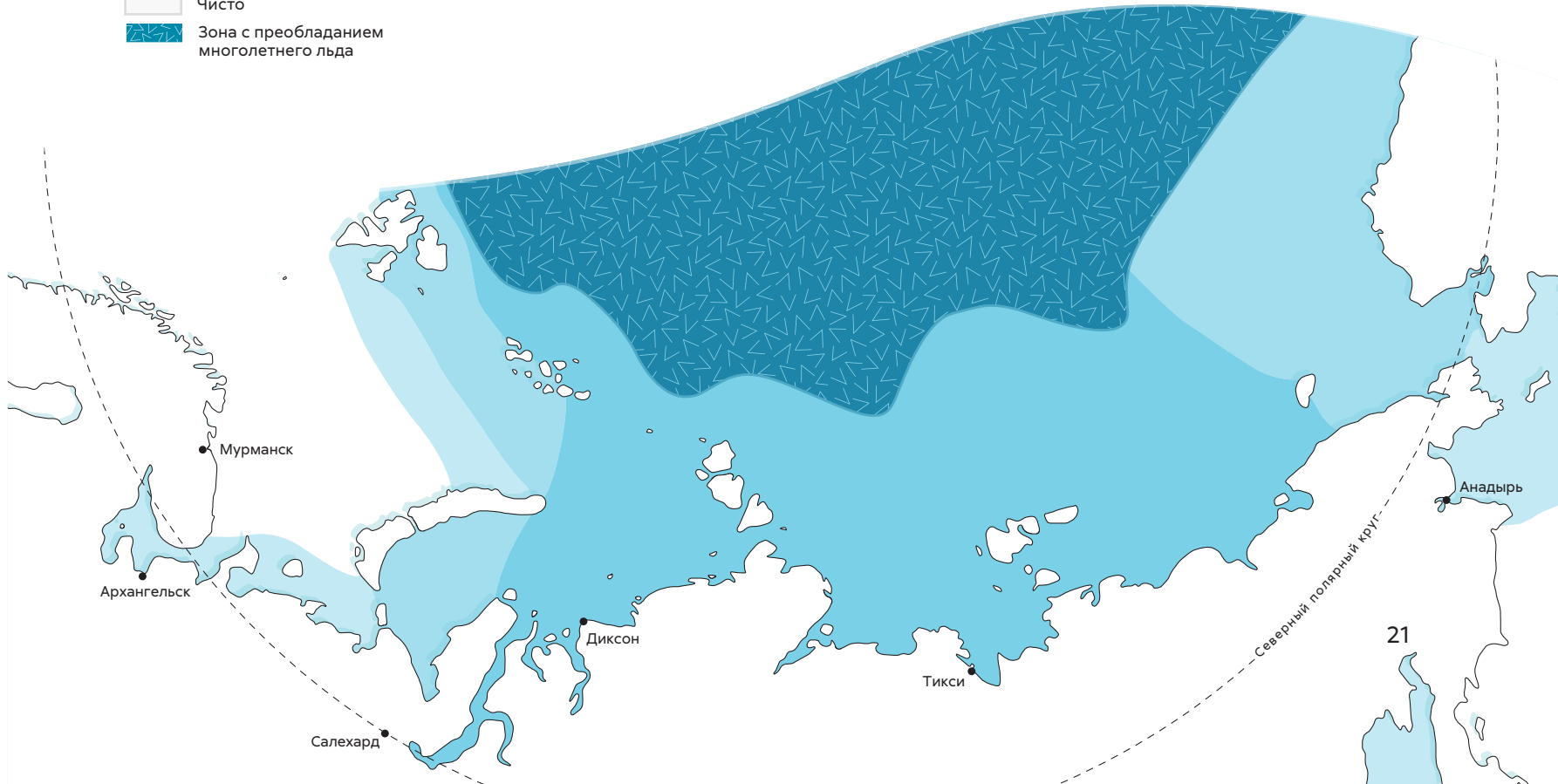
→ с. 217

→ с. 189

Сроки начала устойчивого льдообразования



- Чисто
- Зона с преобладанием многолетнего льда



# Растительный мир

Растительный покров Арктики имеет огромное значение для биоразнообразия Земли — арктические и субарктические экосистемы насчитывают больше 2000 видов сосудистых растений, многие из которых нигде более не встречаются.

Растительные сообщества представлены двумя типами — полярно-пустынным и тундровым. В Арктике произрастают карликовые кустарники, злаки, травы, лишайники и мхи. Низкие летние температуры обуславливают небольшие размеры растений. В регионе нет деревьев, однако в теплых областях встречаются кустарники до 2 метров в высоту.

На архипелагах и островах Северного Ледовитого океана (Земля Франца-Иосифа, Новая Земля, Северная Земля, Новосибирские острова) располагается зона арктической пустыни. Здесь практически нет растительности, в основном встречаются мхи и лишайники, редко травы, устойчивые к низким температурам, — например, полярный мак.

Большая часть Гренландии, центральные части островов Канадского Арктического архипелага, Шпицбергена, северной части Новой Земли покрыты ледниками и лишены почвенного и растительного покрова.

Основную часть Арктики занимает зона тундровой растительности, вытянутая вдоль побережья Северного Ледовитого океана в Евразии и Северной Америке. Тундры занимают также значительную часть Шпицбергена и других архипелагов, не покрытые льдом прибрежные участки Гренландии, северную часть Исландии. В тундровом типе отсутствует древесный ярус, значительную роль играют низкорослые кустарники и кустарнички, широко распространены лишайники, мхи и многолетние травы.



# Животный мир

Арктику населяет больше 20 тыс. видов животных, растений, микроорганизмов и грибов, в том числе 450 видов рыб, 280 видов птиц, 130 видов млекопитающих, 4 вида рептилий и 3 вида амфибий. Насекомых в Полярном регионе насчитывается порядка 3 тыс. видов. Преобладание ихтиофауны среди других позвоночных животных объясняется тем, что треть Арктики занимают акватории.

Вследствие суровых климатических условий фауна морей Арктики относительно бедна, но при этом численность популяций отдельных видов высокая, и они могут быть широко распространены. В настоящее время известно около 5000 видов морских беспозвоночных животных. Из них более 4000 — обитатели морского дна, или *макробентос*.

Обитатели водной толщи — планктон — менее разнообразны, их насчитывается менее 400 видов. Среди обитателей морского дна наиболее разнообразны членистоногие, кольчатые черви и моллюски. Тем не менее биоразнообразие высоких широт и морей Восточной Арктики изучено недостаточно — каждый год экспедиции приносят сведения о новых находках. Как это ни удивительно, хуже всего изучена жизнь в самой мелководной зоне — от уреза воды до глубины 10–12 метров. Большие суда не могут работать на таких глубинах, а работы с берега и с моторных лодок сопряжены с большими организационными трудностями. В результате население прибрежной зоны в Карском, Лаптевых, Восточно-Сибирском и Чукотском морях известно сейчас по очень небольшому числу точек, где такие исследования удалось провести.

Арктика — место обитания целого ряда эндемичных (специфичных, обитающих на ограниченном ареале) животных: овцебык, дикий северный олень, снежный баран, белый медведь, арктический беляк, лемминг, росомаха, горностай, длиннохвостый суслик. Эндемичны и многие виды птиц и морских обитателей. В морях Арктики обитают тюлени, моржи, китобразные (усатые киты, нарвалы, косатки и белухи). Полярным летом в тундровой зоне Арктики гнездятся миллионы перелетных птиц.

**Макробентос.** Так называют беспозвоночных животных, ползающих по поверхности дна, зарывающихся в грунт, приросших к камням и скалам, то есть всех, чья жизнь связана с границей дна и воды.

Донные сообщества макробентоса — прекрасные биологические индикаторы устойчивости экосистем, частью которых они являются: они ведут прикрепленный или малоподвижный образ жизни и показывают кумулятивную картину изменений, происходящих вокруг них. Традиционные методы изучения таких донных сообществ очень затратны по времени, что недопустимо для короткого экспедиционного сезона в Арктике, и не дают представления о состоянии и динамике всего сообщества. Компания разрабатывает и применяет новые методы картографирования донных сообществ, с помощью которых повышается точность и скорость таких исследований.

→ с. 202



→ с. 100

Молодой песец (полярная лисица) в летнем окрасе. Этот вид — единственный представитель семейства псовых, которому свойственна смена окраски в зависимости от времени года (сезонный диморфизм)

→ с. 98 В рамках нацпроекта «Экология» компания «Роснефть» реализует проекты по изучению, мониторингу и защите животных Арктики, являющихся индикаторами состояния экосистем региона (дикий северный олень, белый медведь, атлантический морж, а также белая чайка).

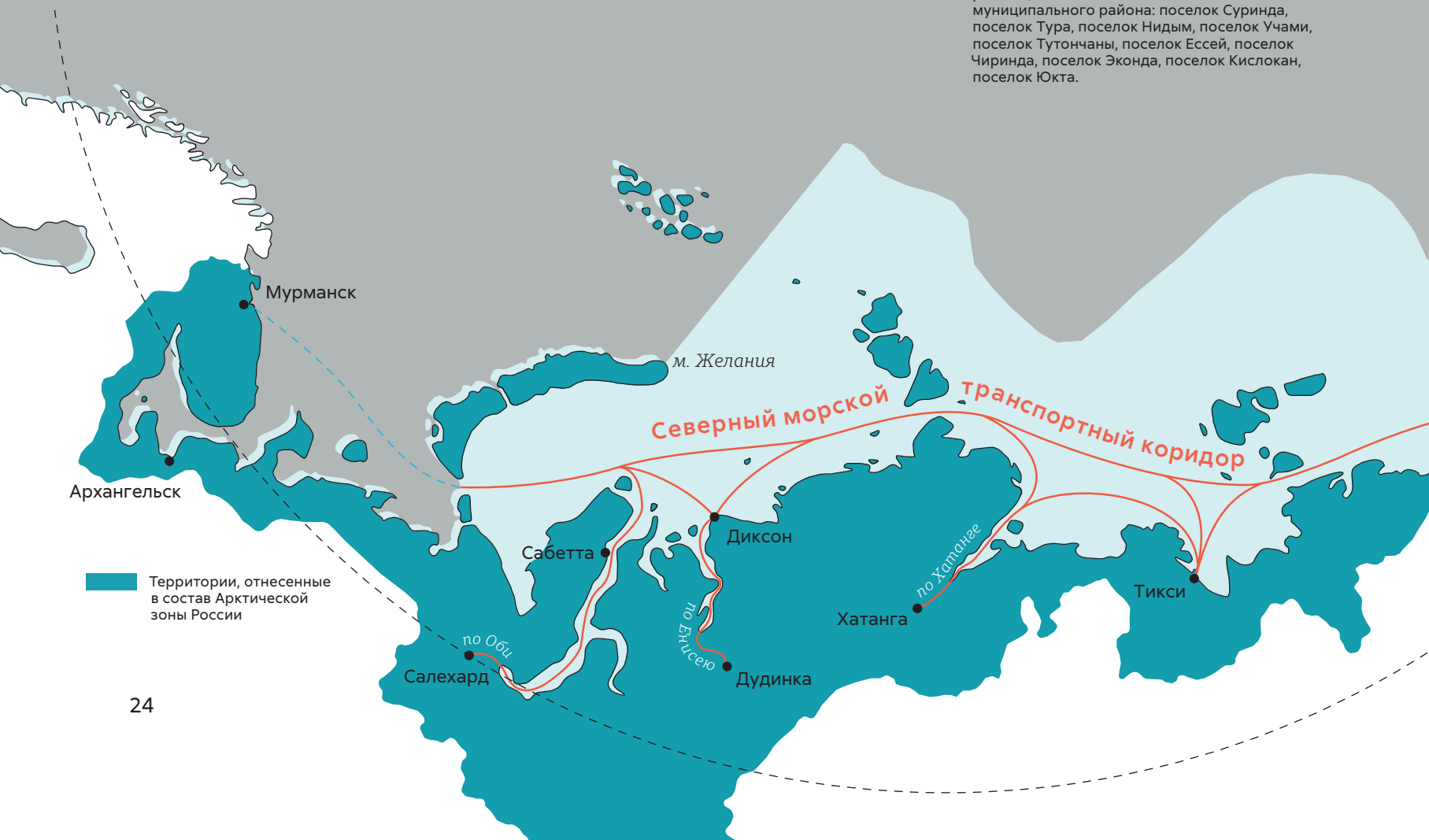
# Арктическая зона России

В Арктическую зону Российской Федерации (АЗРФ) входит северное побережье Европейской и Азиатской частей страны вдоль морей Северного Ледовитого океана: Баренцева, Карского, Лаптевых, Восточно-Сибирского и Чукотского. Это самая протяженная морская граница России и область транспортно-экономического влияния Северного морского пути.

Население Российской Арктики составляет 2,5 млн человек. Большинство населенных пунктов в АЗРФ расположены на побережье арктических морей или в непосредственной близости от него, а также в низовьях рек, впадающих в Северный Ледовитый океан. Подавляющую часть населения составляют городские жители, их доля достигает 89%. В Арктической зоне находится Мурманск — самый крупный город мира, расположенный за Северным полярным кругом. Его население составляет почти 300 тыс. человек. В Арктической зоне РФ есть и районы с высокой долей сельского населения — это места компактного проживания коренных народов Крайнего Севера. Население Арктической зоны сравнительно молодое, ведь там живут и работают в основном люди трудоспособного возраста.

Согласно указу Президента Российской Федерации от 2 мая 2014 г. № 296 «О сухопутных территориях Арктической зоны Российской Федерации» с изменениями и дополнениями, к Арктической зоне причислены административные образования девяти регионов. В соответствии с Федеральным законом от 13 июля 2020 г. № 193-ФЗ «О государственной поддержке предпринимательской деятельности в Арктической зоне Российской Федерации» свободная экономическая зона АЗРФ распространяется на следующие территории:

- Мурманская область;
- Ненецкий автономный округ;
- Чукотский автономный округ;
- Ямало-Ненецкий автономный округ;
- Республика Коми: городские округа Воркута, Инта, Усинск; Усть-Цилемский район;
- Республика Карелия: Беломорский, Калевальский, Кемский, Костомукшский, Лоухский, Сегежский районы;
- Республика Саха (Якутия): Абыйский улус, Аллаиховский улус, Анабарский улус, Булунский улус, Верхнеколымский улус, Верхоянский район, Жиганский район, Момский район, Нижнеколымский район, Оленёкский район, Среднеколымский улус, Усть-Янский улус, Эвено-Бытантайский национальный улус;
- Архангельская область: города Архангельск, Новодвинск, Северодвинск; Мезенский, Приморский, Онежский, Лешуконский, Пинежский районы; городской округ «Новая Земля»;
- Красноярский край: Норильск, Таймырский Долгано-Ненецкий и Туруханский районы, сельские поселения Эвенкийского муниципального района: поселок Суринда, поселок Тура, поселок Нидым, поселок Учами, поселок Тутончаны, поселок Ессей, поселок Чиринда, поселок Эконда, поселок Кислокан, поселок Юкта.



# Северный морской путь

Северный морской путь (СМП) — кратчайший путь между Европой и странами Азиатско-Тихоокеанского региона.

Под акваторией СМП понимается водное пространство, прилегающее к северному побережью Российской Федерации, охватывающее внутренние морские воды, территориальное море, прилежащую зону и исключительную экономическую зону Российской Федерации. С востока оно ограничено меридианом 168°58'37" з. д. и параллелью мыса Дежнева в Беринговом проливе, с запада — меридианом мыса Желания архипелага Новая Земля, восточной береговой линией архипелага Новая Земля и западными границами проливов Маточкин Шар, Карские Ворота, Югорский Шар.

Хотя навигационные и административные службы расположены в Мурманске, началом Северного морского пути считается вход в проливы Карского моря и меридиан на север от мыса Желания.

Северный морской путь обслуживает порты морей Арктики и крупных рек Сибири. По нему возят топливо, оборудование, лес, полезные ископаемые. По пути идет Северный завоз — обеспечение жизненно важными товарами людей, проживающих на Крайнем Севере. СМП проходит по морям Северного Ледовитого океана (Карскому, Лаптевых, Восточно-Сибирскому, Чукотскому). Длина пути от пролива Карские Ворота до бухты Провидения — 5600 км.

Альтернатива СМП — транспортные артерии, проходящие через Суэцкий или Панамский каналы. Расстояние из порта Мурманска (Россия) в порт Иокогамы (Япония) через Суэцкий канал составляет 23 779 км, а маршрутом с использованием Северного морского пути — 10 686 км. Меньшая протяженность Северного морского пути позволяет сократить не только время в пути, но и расходы на топливо, что способствует минимизации воздействия судоходства на окружающую среду.



## Северный морской путь

**Главные порты:** Сабетта, Дудинка, Диксон, Хатанга, Тикси, Певек

**7–15 дней**

Время прохождения

**5–13 узлов**

Скорость движения

**2–4 месяца**

Продолжительность навигации по открытой воде

**5770 морских миль**

Длина маршрута от Мурманска до Иокогамы

**Морская миля** — единица измерения расстояния, используемая в мореплавании и авиации. Одна морская миля равна 1852 м.

**34,85 млн тонн**

Объем грузоперевозок за 2021 г.

# Ресурсы

Несмотря на суровый климат и тяжелые условия, Арктика давно привлекает к себе людей, поскольку крайне богата разнообразными ресурсами. По мере истощения легкодоступных месторождений интерес и потребность в них возрастают. Не зря Арктику сегодня называют последней кладовой человечества.

Чем же богата Арктика? Это в первую очередь энергетические ресурсы: в ее недрах содержится около 90 млрд баррелей нефти, 47,3 трлн м<sup>3</sup> газа, 44 млрд баррелей газового конденсата, что составляет около 25 % от неразведанных запасов углеводородов в мире. Наличие крупных месторождений делает регион перспективным источником нефти и газа, чья роль в ближайшем будущем будет только расти. Особого внимания заслуживают и твердые полезные ископаемые. Редкие и редкоземельные металлы, минералы, руды и другое сырье в изобилии есть как на суше, так и на шельфе Северного Ледовитого океана.

Биологические ресурсы также велики: арктические моря, главным образом Баренцево и Чукотское, служат ареалом множества уникальных видов животных и рыб (более 150 видов рыб, в том числе важнейшие для рыбного промысла треска, сельдь, пикша, камбала).

Такое богатство делает этот суровый край очень важным с точки зрения развития человечества и привлекательным для освоения регионом, к которому нужно подходить крайне осторожно с учетом имеющихся природных, техногенных и экологических рисков.

Для уточнения перспектив нефтегазоносности арктического региона необходимо изучать закономерности геологического строения осадочных бассейнов с помощью комплекса методов, а также определять первоочередные районы для проведения поисковых работ и обеспечить безопасность проведения геологоразведочных работ. → с. 64 → с. 127



# Важность изучения Арктики

Особенности арктической зоны обусловлены экстремальными природными условиями, наличием разнообразных и значительных запасов минерально-сырьевых и биологических ресурсов, малочисленностью населения, удаленностью и транспортной труднодоступностью.

→ с. 178 При этом арктическая зона играет большую роль в сохранении экологического равновесия. Регион регулирует температурный режим атмосферы благодаря ледяной шапке, отражающей солнечные лучи. В Арктике существуют уникальные природные комплексы, крайне уязвимые и неустойчивые к антропогенному воздействию. Их деградация может привести к непредсказуемым последствиям в глобальном масштабе и негативно отразиться на экосистемах других широт.

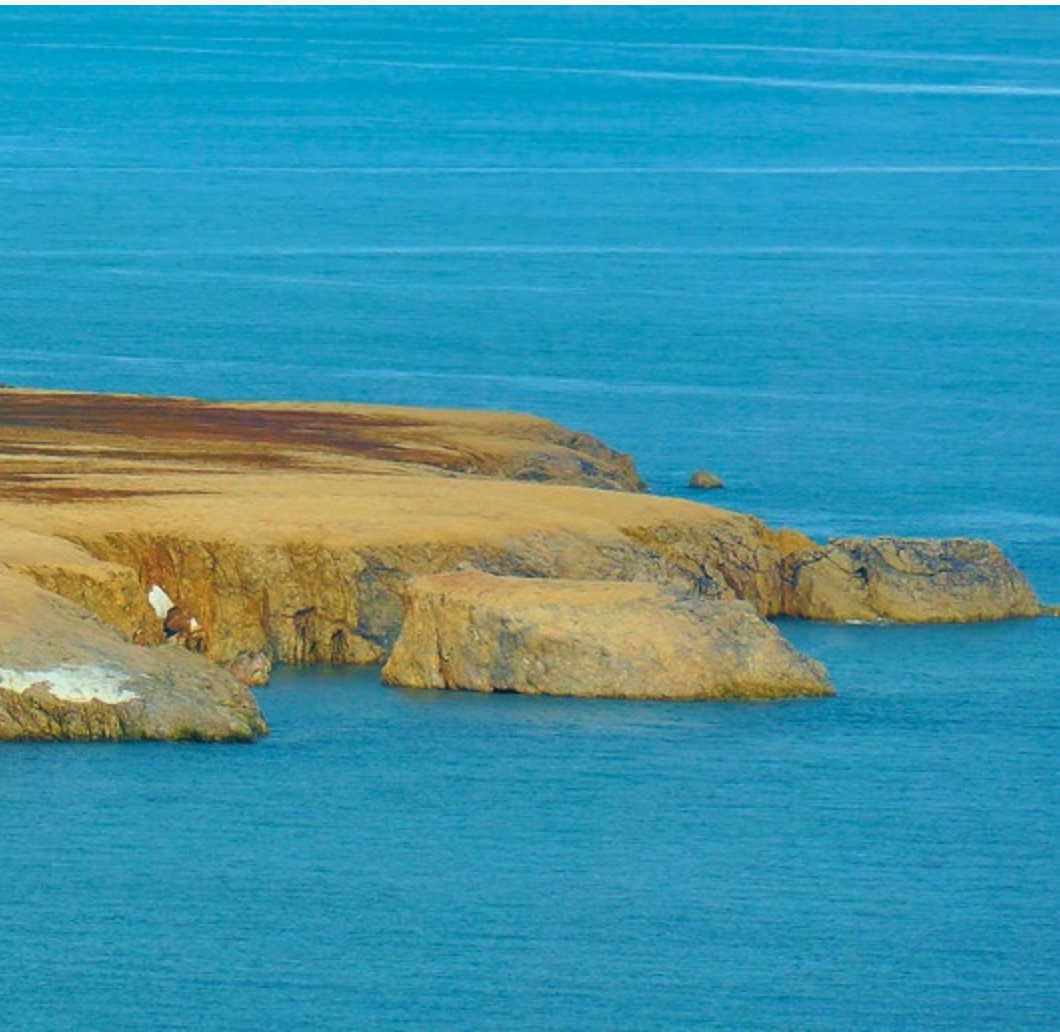
Несмотря на то что комплексные исследования состояния природных компонентов различных районов Арктики ведутся уже более 80 лет — от гидрометеорологических и геологических до биологических и экологических, состояние природной среды арктической зоны до сих пор остается недостаточно изученным.

**Геопортал.** Для сбора, хранения и обработки накопленных в результате исследований данных в «Роснефти» разработана современная геоинформационная система «АрктикМонитор», позволяющая собирать информацию в одном месте для ее анализа и визуализации с возможностью удаленного доступа к нему множества участников. Это позволяет им в дальнейшем работать с пространственными данными и совместно анализировать их с подключением сторонних информационных сервисов и других источников.

**Атласы.** Помимо специализированной аналитической работы, связанной с обработкой экспедиционных и камеральных данных, важно в целом систематизировать и обобщить накопленную информацию для ее дальнейшего осмысления. Многие уникальные результаты проводимых исследований получены впервые, и их ценность для науки очень велика как с фундаментальной, так и с прикладной точки зрения.

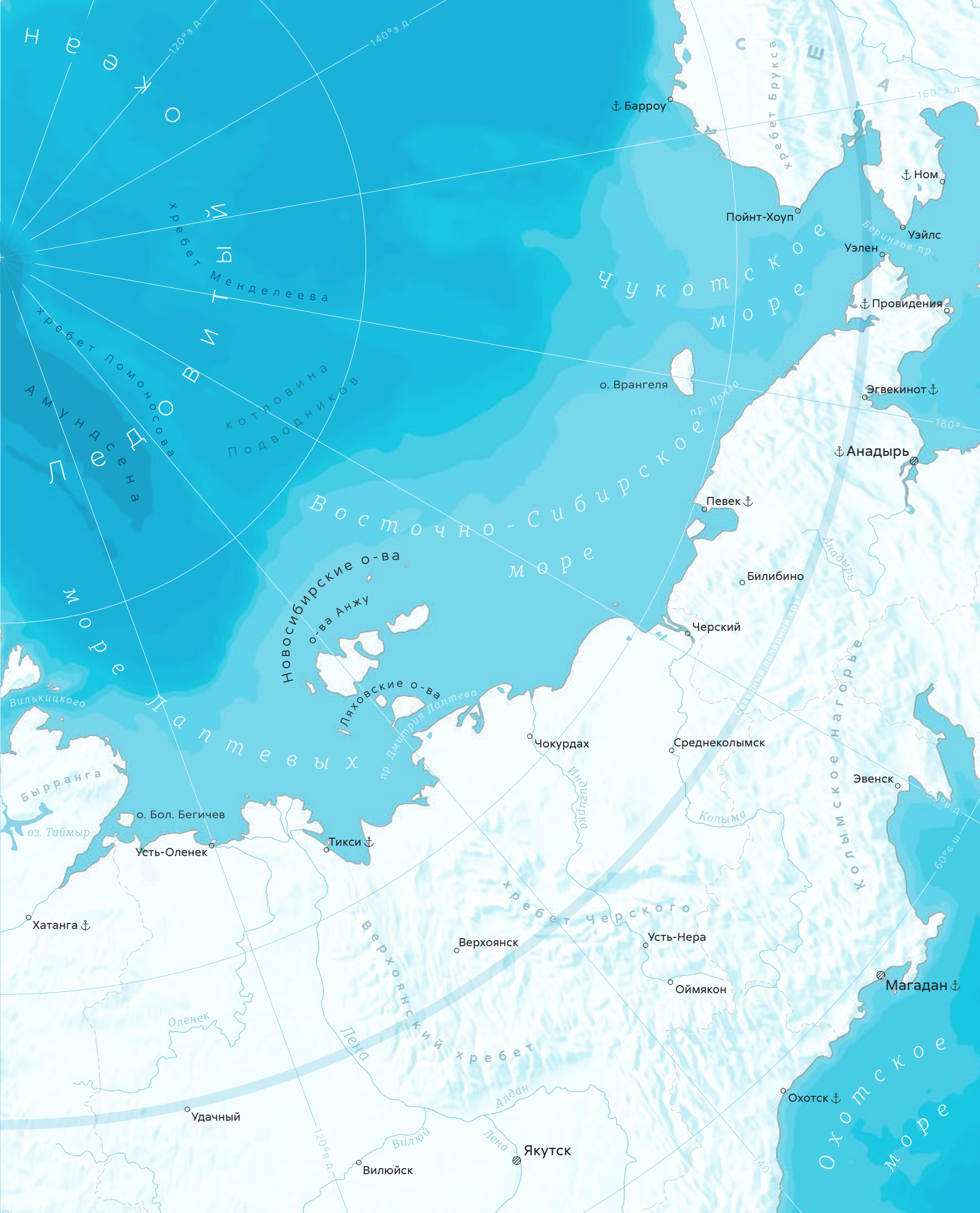
→ с. 230 Для этой цели издаются атласы морей Российской Арктики и Дальнего Востока — научные монографии, позволяющие обобщить фондовые данные и сравнить их с результатами новейших исследований, дать исчерпывающую и актуальную информацию об изученности региона и новейших открытиях в Арктике, а также публиковать полученные результаты в понятной и удобной форме.

Главная цель многочисленных современных исследований и экспедиций — не просто научиться осваивать Арктику, а делать это безопасно для уникальной и уязвимой экосистемы.









Н  
Е  
Ш  
О  
Ж  
О  
У  
О  
М  
И  
В  
И  
О  
Д  
С  
Е  
Н  
А  
М  
О  
Р  
Е  
Л  
А  
П  
Т  
Е  
В  
Ы  
Х

Ч  
У  
К  
О  
Т  
С  
К  
О  
Е  
М  
О  
Р  
Е

В  
О  
С  
Т  
О  
Ч  
Н  
О  
-  
С  
И  
Б  
И  
Р  
С  
К  
О  
Е  
М  
О  
Р  
Е

О  
Х  
О  
Т  
С  
К  
О  
Е  
М  
О  
Р  
Е

Вилькицкого

Быранга

оз. Таймыр

Хатанга

Оленек

Удачный

Вилуйск

о. Бол. Бегичев

Усть-Оленек

Тикси

Верхоянск

Удачный

Вилуйск

Якутск

Новосибирские о-ва

о-ва Анжу

Ляховские о-ва

пр. Димитрия Давыдова

пр. Димитрия Давыдова

Чокурдах

Верхоянск

Усть-Нера

Оймякон

Якутск

о. Врангеля

Певек

Билибино

Черский

Среднеколымск

Усть-Нера

Оймякон

Усть-Нера

Оймякон

Якутск

Певек

Билибино

Черский

Среднеколымск

Усть-Нера

Оймякон

Усть-Нера

Оймякон

Усть-Нера

Якутск

Пойнт-Хоуп

Провидения

Эгвекинот

Анадырь

Певек

Билибино

Черский

Среднеколымск

Усть-Нера

Оймякон

Усть-Нера

Оймякон

Усть-Нера

Якутск

Уэлен

Провидения

Эгвекинот

Анадырь

Певек

Билибино

Черский

Среднеколымск

Усть-Нера

Оймякон

Усть-Нера

Оймякон

Усть-Нера

Якутск

Якутск

Ном

Уэлен

Провидения

Эгвекинот

Анадырь

Певек

Билибино

Черский

Среднеколымск

Усть-Нера

Оймякон

Усть-Нера

Оймякон

Усть-Нера

Якутск

Якутск

120° в.д.

140° в.д.

160° в.д.

180°

хребет Менделеева

хребет Ломоносова

котловина Подводников

Северный полярный круг

хребет Черского

Верхоянский хребет

Амурский хребет

120° в.д.

140° в.д.

160° в.д.

180°

60° с.ш.

120° в.д.

140° в.д.

160° в.д.

180°

хребет Менделеева

хребет Ломоносова

котловина Подводников

Северный полярный круг

хребет Черского

Верхоянский хребет

Амурский хребет

120° в.д.

140° в.д.

160° в.д.

180°

60° с.ш.

120° в.д.

140° в.д.

160° в.д.

180°

хребт Менделеева

хребет Ломоносова

котловина Подводников

Северный полярный круг

хребет Черского

Верхоянский хребет

Амурский хребет

120° в.д.

140° в.д.

160° в.д.

180°

60° с.ш.



# Путь в арктические моря

## XIV–XVI

Первые подробные географические описания побережья Баренцева моря принадлежат поморам. Начинаются они с устных лоций, описывающих «морской ход» от берега Онежского залива Белого моря на Шпицберген и Новую Землю. Затем, пройдя проливы у Новой Земли, поморы достигли Карского моря. Их опыт стал основой для планирования следующих экспедиций.

Виллему Баренцу, голландскому исследователю XVI века, принадлежит географическое описание Баренцева моря, открытие северной части Новой Земли, описание Шпицбергена, острова Медвежий и побережья Карского моря.



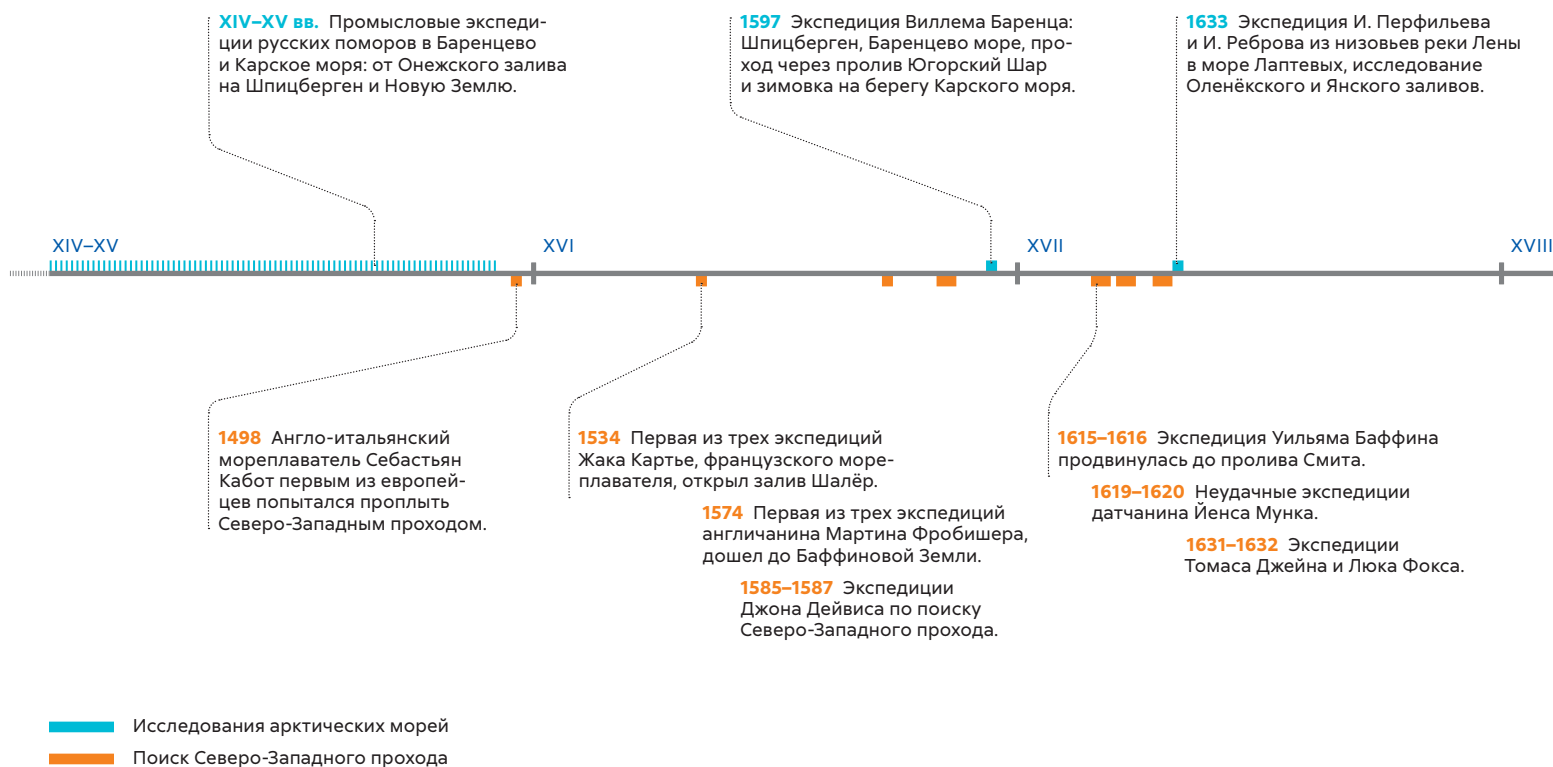
### Поморский коч

Деревянное судно, которое поморы использовали с начала XIV в. для освоения полярных морей. Коч был пригоден для плавания под парусом или на веслах по чистой воде и в битом льду. Благодаря яйцевидной форме корпуса судно при сжатии льдов выталкивалось наверх.

## XVII–XVIII

В XVII веке Баренцево и Белое моря становятся хорошо известны мореплавателям. Поморы организуют регулярные промысловые экспедиции к Новой Земле и Шпицбергену, заходят в норвежские порты, а Архангельск становится центром международной торговли.

Промышленники и военные изучают низовья крупных рек — Оби, Енисея, Лены — и побережья арктических морей вблизи них. Низовья рек привлекали исследователей в первую очередь сокровищами вечной мерзлоты — запасами мамонтовой кости. В ходе Великой Северной экспедиции было составлено первое подробное описание береговой линии Карского моря и моря Лаптевых, а к концу XVIII века — и Восточно-Сибирского моря до низовья Колымы.





Судно «Фрам»  
в марте 1894 г.  
Хорошо виден ветряк  
электрогенератора

**1821** Экспедиция Ф. П. Литке и П. К. Пахтусова на восточное побережье Новой Земли.

**1840** Экспедиция А. Ф. Миддендорфа вдоль побережья Кольского полуострова от Белого моря до мыса Нордкап. Сбор зоологической коллекции для фундаментального труда по фауне моллюсков.

**1870** Экспедиция А. Ф. Миддендорфа на Новую Землю и Кольский полуостров, исследование Нордкапского течения.

**1878** Экспедиция Н. А. Э. Норденшельда на пароходе «Вега» в море Лаптевых и далее, восточнее Новосибирских островов. Выполнение нескольких океанографических станций.

**1893** Экспедиция Ф. Нансена на судне «Фрам» по исследованию высоких широт Арктики, попытка достижения географического Северного полюса.

**1894–1901** Специальная гидрографическая экспедиция для исследования устьев рек Енисея и Оби. Выполнение 25 станций в Карском море.

**1895–1908** Мурманская научно-промысловая экспедиция. Создание Мурманской биологической станции.

**1909–1915** Экспедиция гидрографического управления морского министерства. Первое масштабное исследование Карского моря, гидрологические и бентосные работы, выполнение более 300 станций.

**1918–1919** Экспедиция С. В. Аверинцева для исследования рыбных промыслов Северного Ледовитого океана.

**1921** Начало рейсов Плавучего морского научного института.

**1926–1927** Экспедиция Якутской комиссии Академии наук СССР в южную часть моря Лаптевых.

**1932** Экспедиция главы Арктического и антарктического НИИ Отто Шмидта на судне «Александр Сибиряков» впервые в одну навигацию прошла Северный морской путь.

**1977** Мощнейший на тот момент атомный ледокол «Арктика» впервые в истории достиг Северного полюса, пройдя 1200 миль многолетнего льда.

**1987** Экспедиция ледокола «Сибирь» к Северному полюсу для эвакуации дрейфующей полярной станции СП-27 и развертывания новой станции СП-29.

**2012** Начало научных исследований «Роснефти» в Арктике.

**1734–1743** Великая Северная экспедиция. Описание Обской губы, Енисейского залива, части побережья Ямала. Описание берегов Сибири к востоку от Лены до низовьев реки Колымы.

**1770** Открытие Иваном Ляховым южных островов Новосибирского архипелага между морем Лаптевых и Восточно-Сибирским морем.

**1741–1762** Серия экспедиций по заданию компании Гудзонова залива, в результате которых исследователи установили, что Северо-Западного прохода через континент в низких широтах не существует.

**1776–1779** Третье кругосветное путешествие Джеймса Кука, главной целью которого было открытие Северо-Западного морского пути.

**1816–1817** Русская кругосветная экспедиция О. Е. Коцебу.

**1818** Две полярные экспедиции британского адмиралтейства, одна из которых достигла рекордной широты 80°30'.

**1819–1822** Две экспедиции британца Вильяма Парри. Составил описание берегов моря Баффина.

**1845–1848** Гибель британской экспедиции Джона Франклина.

**1850–1853** Роберт Джон Мак-Клур преодолел Северо-Западный проход, но часть пути проделал по льду и вернулся в Англию на корабле другой экспедиции.

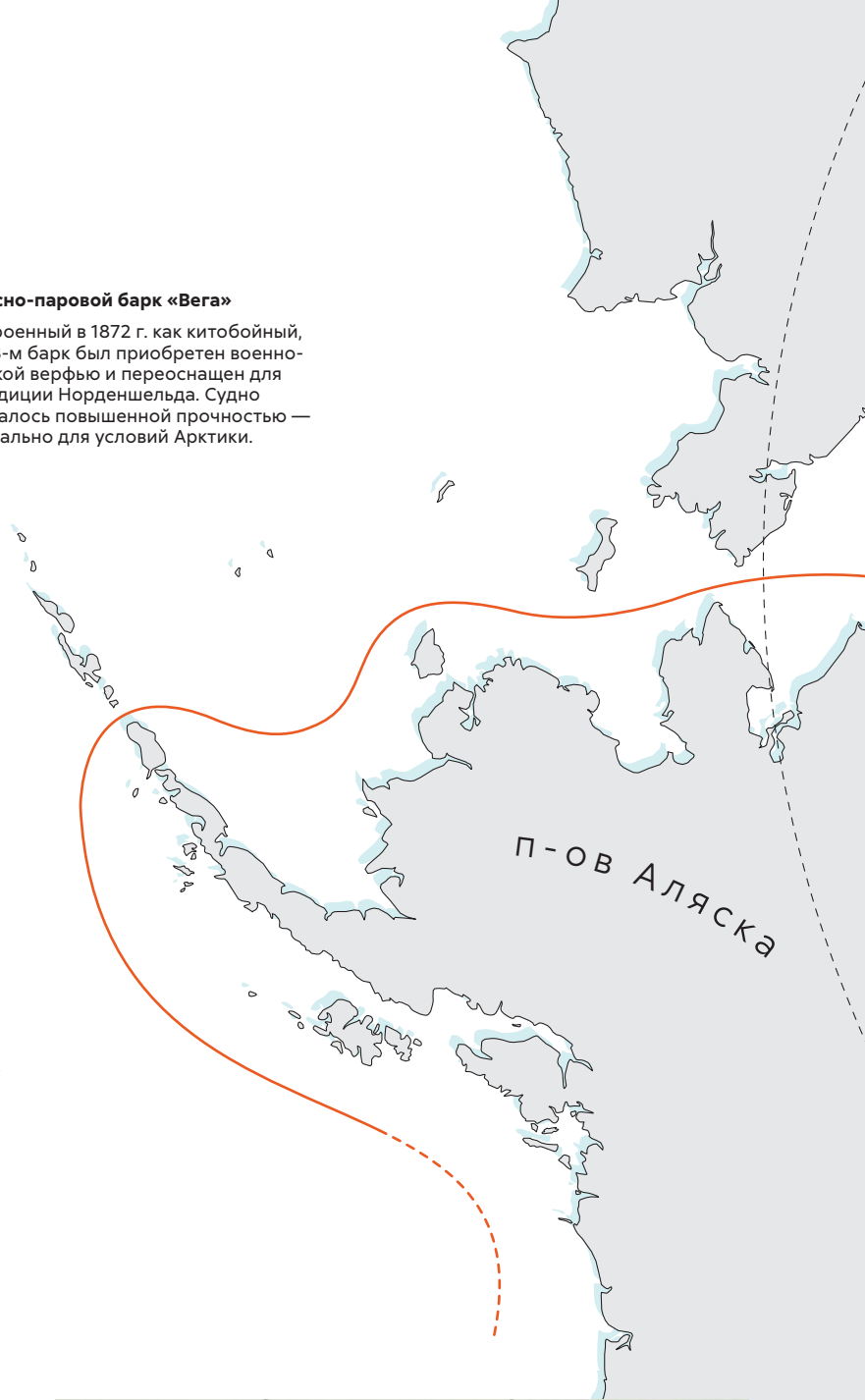
**1903–1906** Проход впервые пройден полностью по воде Руалем Амундсенем.





**Парусно-паровой барк «Вега»**

Построенный в 1872 г. как китобойный, в 1878-м барк был приобретен военно-морской верфью и переоснащен для экспедиции Норденшельда. Судно отличалось повышенной прочностью — специально для условий Арктики.



**XIX**

Экспедиции становятся более специализированными. Собираются зоологические коллекции в Баренцевом море, изучается влияние течений. Исследование фауны становится существенной компонентой работы арктических экспедиций, в частности, Специальной гидрографической экспедиции по исследованию устьев рек Енисея и Оби.

Экспедиция Норденшельда на пароходе «Вега» создает в море Лаптевых несколько океанографических станций и проводит первые траления и драгировки. Экспедиция Нансена проводит от острова Котельный знаменитый дрейф «Фрама», когда экспедиционное судно специально вморозили в паковые льды с целью систематических комплексных исследований бассейна Северного Ледовитого океана. Это была первая полярная экспедиция XIX века, в которой исследователи не потеряли ни одного человека.

**XX**

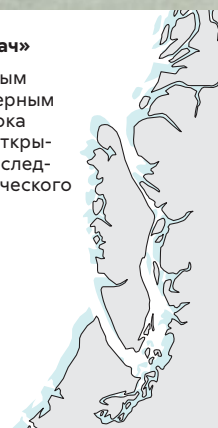
Расширяется программа научных исследований Арктики, создаются научные институты: Мурманская биологическая станция, Плавающий морской научный институт, Мурманский морской биологический институт ММБИ АН СССР — РАН. Собранные в Карском море образцы легли в основу коллекции животных Арктики в Зоологическом институте РАН.

Начиная с 1920-х годов интенсивность исследований многократно возрастает. Почти все экспедиции ведут комплексные исследования: гидрологии, фито- и зоопланктона и бентоса на каждой станции. Растет техническая оснащенность экспедиций, начнутся рейсы в Арктику на ледокольных пароходах «Малыгин», «Вайгач», «Таймыр», «Александр Сибиряков», специально оборудованном научном судне «Персей». Во второй половине XX века появляются атомные ледоколы, способные достичь географического Северного полюса.



**Ледокольный пароход «Вайгач»**

Спущен на воду в 1909 г. Первым из русских судов прошел Северным морским путем из Владивостока в Архангельск. Участвовал в открытии арх. Северная Земля — последнего значительного географического открытия на нашей планете.



# Северо-Западный проход

Отдельная страница в исследовании Арктики — открытие Северо-Западного прохода. Морской путь вдоль северного берега Северной Америки позволил бы радикально сократить маршрут между Атлантикой и Тихим океаном. Понимая экономическую эффективность такого пути, ведущие морские державы в течение нескольких столетий отправляли экспедиции на поиски прохода через льды и острова Канадского Арктического архипелага.

В конечном итоге Северо-Западный проход был найден, но в начале XX века суровые погодные условия делали его непригодным для регулярного судоходства. Для сокращения торгового пути в результате построили Панамский канал, сняв необходимость обходить Южную Америку. Но в последние годы интерес к Северо-Западному проходу возрос — 30 лет спутниковых наблюдений выявили, что область арктического морского льда в этом регионе сократилась. Таяние льдов в результате глобального потепления сделало Северо-Западный проход судоходным. ↗





# Как изучать Арктику



# Работа по познанию мира

Мы привыкли, что науку окутывает флер чего-то непонятного и сложного. Отчасти это правда: чтобы получить корректные научные выводы, нужно обладать специфическими навыками и применять целый набор методов обработки данных. В случае с естественными науками, такими как география, геология и биология, а именно о них идет речь в нашей книге, — вместе с математическими и статистическими методами применяется комплекс подходов, необходимых для сбора данных.

Но если разобраться, наука вполне сравнима с другими привычными областями: с производством, разработкой IT-сервисов и даже искусством. Да, нужно многое знать и уметь, но это такая же работа, просто служит она тому, чтобы мы получали всё более четкое представление о мире, в котором живем.

В этой главе мы формализуем процесс получения научного знания.

→ с. 40 А заодно отвечаем на вопросы, для чего вообще исследователи отправляются на судах в дальние арктические моря и что им приходится делать по возвращении. За пределами каждой экспедиции есть еще огромное количество важной работы, пусть даже выглядит как обычный офисный процесс: люди за компьютерами, совещания, чтение и написание статей, изучение отчетов. Благодаря всему этому появляется научное знание: обоснованные и корректные выводы о том, как устроена Арктика.

## Цикл научного познания

Научно-исследовательская работа в области естественных наук следует гипотетико-дедуктивной модели. То есть научное знание представляется как система дедуктивно связанных между собой гипотез, которые ученые подтверждают или опровергают путем проверки сформулированной в гипотезе закономерности. К научному знанию ведут шесть этапов.

*Постановка научной цели → Анализ фондов и формулирование гипотезы → Постановка научных задач и задач экспедиции → Сбор данных, экспедиция → Обработка и анализ данных → Выводы и научные результаты*

Ученые последовательно прорабатывают все этапы. Задача в том, чтобы обнаружить дефицит знания и найти способ его восполнить, то есть выстроить корректный с точки зрения научного метода процесс сбора и анализа данных. Этапы всегда одинаковы, но внутри этапов каждый проект и каждая задача решаются своим особенным способом.

**Научный метод** — система ценностей и принципов, которыми руководствуется научное сообщество. Метод включает способы исследования, корректировку новых и полученных ранее знаний. Метод объективен — его утверждения не принимаются на веру и исключают субъективное толкование.

**Научная гипотеза** — «обоснованное предположение», истинность которого научное сообщество еще не признало. Базируется на предварительных знаниях и наблюдениях.

**Моделирование** — исследование реальных явлений природы с помощью абстрактных графических и математических моделей.

**Эксперимент** — инструмент проверки гипотезы. Метод познания, при котором в контролируемых условиях исследуются явления природы.

**Научное наблюдение** — специально организованное исследование наблюдением, которое позволяет прийти к ответу на заранее поставленный вопрос.

**Измерение** — получение информации о количественных признаках изучаемых объектов, организмов или событий.



**Цикл научного познания на примере проекта «Создание геологической модели Арктики»**

Определить, каков возраст пород в исследуемой области морского дна и в какой последовательности они залегают.

Научная цель



Анализ фондов  
и научная гипотеза



Поиск и подбор научных статей и отчетов по сейсмографии, анализ материалов Российского геологического фонда.  
**Гипотеза:** можно провести быстрое, точное и экономически целесообразное бурение морского дна, чтобы получить керны пород и узнать их возраст.

Научные задачи



Какие действия нужны, чтобы бурение было результативным: выбор оптимального места и количества точек бурения; определение параметров скважины — глубины, количества проб. Составляется программа полевых и камеральных работ.

Сбор данных  
Эксперимент



Экспедиция: плавание к точке исследования, бурение и извлечение кернов.

Обработка  
и анализ данных



Камеральная часть экспедиции. Обработка числовых данных, дешифровка полевых дневников, лабораторные исследования кернов.

Научные результаты



Уточнение геологической модели, построение стратиграфической карты участка. Публикация результатов. Формулирование вопросов для следующего цикла исследований.

# Этапы научного познания

## Постановка научной цели

Миссия науки в самом широком смысле — вырабатывать и систематизировать знания о мире. Но, конечно, на уровне отдельных научных проектов цели ставятся более конкретно и условно делятся на несколько типов.

1. Описание феномена.
2. Выявление закономерности.
3. Объяснение закономерности.
4. Предсказание поведения или развития явления.

Обычно эти цели не действуют отдельно. Они связываются в цепочки и вытекают одна из другой: чтобы объяснить закономерность, нужно описать феномен или явление в достоверном объеме, а на основе сформулированного объяснения можно предсказать, как явление поведет себя в будущем.

В случае с исследованиями Арктики ученые первым делом сосредотачиваются именно на описании, то есть на сборе данных об объектах изучения. Яркие примеры многолетнего системного сбора данных — наблюдения за морской фауной, описание типов берегов и динамики климата арктических территорий.

Объяснение закономерностей происходит на этапе, когда объем накопленных данных позволяет сделать достоверные выводы. Например, на основе собранных проб ученые узнают, какие виды микробов способны эффективно потреблять углеводороды в условиях арктических морей.

Предсказать варианты поведения какого-то явления означает, к примеру, построить прогноз на основе больших данных с помощью математического моделирования. Научная цель сводится к гипотезам, которые требуют проверки, и конкретным научным задачам. → с. 147

## Анализ фондов и формулирование гипотезы

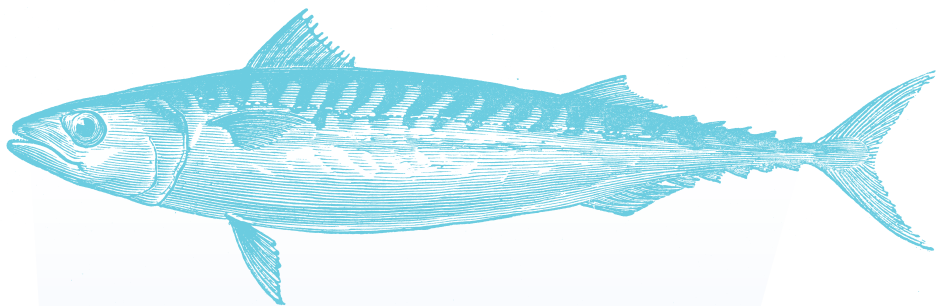
Даже в Арктике, которая плохо изучена, научная цель никогда не ставится «с нуля». Ей всегда предшествуют другие научные цели, достигнутые или находящиеся в процессе разработки. Если были цели, значит, есть и результаты.

Первый способ приблизиться к достижению цели — найти данные о том, что уже было сделано. Для этого ученые поднимают архивы исследований и публикаций в научных фондах: данные экспедиций, карты, выводы — во внимание принимается все. Основа в виде научной цели и материалов предыдущих исследований позволяет сформулировать научную гипотезу. → с. 71

## Постановка научных задач и задач экспедиции

Сформулированная научная цель конкретизируется до задач. Ученые решают, как собирать данные по большим площадям с определенной точностью. Например, замеры метеоданных раз в три часа — это довольно высокая точность. Если какого-то вида данных нет в архивах или регулярность сбора данных прерывается, в части случаев становится понятно, что нужна экспедиция.

Научный проект движется от начала к завершению, последовательно проходя этапы научного познания, задействуя на разных этапах различных специалистов. Иногда проект занимает несколько лет, и экспедиция или серия экспедиций могут быть лишь одним из его этапов.



### Сбор данных, экспедиция

Типы необходимых научных данных зависят от того, что именно мы изучаем и с каким направлением наук имеем дело — гуманитарными или естественными.

Для социогуманитарных наук качественными данными могут быть результаты обработки серий интервью, а количественные данные можно получить в результате опросов. Это тоже не просто — нужно выбрать правильных респондентов и задавать вопросы, нацеленные на решение поставленной научной проблемы. Но все же такие данные зачастую можно получить в интернете, архивах и библиотеках или по крайней мере не выезжая из города.

С естественными науками, то есть науками о Земле, все совершенно иначе. Часто данных просто нет, в том числе в архивах, и единственный способ получить фактические цифры — организовать экспедицию, сделать замеры, установить приборы для постоянного мониторинга. Об Арктике мы всё еще знаем настолько мало, что любые исследования из этого региона — ценный вклад в общемировое знание.

### Обработка и анализ данных

Иногда экспедиция решает все поставленные задачи и даже немного перевыполняет план, иногда часть данных по объективным причинам собрать не удастся. Но в любом случае всю информацию нужно обработать и подготовить для анализа.

Данные могут быть цифровые и физические. Например, отобранные при бурении керны нужно описать, определить породы, провести изотопный анализ. Фото, видео и числовые материалы — перенести на компьютеры лаборатории и подготовить для моделирования. Провести дешифровку аудиозаписей полевых дневников, которые специалисты во время работ наговаривают на диктофон.

Полевые данные ученые сопоставляют с исходными гипотезами и научными задачами. Открытые вопросы получают свои ответы, гипотезы подтверждаются или опровергаются, а числовые данные сводятся в математические модели.

### Выводы и научные результаты

В конце цикла у ученых складывается цельная картина о заданной области исследования. Не все данные могут быть опубликованы (например, из-за того, что являются коммерческой тайной), но наука — дело общемировое и коллективное, поэтому значительная часть публикуется. Научные результаты входят в совокупность фундаментальных сведений о том, как устроены локальные экосистемы и планета в целом, в частности, у компании «Роснефть» есть целая серия [экологических атласов](#).

→ с. 230

Одновременно с результатами возникают новые вопросы, которые лягут в основу следующего исследования и заново запустят цикл. Ученые опираются на свежие публикации, проверяют и сопоставляют выводы с другими регионами и ландшафтами. Появляется новое научное знание, новые гипотезы и новые неизведанные области. Впрочем, ученых такое положение дел более чем устраивает.

Сбор данных,  
экспедиция

Обработка и анализ данных

Выводы и научные  
результаты

# Арктическая экспедиция

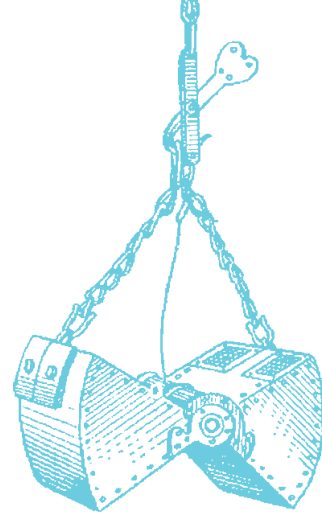
## Цели и задачи экспедиций

Времена великих экспедиций постепенно ушли в прошлое. Последнее крупное географическое открытие — архипелаг Северная Земля — состоялось в начале XX века. Со временем интересы человека трансформировались, и теперь наука чаще решает более частные и прикладные задачи, нежели открытие нового острова.

Но к любой экспедиции, крупная она или нет, нужно готовиться. Задача самого раннего этапа подготовки — определить цели исследования и то, какие результаты мы планируем получить. Эта задача решается не «в поле» и не на судне. Она решается на производствах и в научно-исследовательских институтах, когда ученые ставят научные задачи, исследуют архивы, приоритизируют объекты исследования. С этого начинается планирование, определяются районы экспедиции и маршруты движения судов.

Помимо сугубо научных исследований, у которых нет краткосрочного практического применения, есть так называемые производственные исследования. Их проводят компании-корпорации, чтобы проконтролировать экологическую и гидрометеорологическую обстановку, изучить регион для планирования своей деятельности. Так происходит и на шельфе Российской Арктики.

Производственные исследования не менее важны, чем фундаментальные. Они помогают точно контролировать ситуацию во время работ и планировать следующие работы максимально безопасно для биоты региона. При этом цели научной экспедиции рассредоточены по группам: экология, гидрометеорология, геология.



## Программа экспедиции

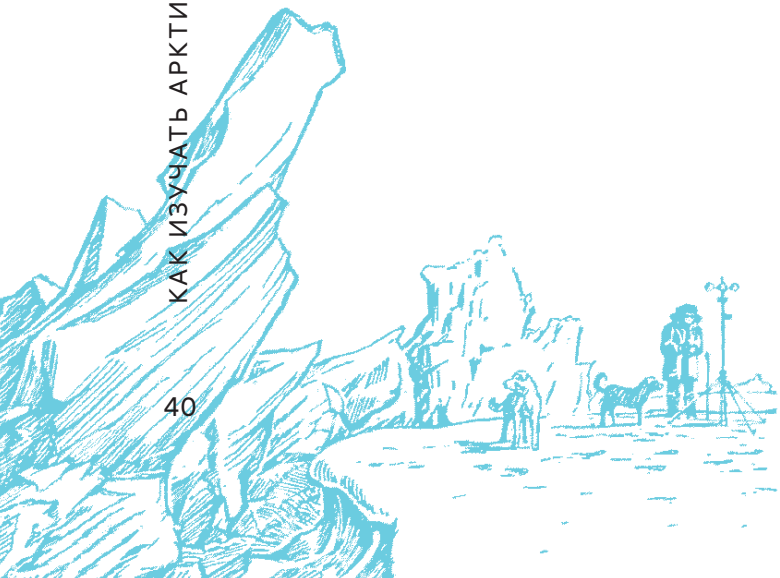
Постепенно у ученых начинает формироваться программа экспедиции — это происходит все еще на этапе кабинетного планирования. Ни один специалист не может охватить все сферы деятельности экспедиции, поэтому программа пишется совместно большой группой людей, и каждый отвечает за свою часть. Ученые — за научную составляющую. Техническая группа — за эксплуатацию флота и оборудования, техническую подготовку и сопровождение экспедиции, и их работа тем сложнее, чем более труднодоступный район будет выбран. Бухгалтеры — за обеспечение экспедиции финансами, и так далее.

Экспедиция — практически живое создание, которое требует к себе много внимания с очень разных сторон.

### Безопасность людей и природы

Ранее люди неподготовленными отправлялись на край света, надеясь на свою смекалку, мастерство и силу рук. На сегодняшний день мало наметить цель, продвигнуться к ней и даже получить результаты. Мы должны сделать это максимально безопасно — как для людей, так и для природы. История знает примеры, когда в борьбе со штормом суда сливали за борт мазут или ворвань, когда брошенные суда веками гнили на берегах Арктики. С середины XX века написана масса международных конвенций и региональных правил экологической безопасности, особенно актуальных для государств, граничащих с арктическими морями. Потому что экосистема Арктики хрупкая, и нарушить ее очень легко.

Ни один капитан порта не выпустит неготовое или ненадежное судно в море. Работа по подготовке к плаванию ведется практически круглогодично. Судно, приходящее из рейса, отправляется на текущий ремонт. В межсезонье судно постоянно дорабатывается, проверяются все системы. А даже если что-то и выйдет из строя — сработает резерв, потому что все важнейшие системы задублированы.



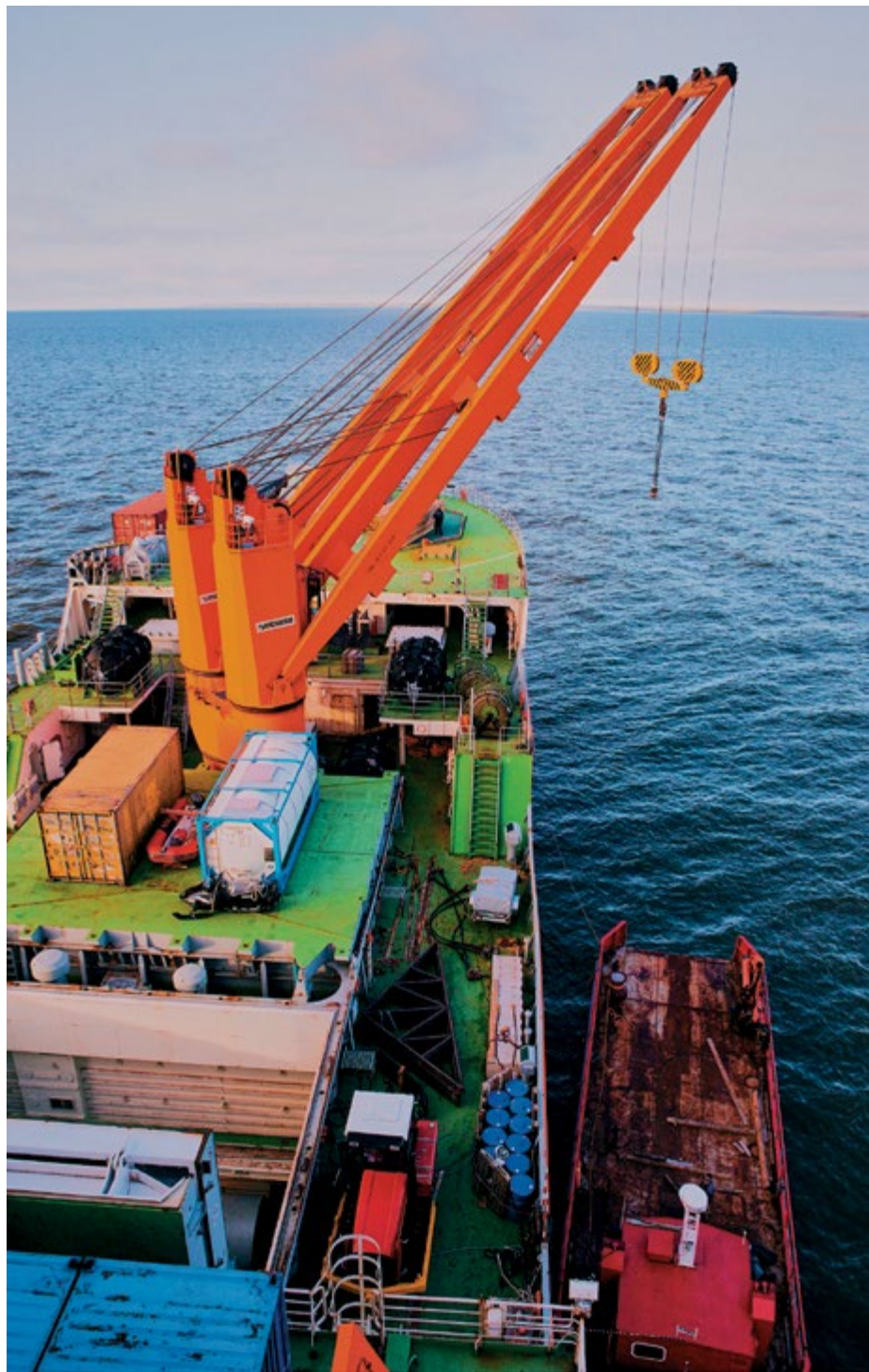
## Сбор команды

Одновременно с техникой ведется подготовка людей. Человек, работающий на судне, должен обладать массой навыков и специальностей. Морской ученый — это не только ученый, он и моряк, и по мере сил плотник, слесарь, стропальщик. Части из этих специальностей членов команды обучают в специальных учебных центрах. Без надлежащей подготовки ни один ученый не может отправиться в экспедицию.

То же касается и здоровья членов экипажа и сотрудников экспедиции. Вылечить зуб в городских условиях легко, но в условиях судна это превращается в целую спасательную операцию. Поэтому члены экипажа и научные сотрудники проходят серьезную проверку. Нельзя сказать, что такую же серьезную, как у космонавтов, но люди, которые на три-четыре месяца отправляются в удаленные от больниц районы, должны быть максимально здоровы.

С изоляцией на время плавания связана еще одна важная задача. На судне нужно подобрать максимально психологически сплоченный коллектив. Люди надолго уезжают от своих родных и привычной обстановки в тяжелые условия, в которых живут фактически новой семьей. Пусть эта семья временная, но какое-то время они будут наблюдать не тысячи людей на городских улицах, а сорок человек каждый день в одних и тех же условиях. Психологическая устойчивость выходит здесь чуть ли не на первое место. Можно быть сколь угодно классным ученым, но если у тебя сложный характер и ты плохо вписываешься в коллектив, то тебе, скорей всего, будет трудно, и главное — ты будешь тормозить работу других людей.

Поэтому на ответственные должности зачастую подбирают не самых опытных специалистов из имеющихся, а тех, за кем оставшийся коллектив пойдет безоговорочно, — тех, кого называют лидерами и душой компании. Человек должен уметь вести за собой остальных, не допустить разлада в экипаже, ведь это ломало даже очень крепко организованные экспедиции. Если экспедиция хорошо подготовлена технически, но плохо психологически, ее ждет если не провал, то по крайней мере серьезные трудности.



Краны и лебедки на судне размещают в рабочих зонах, возле трюмов, у шлюпочных палуб и вертолетной площадки — там, где проводятся спуско-подъемные операции и работы с тяжелым оборудованием

## Состав экспедиции

На судне во время экспедиции сообща работают две команды: экипаж судна и научный коллектив. В экипаж входят капитан корабля, помощники капитана, боцман, матросы, кок и стюарды — люди, благодаря которым судно функционирует и идет по маршруту.

Состав научного коллектива зависит от целей экспедиции — в него могут входить экологи, геологи, химики, климатологи. Все те, кто выполняет непосредственно научные работы.

Все находящиеся на судне люди живут заданным распорядком, а контроль за процессом находится в руках у руководителей обеих команд.

## Два капитана

Хочется выделить роль начальника экспедиционной группы, руководителя экспедиции на судне. Он выступает координатором между массой служб: береговых, служб технической поддержки, экипажем судна, своими коллегами-учеными, от которых он будет получать рекомендации по ходу рейса.

На самом деле на каждом судне есть два начальника: начальник экспедиции, который отвечает за научную деятельность и за производство работ, и капитан судна.

Капитан по всем морским конвенциям и нормам морского права является единственным ответственным за все происходящее на судне. И взаимодействие с капитаном и его подчиненным экипажем важно наладить с первого дня пребывания на судне. Если у начальника экспедиции с капитаном судна случится разлад — результативность плавания окажется под угрозой.



Нельзя сказать, что кто-то из этих двух людей на судне важнее. Все члены экспедиционной группы, все члены экипажа важны одинаково. Просто каждый из них выполняет свою задачу. Задача капитана — обеспечить сохранность жизни людей и безопасное выполнение всех мероприятий, связанных с эксплуатацией судна. Задача начальника экспедиции — выполнить научную программу.

Отличный пример — экспедиционные суда Российской академии наук. Научные сотрудники, которые долго ходят в море, знают морское дело на уровне среднего судового офицера. А судовые офицеры знают порядок и смысл научных исследований на уровне среднего научного техника. И это очень хорошо. Взаимопроникновение навыков позволяет с глубоким пониманием относиться к задачам друг друга, работать более слаженно и получить максимальную отдачу ото всех причастных.



## Старт экспедиции

Когда все спланировано, написано, утверждено на бумаге, получены согласования от всех органов, а оборудование собрано и доставлено в порт выхода, начинается один из самых тяжелых и тем не менее приятных этапов: веселая беготня с подготовкой к выходу в море. К судам идут бункеровщики, подъезжают машины, груженные продуктами, обслуживается и отправляется оборудование. Люди собираются в рейс.

День выхода в море — праздничный день. Так его воспринимают и научные сотрудники, и даже многоопытные экипажи. Это начало большого дела, большой работы. Люди еще не устали, они бодры и понимают, что наступил их черед: несмотря на все грядущие сложности, это именно то, ради чего они все здесь и собрались.

После отхода судна в море начинается рутинная, но важная работа: научная группа продолжает готовить оборудование, проводить совещания, уточнять свои цели и тактические планы выполнения работ.

Работа на судне разделена на вахты. У моряков используется классическая вахта — 4 часа работы, 8 часов отдыха, а вахты ученых зачастую полусуточные — 12 часов человек работает, 12 часов отдыхает. Ночная вахта считается более тяжелой, дневная легче, хотя это более заметно в регионах, где солнце, в отличие от Арктики, все-таки закатывается за горизонт. Вахтенная жизнь вносит определенные коррективы в распорядок дня, с которыми член команды так или иначе вынужден смириться. Он попадает в круг избранных и становится частью механизма, нарушать правила которого не имеет права.

Не стоит при этом думать, что экспедиция — это сплошная череда тягот, лишений и невзгод. На самом деле на любом судне есть простые человеческие радости. Люди по-прежнему, несмотря на острый недостаток сна, собираются в свободное от вахты время смотреть кино и играть в настольные игры. Никто не забывает про дни рождения и праздники. Алкоголь, понятное дело, на судах запрещен категорически, но праздничный торт и поздравление от коллег в честь дня рождения — история типичная.

Морские традиции никуда не ушли, хотя и видоизменились. Люди на судне объединяются и поддерживают друг друга, разделяя радости и невзгоды. И каждый праздник на судне — особое событие, где зачастую проявляются искренние чувства, немного подзабытые на Большой земле.

## Научно-исследовательское судно

Судно может проектироваться специально под исследовательские задачи, и тогда тип «исследовательское» присваивается ему при постройке. А могут переоборудоваться суда других типов — рыболовные, буксиры, военные — и адаптироваться под поставленные задачи. Обычно исследовательским называют судно, которое обладает необходимым инструментарием для выполнения различных научных задач. В первую очередь это подъемные устройства, лабораторные помещения внутри судна и вспомогательные средства — катера, краны, вертолетная площадка, набор гидрографического и геофизического оборудования.

Основная сложность переоборудования судов других типов в исследовательские в установке лебедок, кран-балок и гидравлических кранов на не предусмотренную под них изначально конструкцию. При этом спускоподъемное оборудование критически важно: чем больше его на судне, тем удобнее работать экипажу и тем шире исследовательские возможности.

→ с. 182



### Телеуправляемый необитаемый подводный аппарат

ТНПА нужен для дистанционного осмотра подводных объектов и морского дна: рельефа, донных биотопов, животных, техногенных объектов. Может быть оборудован манипуляторами, фотокамерами, гидролокатором, звуковизором, малой геофизической аппаратурой. Глубина погружения ТНПА — около 1000 м, а глубине арктических морей — 200–300 м, поэтому он может использоваться в любой точке работ.

### Лебедка

Отличие лебедок на НИС — в большой скорости спуска и канатоемкости. Трос опускается со скоростью порядка метра в секунду, иначе любая спуско-подъемная операция может занимать часы. Длина троса может достигать нескольких километров — это зависит от его толщины и грузоподъемности. Возможно использование кабельтроса, по которому подается питание к спускаемым приборам.

### Гидравлический кран

Служит для погрузки оборудования с причала на судно, перемещения грузов по палубе, спуска и подъема из воды. Вращается на 360°, значительно ускоряет и облегчает работу экипажа.

### Стол для разбора проб

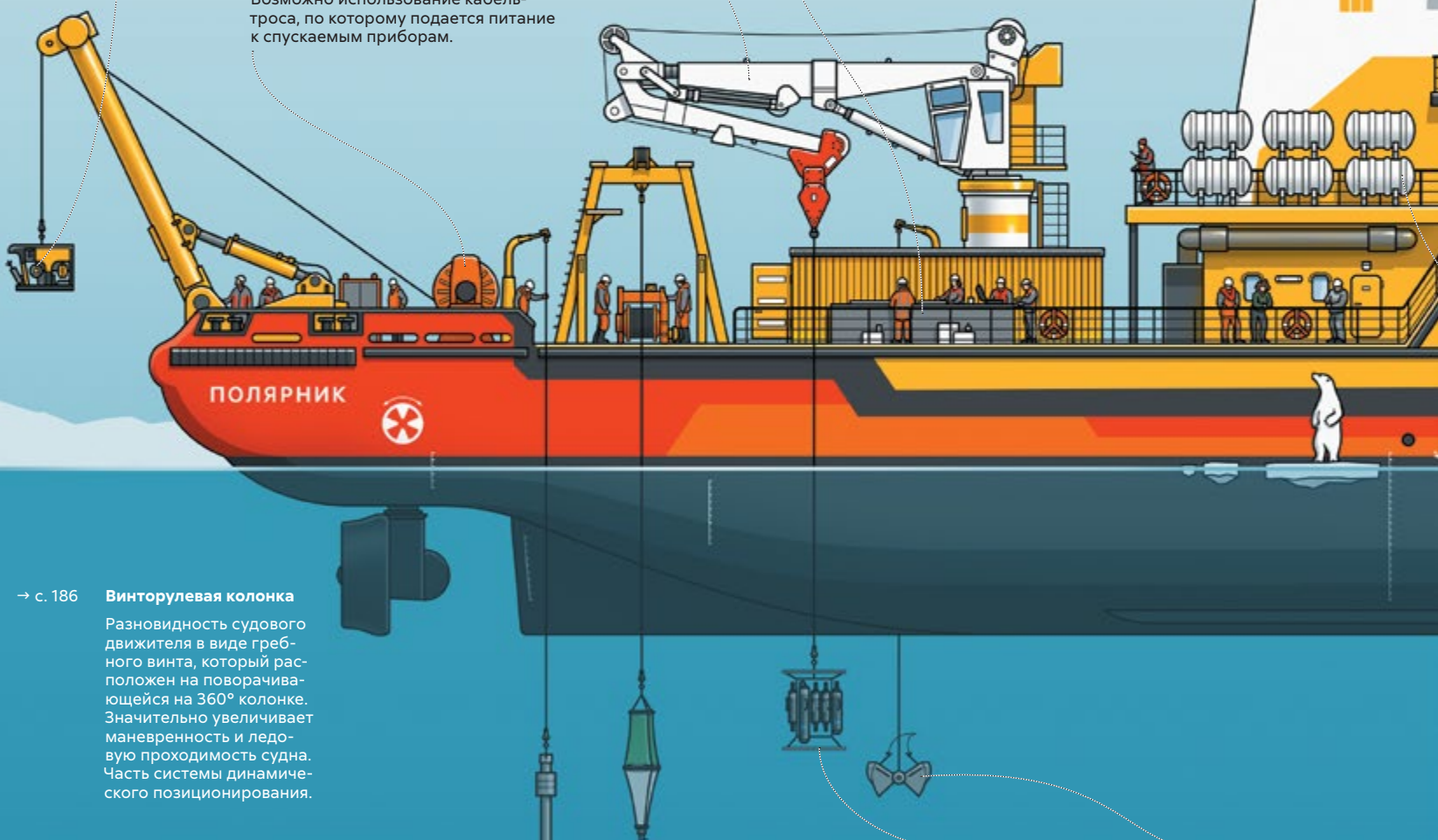
Предназначен для первичной обработки проб, например, для промывки донного грунта, извлеченного дночерпателем.

### Квадрокоптер

Коптеры с фотокамерой используют для геодезической аэрофотосъемки, для съемки рельефа берега, наблюдения за млекопитающими, подсчета количества особей моржей, например. Еще один прикладной метод использования — наблюдения за ледовой обстановкой. Коптер сбрасывает на лед буйки, которые позволяют следить за дрейфом ледовых полей.

### Энергетическая установка

Современные НИС оборудованы достаточно экологичной, но при этом мощной энергетической установкой, которая позволяет им преодолевать ледовые поля.



→ с. 186

### Винторулевая колонка

Разновидность судового движителя в виде гребного винта, который расположен на поворачивающейся на 360° колонке. Значительно увеличивает маневренность и ледовую проходимость судна. Часть системы динамического позиционирования.

### Гравитационная грунтовая трубка

Полая трубка, которая под собственным весом либо с помощью вибромотора вонзается в толщу пород на дне, затем закрывается снизу и извлекается. Она позволяет изучить строение донных пород по слоям.

### Планктонная сеть

Мелкоячеистая сеть из искусственного волокна для вылова планктона. Размер ячеек сети выбирают в зависимости от того, какие организмы необходимо исследовать. Ученые могут захватить в сеть планктон на определенной глубине или же собрать в одну сеть пробы во всем водяном столбе от дна до поверхности.

### Зонд «Розетта»

Цилиндрическая рама, на которой закреплены гидрологические зонды и батометры — специальные емкости для забора проб воды с определенной глубины. Фактически это бутылки с автоматической пробкой — за одно погружение «Розетты» ученые берут пробы воды с нескольких разных глубин.

### Дночерпатель

Ковш для забора проб мягкого донного субстрата. Открытый ковш под собственным весом опускается на дно и закрывается. Ученые извлекают ковш и затем начинают цикл исследования микроорганизмов, попавших в пробу.

### Антенна спутниковой навигации, GPS

Служит для определения позиции судна в море.

### Радиолокационная станция

РЛС — вторые глаза парохода. Она позволяет днем и ночью, даже в дождь, снег и туман следить за окружающей судно обстановкой — за другими судами, движением льдов. РЛС на судне, как правило, несколько.

### Наблюдатель за морскими млекопитающими

Специалист-эколог проводит попутное наблюдение за морской фауной: птицами, моржами, белыми медведями, нерпами, китами. Он регистрирует время встречи, координаты и определяет вид животного.

### Антенна широкополосного интернета VSAT

Фактически это гиросtabilизированная спутниковая тарелка в специальном корпусе. Вне зависимости от положения судна антенна внутри корпуса автоматически позиционируется в направлении спутника.

### Ходовой мостик

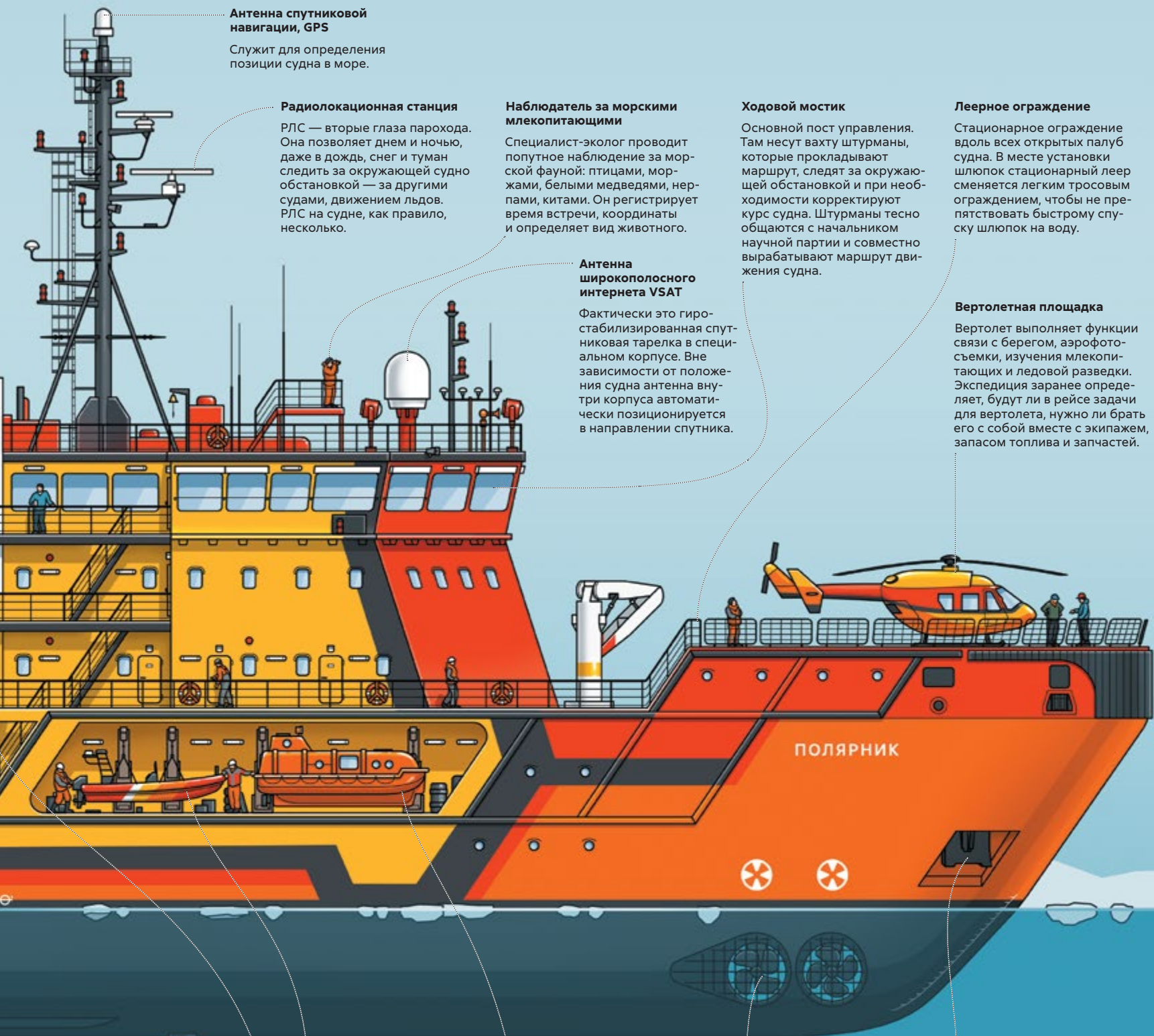
Основной пост управления. Там несут вахту штурманы, которые прокладывают маршрут, следят за окружающей обстановкой и при необходимости корректируют курс судна. Штурманы тесно общаются с начальником научной партии и совместно вырабатывают маршрут движения судна.

### Леерное ограждение

Стационарное ограждение вдоль всех открытых палуб судна. В месте установки шлюпок стационарный леер сменяется легким тросовым ограждением, чтобы не препятствовать быстрому спуску шлюпок на воду.

### Вертолетная площадка

Вертолет выполняет функции связи с берегом, аэрофотосъемки, изучения млекопитающих и ледовой разведки. Экспедиция заранее определяет, будут ли в рейсе задачи для вертолета, нужно ли брать его с собой вместе с экипажем, запасом топлива и запчастей.



### Рабочий катер

Нужен для доставки оборудования и высадки людей на берег, а также для работ на мелководье.

### Измерительное оборудование

В современных исследовательских судах отдельные приборы для наблюдения за океанографическими параметрами встраиваются в корпус судна. Это могут быть эхолоты, датчики солености или течения.

### Спасательные плоты

Любое современное судно, и НИС не исключение, оборудовано спаслотами на максимальную численность экипажа и еще с некоторым запасом. Внутри каждого контейнера находится сам плот, запас питьевой воды и сухой паек на 30 суток, сигнальные ракеты, радиолокационный маячок.

### Спасательная шлюпка

Дополнительное средство спасения, более автономное, чем спасательные плоты. При необходимости может буксировать сцепленные между собой спаслоты. Кроме того, в случае аварии закрытая шлюпка может в течение 15 минут следовать по горячей нефтяной пленке.

### Подруливающие устройства

Современным судам не обязательно становиться на якорь во время работ в море — они могут удерживаться на одном месте с помощью системы динамического позиционирования. Часть этой системы — подруливающие устройства, с помощью которых судно может разворачиваться влево или вправо.

### Якорное швартовное устройство

Обычная длина якорной цепи — 220–250 м. Но чтобы стать на якорь, длина вытравленной цепи должна равняться трем глубинам под килем. То есть для 50-метровой глубины длина цепи должна быть 150 м.



Сотрудники  
в СИЗ

## Береговые службы

Можно подумать, что, пока экспедиция находится в море, работа береговых технических служб останавливается. Но нет, они продолжают «вести» судно — получают с него сводки, уточняют, нужна ли дополнительная провизия или топливо. Они же организуют дополнительный заход в порт или подвоз необходимого непосредственно в район работ. Также береговые службы готовы немедленно прийти на помощь в чрезвычайной ситуации: оповестить спасательные центры и посильно участвовать в спасении.

Береговое дежурство длится круглосуточно, и эта работа не менее важна, чем работа на судне. Львиная ее доля незаметна стороннему глазу, но те, кто долго ходит в море, очень уважают своих коллег на берегу. В береговых службах оперативного реагирования часто сидят старые моряки — вышедшие на пенсию капитаны, штурманы, механики.

## Распорядок дня

Наконец судно приходит в район работ, и начинаются те самые исследования, ради которых все и затевалось. Экологи опускают дночерпатели и планктонные сетки, наблюдатели за морскими млекопитающими спускают катера и отправляются на поиск моржей, медведей и крупной морской биоты, операторы подводных аппаратов склоняются над экранами и пультами управления.

Во время работ на судне, как правило, проходят регулярные 10-минутные собрания по корректировке плана работы в зависимости от задач экспедиции. И обязательно перед каждой сменой проводятся инструктажи по технике безопасности.

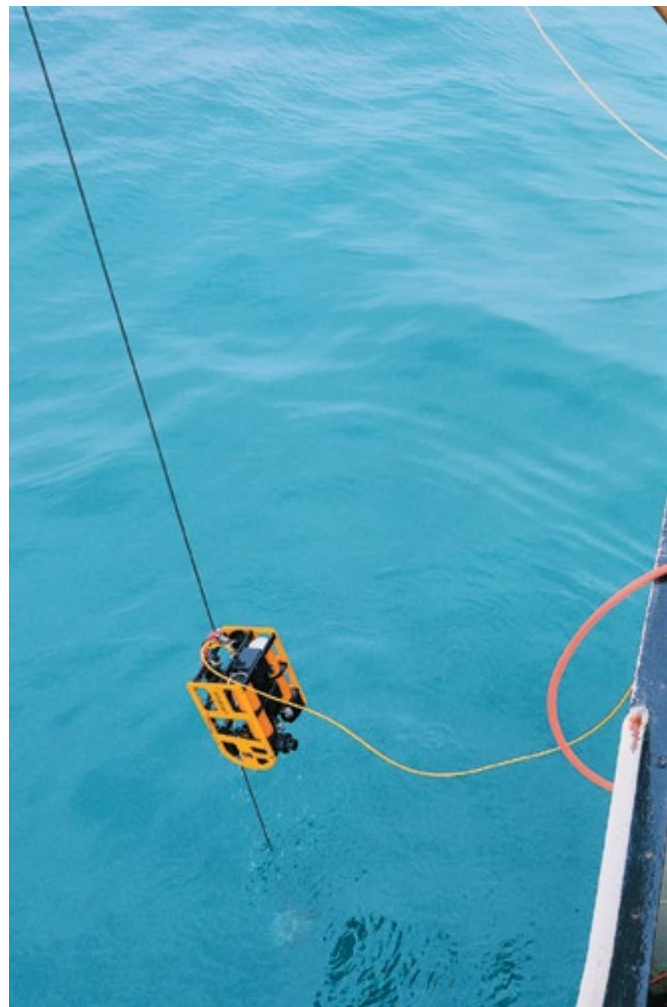
На площадке изысканий работа ведется непрерывно, круглые сутки. Каждый день дорог — в любой момент может налететь шторм, программу придется сокращать или стараться выполнить в гораздо более сжатые сроки. При этом все отряды по мере сил стараются помогать друг другу.

Наступает практически праздник Стругацких, когда понедельник начинается в субботу, а работа превалирует даже над такими инстинктами, как сон и голод. Люди порой выходят за границы своих рабочих вахт, но не по зову необходимости, а потому что им интересно, они хотят чему-то научиться, получить максимум пользы. Но, конечно, такой распорядок дня не норма, и за этим бдительно следят капитан и начальник экспедиции. Потому что невыспавшийся человек на палубе опасен не меньше, чем больной или пьяный.

## Безопасная экспедиция

Безопасность продолжает оставаться на первом месте. Никто не выходит под краны и механизмы без касок, а на открытые площадки палубы — без спасательных жилетов. Правило «проверил себя — проверь и друга» работает так же, например, как в дайвинге, когда после осмотра своего снаряжения ты осматриваешь снаряжение напарника.

Точно так же проверяются перед каждой рабочей сменой все приборы. Любой травмы и неисправности разумно бояться — на севере ЧП осложняется погодой и изоляцией. Первичные мероприятия по ремонту оборудования и лечению людей продуманы, но после серьезного происшествия нужно идти в порт, а это означает конец экспедиции.



## Охрана труда и средства индивидуальной защиты

Работа в любых специфических обстоятельствах требует выполнения определенных правил, которые позволят обеспечить безопасность процесса для всех участников. Сварщику нужна специальная маска, горнолыжнику — защита кистей и коленей, космонавту — скафандр.

Охрана труда во время работы на судне — не формальные слова: нужно быть предельно внимательным, грамотно экипированным и следовать продуманным инструкциям. Каждый член научного экипажа проходит обязательное обучение и знает, по каким правилам и в каких средствах индивидуальной защиты (СИЗ) надлежит выполнять работы.

### Что такое СИЗ

Аббревиатура объединяет под собой группу предметов, которые необходимы для безопасности человека во время работы. Набор СИЗ подбирается исходя из профессии и роли, а также зависит от рода работ и климатического пояса.

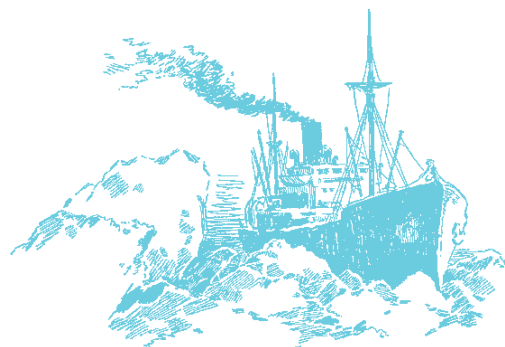
Средства защиты не зря называются индивидуальными. У каждого сотрудника есть свой персональный набор экипировки и предметов защиты: одежда, обувь, каска, перчатки, очки... Они выдаются на определенное время, например, каска выдается на 5 лет, сезонная одежда — на год.

Все работники следят за своими СИЗ: ухаживают, проверяют их целостность, вовремя отдают в химчистку — на судне она есть! Если что-то вышло из строя, сотрудник просит заменить элемент экипировки. Запас есть, но он не бесконечен, поэтому все стараются обращаться с защитой бережно.

Кроме личных предметов есть и другие приспособления — респираторы, спасжилеты, страховочные привязи, которые используются коллективно. Для них нет специального термина, и их тоже называют СИЗ.



Научные сотрудники опускают за борт телеуправляемый подводный аппарат. Они полностью одеты в СИЗ и пристрахованы к опорам на палубе



## От чего защищают СИЗ в арктической экспедиции

Территории, на которых проходят арктические экспедиции, относятся к особому климатическому поясу. Работа здесь требует высшего класса защиты в одежде, и первая задача СИЗ — защитить человека от переохлаждения, обморожения и вообще воздействия мороза, дождя, снега и ветра.

→ с. 20

Второй тип угроз — то, что называется «общепроизводственными загрязнениями». Хрестоматийный «падающий кирпич», разворачивающиеся подъемные краны, трос лебедки или рассыпанные гвозди не должны повредить человеку. Поэтому важно быть в каске и в плотной обуви.

И наконец, специфические моменты:

- риск падения за борт в ледяную воду при работе на открытой палубе;
- защита кожи и глаз при работе с химическими растворами в лаборатории.

## Типы и особенности СИЗ

**Для всех сотрудников экспедиции.** К ним относится одежда для разной погоды и видов работ, обувь, а также простые защитные и вспомогательные предметы: каска, перчатки, очки от брызг, фонарь. Одежда и обувь делятся на сезонные комплекты со своей спецификой. Например, в зимний комплект входит фонарь для работы в условиях полярной ночи. И в любом случае одежда должна быть яркой, чтобы люди видели друг друга издалека.

**Для специфических работ.** Собственные атрибуты безопасности продуманы для каждого рода деятельности: страховочные пояса и спасжилеты — для работы на открытой палубе и у борта, страховочная система — при работе на высоте, халаты и респираторы — для лаборатории. Часть СИЗ для специфической работы входят в личный комплект, а часть — общие для экипажа и передаются от вахты к вахте.

Спецодежда должна быть не только сертифицированной, то есть сшитой из специальных материалов, но еще и удобной. Здесь есть место вкусу: кто-то любит комбинезоны, а другие, наоборот, их не признают и сочетают полукомбез с курткой.

Обувь тоже может быть только специальной: с металлическими вставками, защищающими пальцы ног, и на нескользящей подошве. На судне запрещена обувь с открытой пяткой — даже тапочки должны быть с задником, иначе небезопасно. Поэтому все носят легкие прорезиненные тапочки-галоши.

Перчатки должны оберегать руки не только от холода, но и от трения: при работе с тросами нужно защитить ладони и пальцы, не нарушив их цепкости и подвижности. Поэтому перчатки сделаны из стойкого мембранного материала, который выдерживает трение.

Максимальную защиту от влаги обеспечивает костюм под названием «Рокон-Букса». Это общее название для «одежды рыбака» — прорезиненного костюма, который не даст промокнуть, даже если человека поливать из шланга.

Научные сотрудники экипированы в костюм «Рокон-Букса»

Научная сотрудница за работой в лаборатории на судне

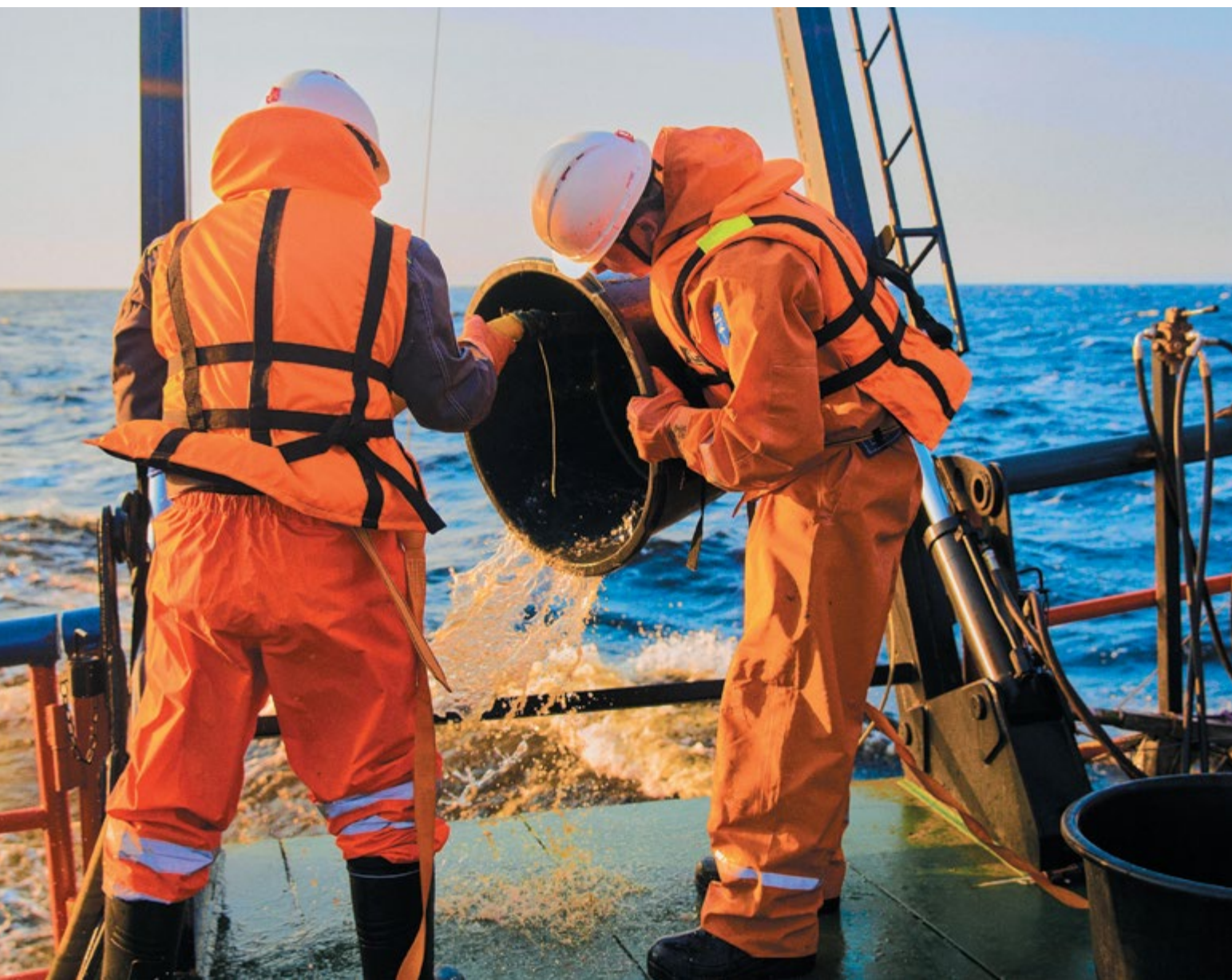
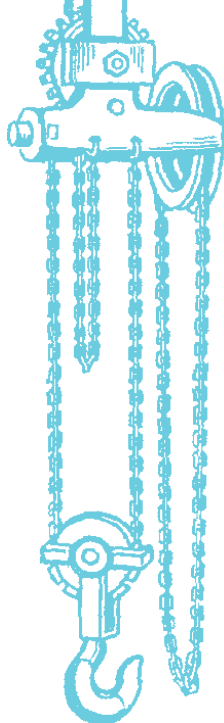


### СИЗ в системе охраны труда

СИЗ защитит человека при эксцессах. Разумеется, экипаж делает все, чтобы экспедиция прошла гладко и ничего не случилось, но гарантировать это невозможно. Риск все равно остается, поэтому экипаж подготовлен не только к тому, чтобы предотвращать проблемы и травмы, но и к тому, чтобы справляться с ними.

На непассажирских судах с экипажем меньше 50 человек нет отдельного врача. Но несколько членов экипажа обязательно владеют расширенной медицинской подготовкой.

Каждый из тех, кому предстоит взойти на борт экспедиционного судна, получает сертификат НБЖС — «Наставление по борьбе за живучесть судов». Документ подтверждает, что все знают обязанности экипажа по обеспечению живучести, то есть способности судна сохранять и восстанавливать свои навигационные качества и обеспечивать безопасность людей на борту. Так что экспедиционный коллектив готов справиться с большинством угроз в открытом море.



### Систематизация данных

Работа на судне ведется очень интенсивно, и невовлеченному наблюдателю может показаться, что вокруг царит хаос. Но это не так — не напрасно готовились программы работ и рейсовые задания, каждый человек знает порядок своих действий. Все пробы отбираются, описываются и упаковываются в строгом порядке. Все это проверяется начальниками отрядов и руководителями экспедиции. Видео и аэрофотосъемка обязательно копируются в нескольких экземплярах. Проверяется все, потому что если в систематизации, хранении, упаковке, транспортировке данных не будет порядка, получить внятный результат очень тяжело.

Ведутся так называемые полевые дневники: дата и время отбора проб, нюансы, которые происходили при отборе или при съемке рельефа дна. Дневники в обязательном порядке отправляются вместе с пробами и данными, чтобы людям, которые будут их обрабатывать, было легче разобраться. Полевой дневник отвечает на многие вопросы, возникающие при разборе и лабораторном исследовании проб.

### Обратный путь

Когда программа работ полностью выполнена, пробы отобраны и данные получены, судно начинает движение в порт демобилизации. Во время этого перехода научные сотрудники чистят, консервируют и упаковывают оборудование, а береговые службы занимаются подготовкой к судозаходу — нужно будет снять оборудование, заправить судно топливом, перегрузить и сдать в утилизацию мусор и сточные воды. И начинать готовить судно к новому рейсу — сезон в Арктике короткий, и буквально через 2–3 дня после захода в порт судно выйдет в море снова, со следующей экспедицией.

Ученые стараются использовать навигационный период с июля по октябрь как можно эффективнее. Когда море сковано льдом, работать там могут только ледоколы и тяжелые суда. Как правило, практически сразу по приходе судна к нему подаются грузовики, краны и все пробы, все оборудование уже подготовлено на обратном переходе к отправке, сразу загружается и отправляется по местам хранения или по местам разбора для анализа.

### Камеральная часть

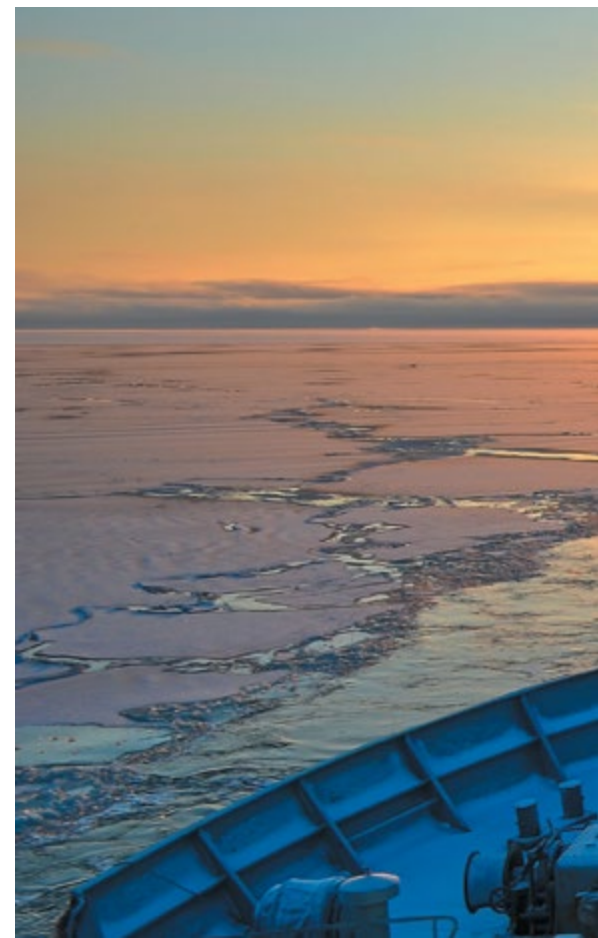
Но полевая часть экспедиции — это только половина дела, пусть и самая интересная. Просто пробы и голые данные не принесут пользы человечеству, нужно их проанализировать. Начинается следующая часть работы — камеральный анализ, по результатам которого будет издана научная статья, научный труд или получены производственные данные для следующих исследований.

Эта работа занимает не меньше, а часто даже больше времени, чем экспедиционная часть. Полученные за месяц плавания пробы и данные съемки могут обрабатываться всю зиму. Но камеральный этап — это именно та точка, в которой совершаются научные открытия.

Когда результаты обработаны, а научные отчеты написаны, приходит время конференций, публичного обсуждения результата экспедиции и планов будущих лет: колесо научного знания провернулось и вышло на исходную. Ученые снова думают, что же можно еще изучить, в каких районах моря они еще не были и куда направится судно в следующий раз.

А за формальными встречами приходит время неформальных: за время рейса участники успевают так привыкнуть друг к другу, что тоскуют без привычного коллектива и стремятся вновь поскорее увидеться. Люди в таких судовых коллективах становятся крепкими друзьями и на суше.

Ледовая проводка каравана судов поздней осенью





# Научное познание Арктики

- с. 62 Изучением Арктики как научного объекта занимаются ученые разных специальностей — геологи, гидрометеорологи, экологи. Они следуют циклу
- с. 37 научного познания, подключая к проекту релевантные научные методы для восполнения дефицита данных. Геологи изучают строение морского дна и слагающих его структур, гидрометеорологи направляют внимание на климат, экологи сопровождают все наблюдением и изучением экосистем.

Постановка научных целей и задач, а также анализ данных обычно проходят в рамках отдельных научных проектов, а вот сбор данных — в нашем случае экспедиционный — часто происходит сообща: чтобы разделить сложности и стоимость организации научной экспедиции.

За 10 лет реализации научных проектов проведено больше 30 экспедиций. О хронологии этих исследований — на следующей странице. ↗



# Исследования «Роснефти» за 10 лет

Сфера исследований: **Геология, Гидрометеорология, Экология**

**2010**

10.2010

## Лицензия на использование недр арктических морей

«Роснефть» получила четыре лицензии на пользование недрами Печорского моря (Южно-Русский участок) и Карского моря (участки Восточно-Приновоземельский-1, -2, -3). Компания приступила к анализу результатов предыдущих исследований, проработке стратегии геологоразведочных и проектированию первых поисково-оценочных работ на новых участках.

10.2011

## Арктический Научный Центр

Учрежден Арктический Научный Центр «Роснефти», который выполняет полный цикл научно-проектных работ по освоению шельфовых месторождений.

**2011**

**2012**

08.2012

## Сейсмические исследования в Печорском и Карском морях

Компания приступила к сейсморазведочным работам с.64 МОГТ-2D в Карском море, МОГТ-3D в Печорском море и на Университетской структуре в пределах участка Восточно-Приновоземельский-1 в Карском море. К 2022 г. выполнен беспрецедентный объем работ МОГТ-2D на всем арктическом шельфе — 144 тыс. пог. км с опережением установленных сроков и существенным превышением объемов работ по лицензионным обязательствам. Первоочередные структуры покрыты сейсморазведочными работами МОГТ-3D общим объемом 28,7 тыс. км<sup>2</sup>.

## Изучение выходов горных пород на островах

Возобновляются геологические экспедиции в Арктике. В Западной Арктике проведены полевые работы на арх. Северная Земля и Земля Франца-Иосифа. В Восточной Арктике — на западе Чукотки, острове Врангеля, побережье моря Лаптевых в районе устья реки Лены, острове Новая Сибирь, Восточном Таймыре и Анабаро-Хатангской седловине. Всего по заказу «Роснефти» с 2012 г. проведено 14 геологических экспедиций в Арктике. Полученные образцы горных пород с.129 позволили уточнить геологическое строение недр региона и спланировать стратегию геологоразведочных работ.

## Инженерно-геологические изыскания в Карском море

В пределах первоочередной структуры Университетская выполнены инженерно-геологические изыскания для постановки и безопасной эксплуатации плавучей буровой установки на точке строительства скважины. Сделаны выводы о морских инженерно-геологических, природных, техногенных, гидрометеорологических, экологических, океанографических и гидрологических условиях проведения работ. Проведены инженерно-геологические изыскания на 19 площадках под глубокое бурение.

07–08.2012

## Гидрометеорологическая наблюдательная сеть. «Кара-лето 2012»

Суда «Фритюф Нансен» и «Михаил Сомов» вышли из портов Мурманска и Архангельска в первую арктическую экспедицию с.74 «Кара-лето 2012» для сбора данных по гидрометеорологическим и ледовым условиям Карского моря. В результате развернута автоматическая сеть наблюдений за параметрами гидрометеорологического режима, состоящая из ПАБС и островных АМС.

**2013**

04.2013

## «Кара-зима 2013»

Первая ледоисследовательская экспедиция с.76 на атомном ледоколе «Ямал» с вертолетом Ка-32 на борту, мобилизация в порту Мурманск. В Карском море установлены ледовые станции на торосах и айсбергах, вмороженных в ледовые поля, проведено обслуживание островных АМС с использованием вертолета.

08.2013

## «Кара-лето 2013»

Экспедиция с.77 по обслуживанию сети ПАБС и островных АМС в Карском море.

## Авиасъемка берегов Карского моря

Первая авиасъемка берегов с.226 юго-западной части Карского моря для построения детальной карты береговой линии и оценки ее экологической чувствительности.

09.2014

**Начало разведочного бурения в Карском море**

Президент России Владимир Путин дал старт бурению [с. 127](#) самой северной в стране арктической скважины «Университетская-1». Бурение проведено за рекордные полтора месяца с абсолютным соблюдением всех технологических и экологических требований.

**Открытие уникального месторождения**

Открыто уникальное нефтегазовое месторождение «Победа» с суммарными извлекаемыми запасами порядка 130 млн тонн нефти и 396 млрд м<sup>3</sup> газа.

08–10.2014

**Наблюдательная гидрометеорологическая сеть в Восточной Арктике**

Первый арктический рейс для флагмана Росгидромета — судна «Академик Трешников». Судно с вертолетом Ка-32 на борту вышло из порта Архангельск для выполнения работ в морях Баренцевом, Карском, Лаптевых, Восточно-Сибирском и Чукотском. В ходе работ автоматическая сеть ПАБС и островных АМС расширена на Восточную Арктику. Впервые компанией выполнено радиолокационное зондирование ледников и айсбергов [с. 172](#) с вертолета (арх. Новая Земля и Северная Земля).

04–05.2014

**«Кара-зима 2014»**

Ледоисследовательская экспедиция [с. 78](#) в морях Карском и Лаптевых на атомном ледоколе «Ямал» с вертолетом Ка-32 на борту, мобилизация в порту Мурманск. Расширена география работ на море Лаптевых.

01.2014

**База гидрометеорологических данных**

Начало создания базы данных гидрометеорологических условий [с. 146](#) на лицензионных участках «Роснефти».

**Программа исследований морских млекопитающих**

Составлена программа приоритетных исследований морских млекопитающих [с. 98](#) на российском арктическом шельфе.

**Методика установки ошейника на самку белого медведя**

31 августа на острове Жохова (Чукотское море) установлен первый ошейник [с. 102](#) на самку белого медведя. Работы выполняли в рамках комплексной экспедиции «Кара-лето 2014».

**Авиасъемка берегов Карского моря**

Расширен географический охват авиасъемки берегов [с. 220](#) Карского моря. Дополнительно снято побережье полуострова Таймыр и Байдарацкой губы [с. 220](#), юго-восточное побережье арх. Новая Земля.

**Первая региональная геологическая модель Западной Арктики**

Построены структурно-седиментационные модели, реконструирована история развития регионов, проведено моделирование формирования углеводородных систем, нефтегазогеологическое районирование, оценка ресурсов и геологических рисков. Выбраны перспективные объекты дальнейших геолого-разведочных и полевых тематических работ. Моделирование позволило [реконструировать историю с. 138](#) развития бассейнов в геологическом времени, определить параметры нефтегазоносности, провести полный анализ развития и формирования углеводородных систем, значительно снизить степень геологической неопределенности и уточнить стратегию геологоразведочных работ.

09–10.2015

**«Чукотка-лето 2015»**

Экспедиция [с. 84](#) стартовала из порта Певек на судне «Михаил Сомов». Развертывание наблюдательной сети за параметрами завершено установкой АМС, АШСС на о. Врангеля. Попутно успешно выполнено обслуживание ПАБС.

01.09.2015

**Изучение крупнейших ледников Арктики и прогноз продуцирования айсбергов**

Изучены условия айсбергопродуцирования ледников [с. 172](#) на арх. Новая Земля, Земля Франца-Иосифа, Северная Земля, общий сброс которых составляет 70 % от сброса всех ледников Российской Арктики. Проведен прогноз образования айсбергов на ближайшие 50 лет. В 2017 году работа «Разработка системы управления ледовой обстановкой для условий Карского моря» признана лауреатом первой премии Международного конкурса научных, научно-технических и инновационных разработок, направленных на развитие и освоение Арктики и континентального шельфа.

04–06.2015

**«Кара-зима 2015»**

Ледоисследовательская экспедиция [с. 82](#) в морях Карском и Лаптевых на атомном ледоколе «Ямал» с вертолетом Ка-32 на борту. Установлена сеть островных АШСС в море Лаптевых.

**База данных торосов**

Создана одна из самых обширных в мире баз данных торосистых образований [с. 176](#) — около 200 торосов и стамух. Разработана и внедрена единая классификация торосистых образований Арктики, в основе которой — форма подводной части тороса или стамухи.

**Издан атлас гидрометеорологических и ледовых условий морей Арктики**

В результате обобщения данных экспедиций 2012–2014 гг. издан «Атлас [с. 230](#) гидрометеорологических и ледовых условий морей Российской Арктики» — первое с 1970 г. изданное обобщение метеорологических, гидрологических и ледовых условий для акватории морей Российской Арктики.

**Анализ видового разнообразия: перечень биоиндикаторов**

Разработана Программа сохранения биологического разнообразия на лицензионных участках «Роснефти». Выполнен анализ видового разнообразия на лицензионных участках компании, подготовлен [перечень видов-индикаторов с. 98](#) устойчивого состояния морских экосистем.

08.2015

**Исследования моржей на островах Печорского моря**

В рамках геолого-разведочных работ в Печорском море выполнены дополнительные исследования моржа на островах [с. 112](#), входящих в состав государственного природного заповедника «Ненецкий». Исследования выполняли до начала, во время и после сейсморазведочных работ для оценки их воздействия на лежбища животных.

**Методика отлова и спутникового мониторинга оленей**

Первые десять оленей помечены ошейниками [с. 119](#) с системой спутникового мониторинга Argos и встроенными GPS-приемниками. Отработана методика отлова диких оленей на местах их зимовки. Получены и обобщены уникальные сведения о путях, протяженности и сроках миграции оленей.



07.2016

**Патент на новую методику геофизических исследований**

Исследование позволяет совместить различные геофизические технологии в один проход судна по профилю, оптимизировать подготовку объектов к глубокому бурению, оценить геологические и технические особенности участков на ранних этапах ГРП. Методика разработана совместно с учеными МГУ и опробована в ходе двухлетней программы региональных инженерно-геологических работ в море Лаптевых.

09–10.2016

**Эксперименты по буксировке айсбергов**

Ледокол «Капитан Драницын» вышел из порта Мурманска для выполнения комплексных экспериментов по буксировке айсбергов [с. 175](#) («Айсберг-лето 2016»). В ходе экспериментов регистрировались профили течений, ветра, динамика буксировочного усилия. Выполнены первые в мире буксировки айсбергов в условиях наличия льда на акватории, а также несколько буксировок айсбергов массой более одного миллиона тонн. Технические решения для буксировки характерных айсбергов морей Баренцева и Карского показали высокий уровень эффективности и производственной безопасности. В 2019 г. работа «Определение характеристик ледяных образований морей Российской Арктики и практическая реализация технологических решений по снижению рисков их негативного воздействия на морские нефтегазовые сооружения при освоении континентального шельфа» удостоена Государственной премии Правительства РФ в области науки и техники.

08–09.2016

**Круглогодичная временная полевая база «Хастыр»**

Судно «Академик Трешников» вышло из порта Архангельска для развертывания круглогодичной временной полевой базы «Хастыр» [с. 180](#) в районе мыса Косистый Хатангского залива. Попутно выполнено обслуживание сети ПАБС и островных АМС, радиозондирование ледников с вертолета.

**Круглогодичное изучение физико-механических свойств морского льда**

Организовано 4 опытных полигона по круглогодичному изучению эволюции физико-механических свойств морского льда. Испытания проводились в районах р. Хастыр, мыса Баранова, пгт. Нолгики — г. Оха, бух. Мелководная. В 2020 году результаты исследований, опубликованные под названием «Разработка методик и технологий для обеспечения надежности морских гидротехнических сооружений при освоении арктического и тихоокеанского шельфа», удостоены Государственной премии Правительства РФ в области науки и техники для молодых ученых.

**Анализ видового разнообразия: перечень биоиндикаторов**

На основании утвержденного Минприроды России списка видов-биоиндикаторов в программы производственного экологического контроля и мониторинга дополнительно включен анализ [планктонных и бентосных организмов с. 202](#).

08.2016

**Исследование лежбища лаптевского подвидов моржа**

28 августа 2016 г. обследовано одно из наиболее удаленных и труднодоступных лежбищ лаптевского подвидов моржа [с. 107](#) на острове Беннетта в Восточно-Сибирском море. Взяты биопсии кожи и подкожного жира для молекулярно-генетических анализов. На трех животных установлены спутниковые передатчики, а на лежбище — фоторегистраторы. Береговые работы сопровождался комплексом судовых работ по отбору бентосных проб для оценки кормовой базы животных.

**Методика регистрации морских млекопитающих**

При участии специалистов Совета по морским млекопитающим разработана методика регистрации морских млекопитающих при выполнении [попутных судовых наблюдений с. 69](#). Методика описывает также мероприятия по минимизации воздействия на морских млекопитающих при проведении геолого-разведочных работ на арктическом шельфе.

08.2016

**Экологический атлас Карского моря**

Подписан в печать экологический атлас [с. 230](#) Карского моря. Этот обширный обзор современных знаний по состоянию экосистем Карского моря основан на анализе фондовых данных и собранных «Роснефтью» материалах, в том числе выполненной в 2013 и 2014 гг. авиасъемке берегов Карского моря.

**База экологических данных в Карском море**

Разработана и зарегистрирована база данных «Экологический атлас Карского моря». Включает информацию по физико-географическим, социоэкономическим, археологическим, экологическим параметрам акватории и прибрежной зоны Карского моря. В атлас включена информация по биоразнообразию Карского моря и карты экологической чувствительности его берегов.

09.09.2017

**Система мониторинга ледовой обстановки (СМЛО)**

Закончена разработка [основных элементов СМЛО с. 174](#) — ключевого фактора безопасного выполнения морских операций в арктических морях. Изучены зоны образования айсбергов и определены их максимально возможные размеры. По спутниковым снимкам и данным аэрофотосъемки изучены размеры и формы фактически образующихся айсбергов, направления их дрейфа, проведены крупномасштабные исследования по взаимодействию корпуса ледокола с грядками торосов.

10.2017

**Изучение донных сообществ**

На Беломорской биологической станции МГУ разработана методика [построения карт распределения донных сообществ с. 210](#) с использованием геофизических данных. Применение этой методики в октябре 2016 года позволило изучить распределение донных сообществ в северной части самого большого по площади лицензионного участка «Роснефти» на арктическом шельфе.

11.2018

**Методика геокриологического картирования арктических морей**

На основе новой методики построены карты геокриологического районирования Карского моря и моря Лаптевых.

**Цифровой архив параметров**

Данные за 5 лет экспедиций собраны в единую базу и подготовлены для моделирования полей основных параметров гидрометеорологического режима.

**Технологическая форма микробного препарата**

Разработана технологическая форма микробного препарата [с. 194](#) для очистки акватории северных морей от углеводородных загрязнений. Препарат представляет собой гранулы, покрытые гидрофобной оболочкой. Гранулы содержат клетки микроорганизмов в покоящемся состоянии и питательные вещества, необходимые для начала их активного роста.

← 2018 **2019**

11.2019

**Результаты анализа экспедиционных данных по морфометрии и внутреннему строению стамух моря Лаптевых**

Научная статья «Морфометрические параметры стамух моря Лаптевых» удостоена премии Международного общества инженеров-исследователей океана, Арктики и Антарктики (*ISOPE*) — «Лучшая научная статья *ISOPE 2019*».

12.2019

**Соглашение о сохранении биологического разнообразия**

«Роснефть» и Министерство природных ресурсов и экологии Российской Федерации подписали Соглашение о взаимодействии в рамках национального проекта «Экология». Соглашение направлено на развитие сотрудничества в области сохранения биологического разнообразия. В частности, «Роснефть» будет реализовывать корпоративную программу по изучению, сохранению и мониторингу ключевых видов—биоиндикаторов устойчивости арктических экосистем: белого медведя, атлантического моржа, дикого северного оленя и белой чайки.

**Модернизация корпуса Лаборатории проточных морских систем**

При поддержке «Роснефти» началась модернизация корпуса Лаборатории проточных морских систем на базе Беломорской биологической станции им. Н. А. Перцова МГУ, на берегу Кандалакшского залива Белого моря.

**Испытание микробного препарата**

В проточных морских аквариальных системах на биостанции успешно испытан био-препарат [с. 197](#) для очистки северных морей от углеводородных загрязнений.

**2020**

**Самое северное бурение в истории исследования арктического шельфа России**

Серия малоглубинных (до 90 м по грунту) скважин в Северо-Карском бассейне — труднодоступной и одной из наименее изученных частей арктических акваторий. Из десяти скважин общей глубиной по грунту более 500 м отобран керн общим объемом более 300 м, который служит прямым источником геологической информации [с. 128](#), необходимой для определения возраста, состава и условий формирования пород.

**Два новых месторождения в Карском море**

Открыты два уникальных месторождения [с. 138](#) им. Маршала Жукова и им. Маршала Рокоссовского с суммарными запасами в объеме более 1,3 трлн м<sup>3</sup> газа и 50 млн тонн конденсата. Открытия подтвердили высокий углеводородный потенциал новых нефтегазоносных районов Карского моря.

07–08.2020

**Исследование белой чайки**

В рамках соглашения с Минприроды выполнены исследования белой чайки [с. 114](#) на островах Карского моря. Основной полигон исследования — остров Визе в северной части Карского моря. Впервые описана лейкоцитарная формула крови птицы, проведены комплексные исследования для оценки уровня стресса и параметров здоровья белой чайки.

**2021**

2021

**Методика ускорения бурения**

Успешный проект по бурению малоглубинных скважин позволил перенести приобретенный опыт на другие малоизученные осадочные бассейны. В море Лаптевых впервые применена технология комбинированного бурения *Piggy Back*, которая ускорила процесс бурения и увеличила глубину скважин по грунту до 221 м. Также применена технология оптоволоконного ВСП, которая позволяет проводить исследование в необсаженных стволах скважин. Всего в море Лаптевых пробурено шесть малоглубинных скважин общей глубиной по грунту более 800 м с общим выносом керна более 400 м.

2021

**Математическое моделирование буксировки айсбергов**

Проведено физическое (в волновом опытовом бассейне и аэродинамической трубе) и математическое моделирование процесса буксировки айсбергов. Разработан симулятор и специальное программное обеспечение для моделирования буксировки айсберга при различных операционных условиях.

**Алгоритм действий экипажа при буксировке айсбергов**

Разработаны методики и алгоритмы действий экипажа судна-буксировщика в процессе [буксировки айсберга с. 175](#), а также научно-методические рекомендации по организации айсберговой защиты морских нефтегазопромысловых сооружений.

08.2021

**Повторное исследование атлантического подвида моржей**

В ходе исследований на арх. Земля Франца-Иосифа описано самое многочисленное лежбище моржей [с. 112](#) атлантического подвида на острове Ева-Лив, насчитывающее более 2000 особей.








Гидролокационная съемка подводной части айсберга  
в заливе Журавлева в Карском море







# Региональные исследования

# Направления региональных исследований

Для работ в арктических условиях компании нужны не только проверенные временем методы, но и новые технологии, материалы, обширный пласт современных знаний о регионе. Арктика требует высокоэффективно планировать деятельность, учитывать всю хрупкость уникальной экосистемы и узкие погодные окна при проведении работ.

Основная задача научной программы «Роснефти» — обеспечить безопасную для человека и природы хозяйственную деятельность на шельфе. Эта системная работа проводится совместно с ведущими научными и проектными организациями страны. С 2012 года компания запустила комплексную долгосрочную научную программу по направлениям геологии, гидрометеорологии и экологии.

Количество задач и обилие белых пятен в современных знаниях об Арктике так велико, что в первую очередь необходимы региональные исследования. Речь о получении верхнеуровневой, обзорной информации о состоянии окружающей среды на всей акватории Российской Арктики — от геологических данных до знаний о распределении наиболее уязвимых представителей морской фауны.

Региональные исследования нужны для всех трех перечисленных направлений. Но цели у них разные.

Геологические исследования нужны для поиска и разведки месторождений — от уточнения общих закономерностей строения осадочных бассейнов до прогнозирования нефтегазоносности и выбора наиболее перспективных зон и участков для проведения более детальных исследований.

Гидрометеорологические — для сбора данных на участках акватории, дополняющих покрытие государственной сети гидрометеорологических наблюдений в ключевых для деятельности компании районах. С 2012 года «Роснефть» проводит серию экспедиций, цель которой — развернуть и поддерживать наблюдательную инфраструктуру для круглогодичного мониторинга гидрометеорологических и ледовых условий.

→ с. 72

Экологические исследования призваны получить данные о состоянии экосистем до начала активной деятельности в регионе. На первых этапах большое значение имеют попутные судовые наблюдения, которые обеспечивают исследователей информацией о распределении морских птиц и млекопитающих. При существенных ограничениях метода — сборе данных только по ходу движения судна — зимние наблюдения за морской фауной позволяют получить уникальные данные о распределении животных в ледовый период.

Региональные площадные исследования по каждому из направлений становятся базой — отправной точкой для детальных исследований.



# Региональные геологоразведочные работы

Для того чтобы обнаружить новое месторождение углеводородов или уточнить строение уже известного, нужно иметь довольно четкое представление об общем геологическом строении региона.  
→ с. 138

Для определения участков с перспективными объектами поиска нужно собрать все возможные данные об изучаемом регионе, поэтому такой этап геологоразведочных работ называется *региональным* — он охватывает большую часть шельфа российских арктических морей. Важнейшим элементом региональных исследований в Арктике являются геологические экспедиции. В 2012–2019 годах в компании была реализована уникальная программа по организации и проведению 14 арктических экспедиций на ключевых для понимания геологии шельфа островах и участках прибрежной суши.

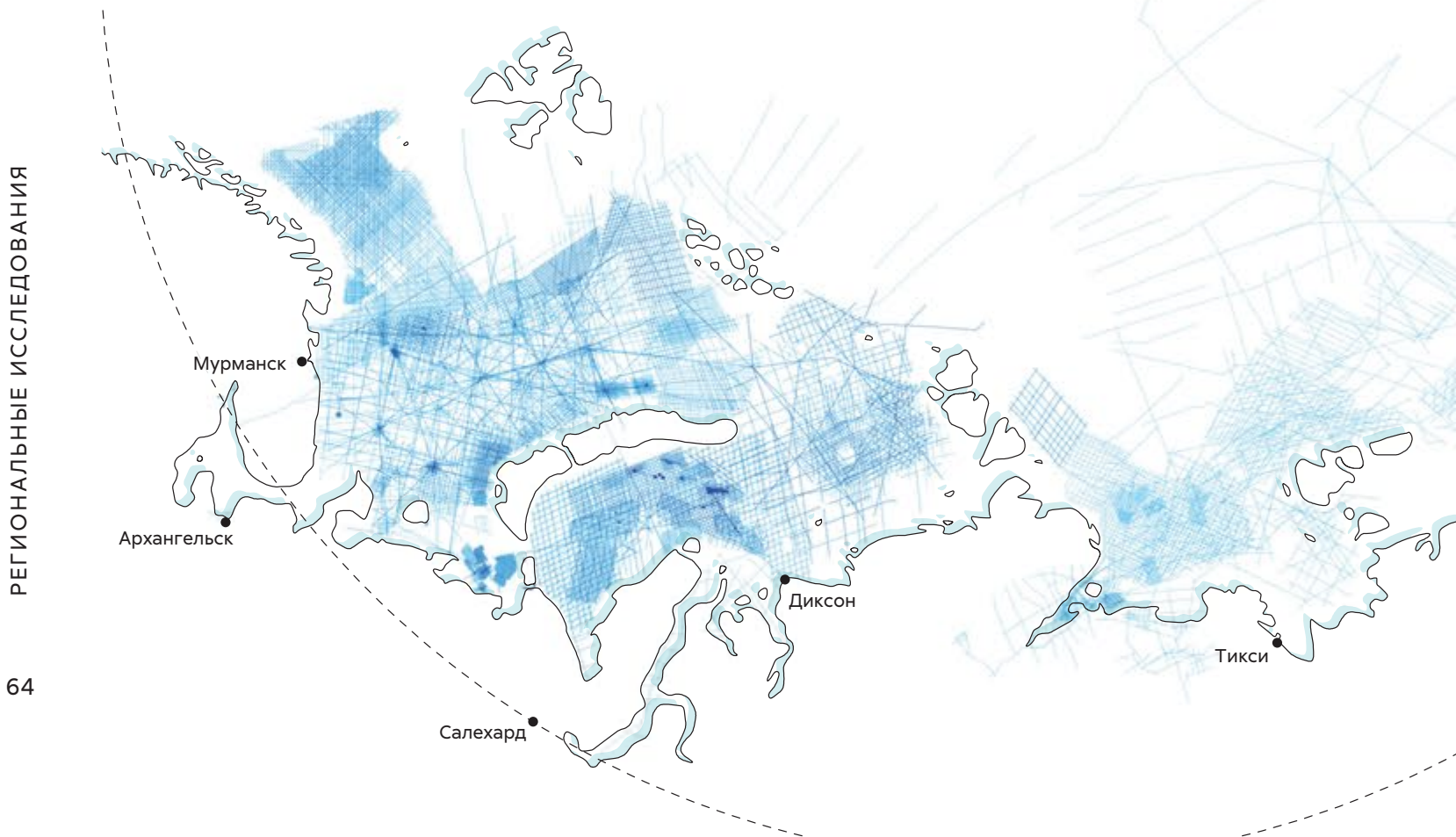
## Задачи регионального этапа геологоразведки

1. Изучить основные закономерности геологического строения слабоизученных осадочных бассейнов.
2. Оценить возможную нефтегазоносность изучаемого региона с выделением наиболее перспективных зон и участков.
3. Определить первоочередные районы для постановки поисковых работ.

**Осадочный бассейн** — это регион земной коры, где длительное прогибание создает пространство для накопления осадочных отложений. Пока отложения находятся под землей, они подвергаются возрастающему давлению, прогреву, начинаются процессы уплотнения, литификации, которые превращают их в осадочную породу.

**Нефтегазоносный бассейн** — часть осадочного бассейна, в котором реализованы процессы генерации, миграции, аккумуляции и консервации углеводородов (нефти и газа).

Общая изученность акватории морей Российской Арктики сейсмическими исследованиями 2D



## Методика сейсмических исследований

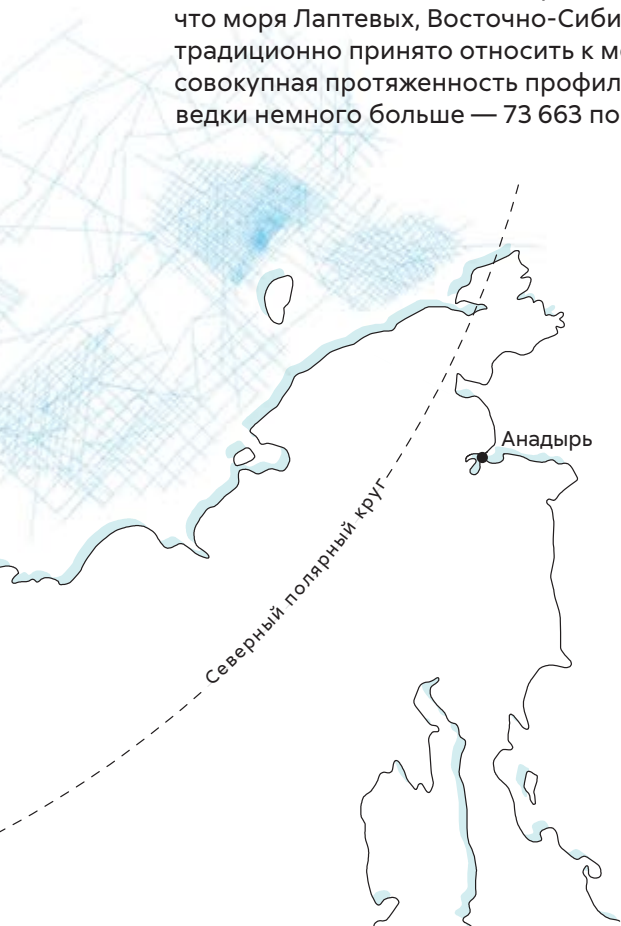
«Роснефть» целенаправленно проводит региональные геологоразведочные работы, и эти работы включают большой объем геофизических исследований, прежде всего — сейсморазведочных.

→ с. 129

Метод основан на различии плотностей горных пород и скоростей упругих волн в них. В недра направляется сейсмическая упругая волна, которая в разных породах распространяется с разной скоростью. Волна отражается от границ геологических слоев, возвращается с измененными свойствами и регистрируется приемником. Ученые получают информацию о скорости распространения упругих волн и времени их регистрации в каждом из слоев, что позволяет им судить о геологическом строении разреза. В результате получается двухмерная или трехмерная картина слоев горных пород, из которых сложены земные недра.

Сейсморазведочные работы требуют дорогостоящего оборудования, при этом морская сейсморазведочная аппаратура должна отвечать особым требованиям охраны окружающей среды. «Роснефть» проводит сейсмические исследования 2D и 3D на арктических шельфовых лицензионных участках компании начиная с 2012 года.

В Западной Арктике (на акватории Баренцева, Печорского и Карского морей) общая протяженность профилей, выполненных «Роснефтью», — 70 353 пог. км. В Восточной Арктике, несмотря на то что моря Лаптевых, Восточно-Сибирское и Чукотское традиционно принято относить к менее изученным, совокупная протяженность профилей 2D-сейсморазведки немного больше — 73 663 пог. км.



Свыше

# 75 %

всех геофизических исследований «Роснефти», проводящихся на арктическом шельфе, составляет сейсморазведка

### Принцип сейсморазведки

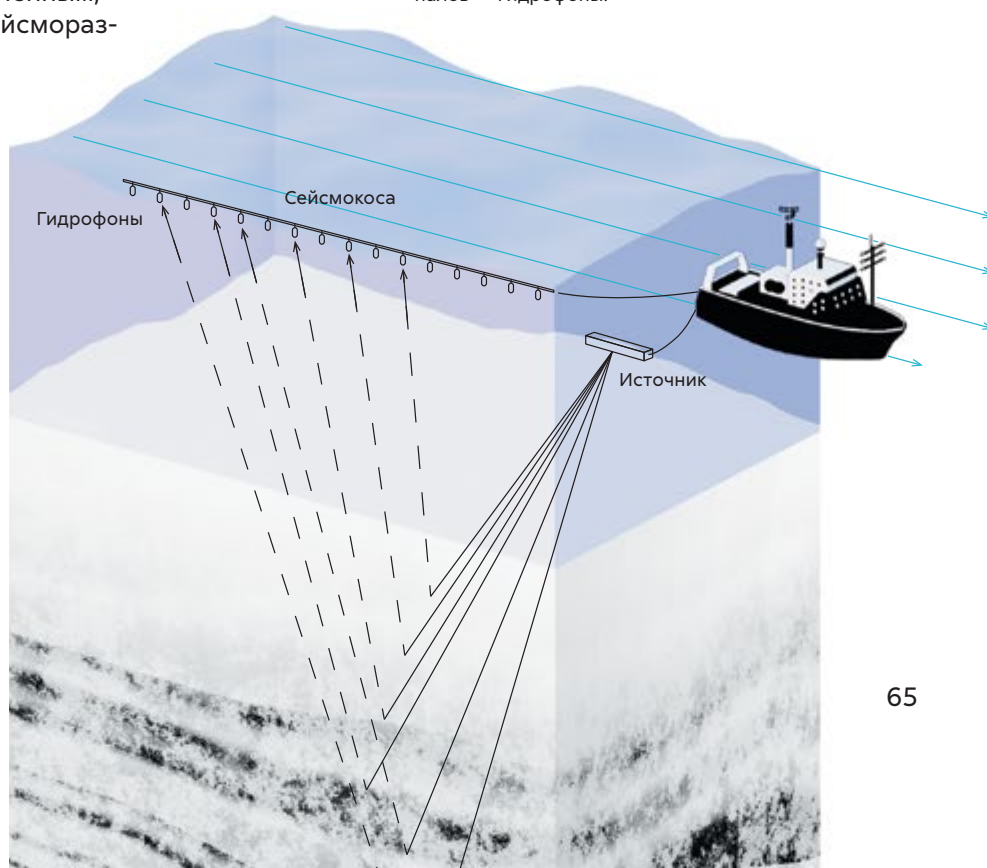
Сейсмические данные регистрируются в автоматическом режиме при движении корабля с установленной на нем сейсморазведочной станцией. Источник (пневмопушка) возбуждает упругие колебания с периодичностью в несколько секунд, эти колебания регистрируются гидрофонами на плавающей сейсмической косе и записываются на магнитный или цифровой носитель.

В процессе цифровой обработки из зарегистрированных данных строят временные и глубинные разрезы, интерпретация которых дает представление об основных чертах геологического строения района исследований.

→ с. 130

Расстановка сейсмических кос зависит от размерности сейсморазведки. При 2D-разведке косы расставлены в прямую линию, при 3D-разведке это блок параллельных приемных линий.

**Сейсмочоса** — кабель с плавучестью, близкой к нейтральной, на котором расположены приемники сейсмических сигналов — гидрофоны.



# Гидрометеорология

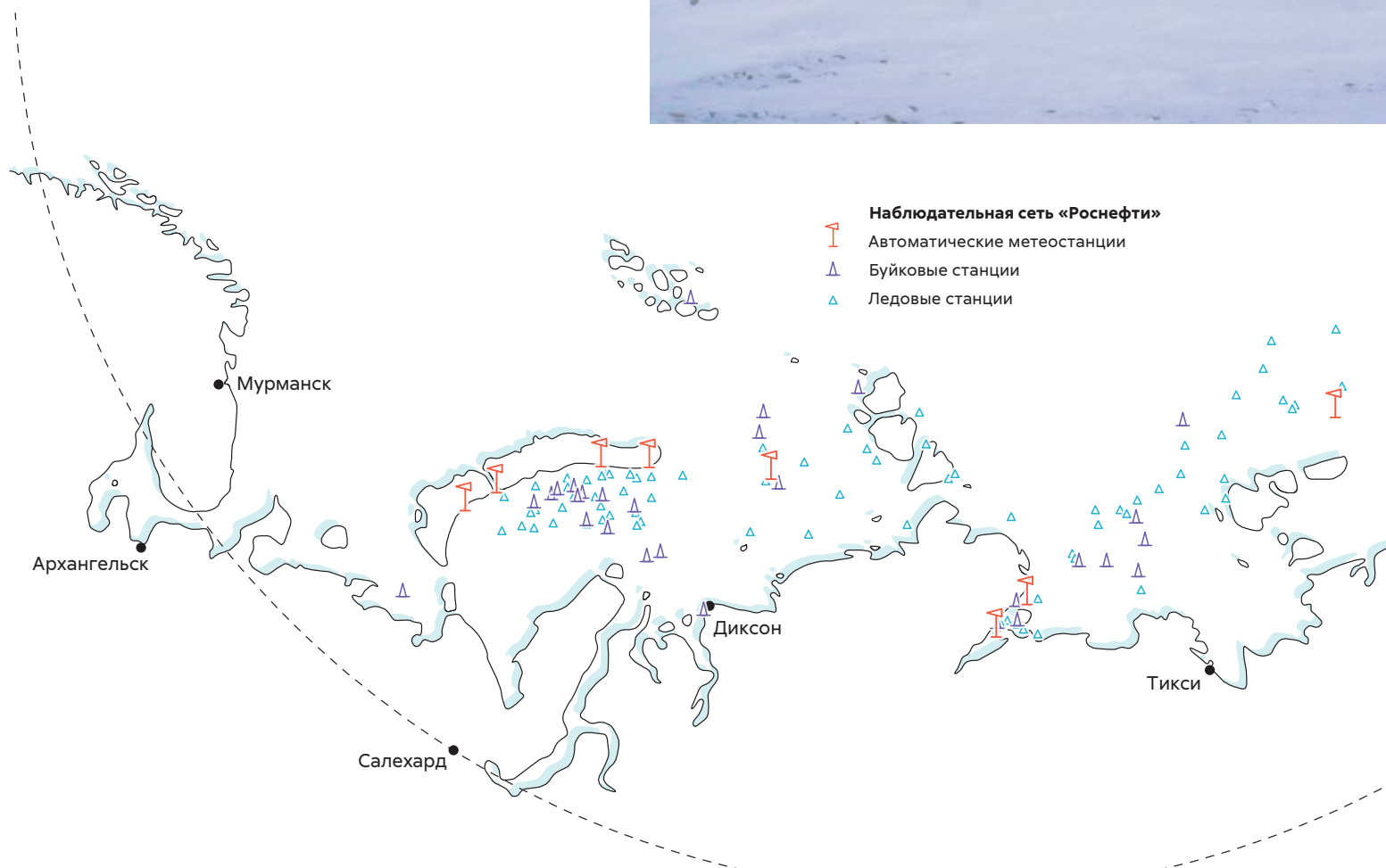
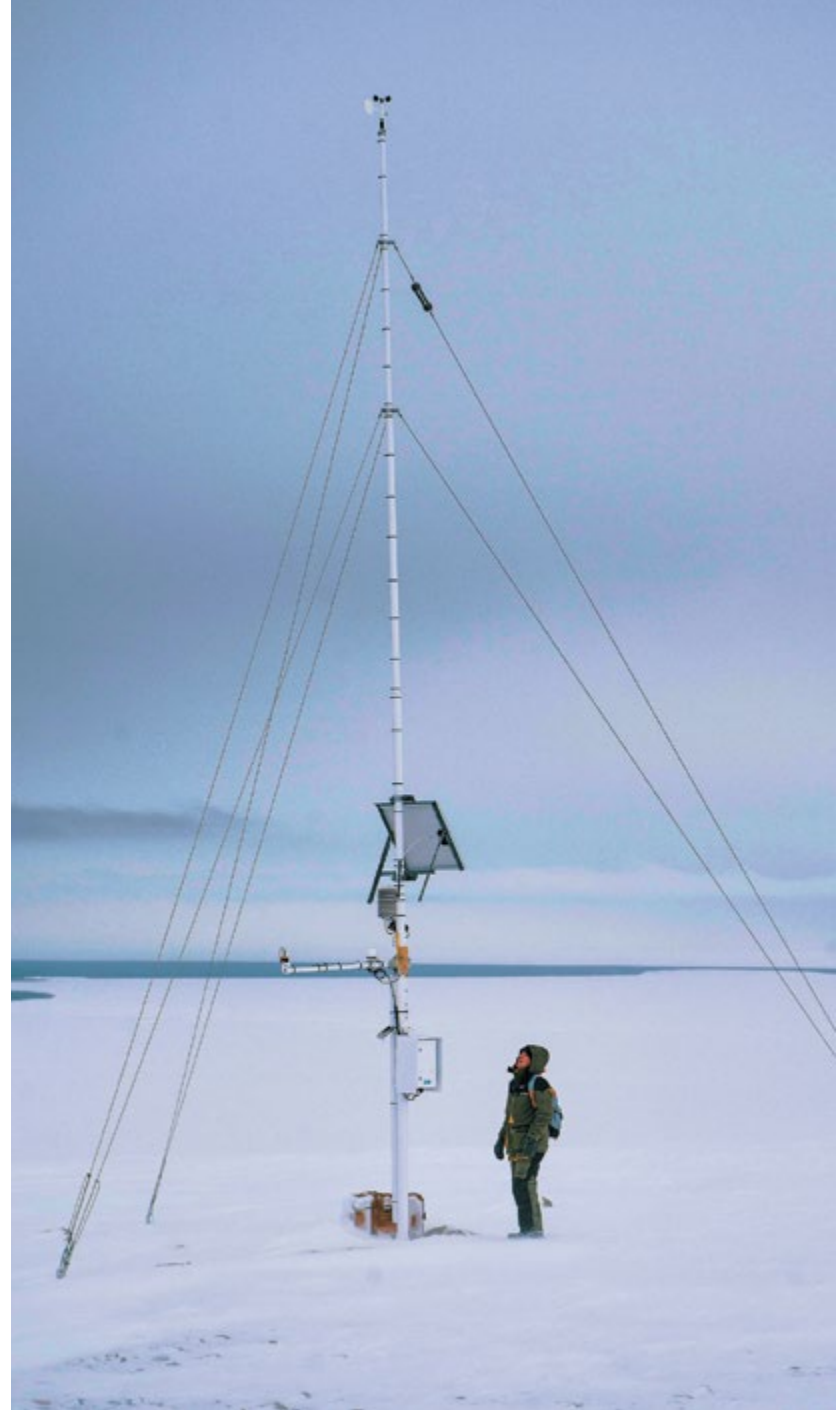
Подходить к освоению перспективных территорий нужно осторожно и вдумчиво. Традиционные технологии в экстремальных климатических условиях могут оказаться неэффективны, а зарекомендовавшая себя техника — неприменима.

Для того чтобы адаптировать существующие технические решения и разработать новые, нужны достоверные данные об условиях их эксплуатации: рабочих температурах воздуха, скоростях морских течений, толщине и прочности льда и других. Для сбора природно-климатических данных проводятся гидрометеорологические исследования.

→ с. 72

В морях Российской Арктики компания «Роснефть» развернула широкую наблюдательную сеть из автоматических метеорологических и притопленных буйковых станций. Их главная цель — получить гидрометеорологические и океанологические данные. Но информация представляет также особый интерес для климатических исследований, поскольку ряд метеоданных получен из труднодоступных и ранее не исследованных районов Арктики — «кухни погоды» Земли.

→ с. 142



## Автоматические метеорологические станции

Автоматические метеостанции (АМС) собирают и передают природно-климатические данные:

- о температуре и влажности воздуха;
- скорости и направлении ветра;
- атмосферном давлении;
- солнечной активности;
- снежном покрове.

Установленные АМС сертифицированы для арктического климата. Наблюдения передаются через спутниковую систему связи в режиме коротких сообщений, а также непрерывно записываются в память прибора.

С помощью данных, полученных с АМС:

- определяются статистические характеристики и идентифицируются опасные события;
- настраиваются математические модели;
- предоставляется информация в реальном времени для поддержки операций в период функционирования.

АМС, Северный остров арх. Новая Земля

## Притопленные автономные буйковые станции

Буйковые станции (ПАБС) учитывают волнение и уровень моря, течения по горизонтам, осадку, направление и скорость дрейфа льда. ПАБС устанавливаются сроком на год на глубине около 60 метров.

Они используются для:

- определения статистических характеристик и идентификации опасных событий;
- настройки математических моделей.

Еще один вариант установки ПАБС — придонный. Оборудование в таком виде привлекает обитателей морского дна, чьи кладки икры и колонии можно обнаружить при поднятии станции. Фиксировались случаи более активного воздействия на ПАБС: на юге Карского моря станцию сдвигало килем крупного айсберга во время шторма. Также, предположительно, к станции проявляли интерес крупные морские млекопитающие.



Установка ПАБС в Карском море

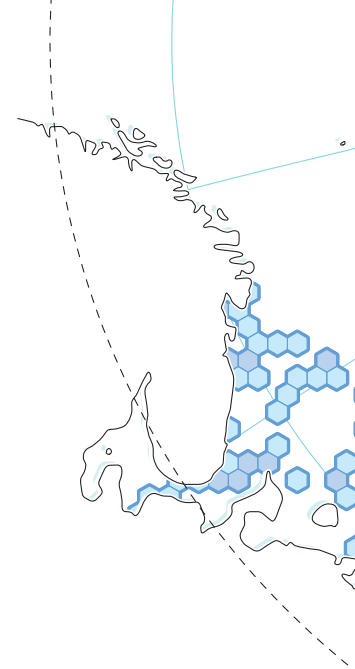
## Автоматические широкополосные сейсмические станции

АШСС использовались для построения каталога землетрясений — в нем выделены новые очаги землетрясений в районе моря Лаптевых и Хатангского залива, проведено сопоставление с картой разломов по данным сейморазведки. Методами томографии определены аномалии сейсмических скоростей на глубинах 30–60 км и сопоставлены с тектоническими структурами моря Лаптевых.

По причине того что реагировать АШСС могут не только на землетрясения, но и на слом прибрежного льда или техногенные шумы, их устанавливают в отдалении от инфраструктуры и от берега океана. Чтобы защитить АШСС и ее батарейный блок от любопытных медведей, станцию размещают в большом антивандальном контейнере.



# Судовые наблюдения за морской фауной



Когда данных о регионе мало, исследователи используют любую возможность, чтобы их получить. Информацию о морской фауне, встречаемости птиц и млекопитающих можно собирать попутно, то есть прямо с борта судна во время плавания. При этом в слове «попутно» нет ни малейшего пренебрежения. Такие судовые наблюдения — важная часть комплексных арктических экспедиций, и для специалистов-зоологов это шанс заполнить пробелы в знаниях о морских млекопитающих в акватории Российской Арктики.

→ с. 78  
 Комплексные экспедиции — сами по себе прекрасная возможность для сбора дополнительного материала попутно. Например, ученые могут оказаться в труднодоступной акватории в зимний период. Собранный по маршруту следования судна материал позволяет не только актуализировать уже известные данные о распределении видов морских млекопитающих, но и дополнить их, что особенно важно для малоизученной центральной части бассейна арктических морей России.

## Работа наблюдателя

Промышленная деятельность на шельфе, в том числе сейсмические исследования, создает подводный шум, который влияет китообразных и ластоногих, их способность к общению и ориентированию в пространстве. Задача наблюдателей — не просто регистрировать встречи с представителями фауны, они отвечают за меры по их защите. Нужно убедиться, что в районе работ нет уязвимых животных, или по крайней мере следить, чтобы источники шума включали постепенно, давая животным время приспособиться или покинуть район. Команда наблюдателей обычно состоит из трех специалистов-териологов, которые сменяют друг друга повахтенно. Они ведут наблюдения на протяжении всего светового дня — для высокоширотных экспедиций в летний сезон это означает круглосуточную работу. Наблюдение ведется с самой высокой площадки на судне: чаще всего — с крыльев ходового мостика, а в плохую погоду — с капитанского мостика.

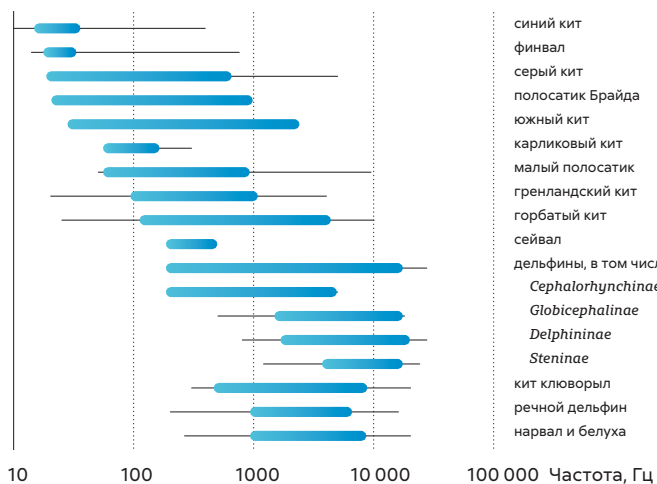
## Инструменты и данные

Наблюдатель обзревает акваторию в бинокль или невооруженным взглядом. Он регистрирует вид и количество особей, их поведение, присутствие в группе детенышей. При возможности определяет возраст и пол особей.

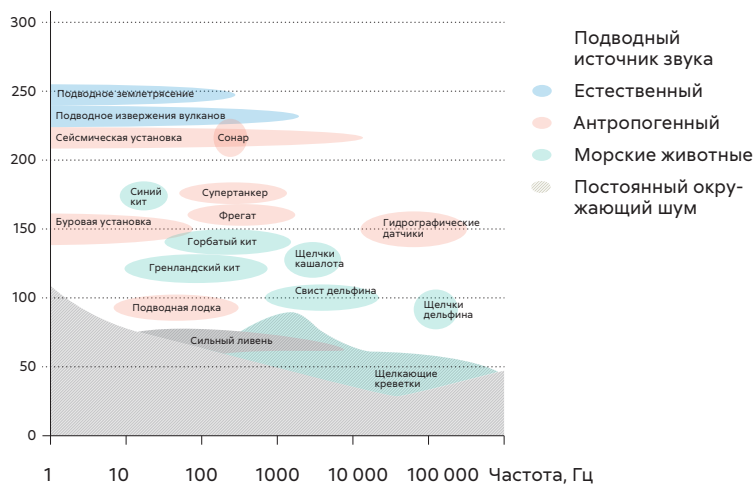
Дистанцию до животных измеряют с помощью дальномерной шкалы, ретикулярных биноклей, судовых радаров и лидаров, лазерных дальномеров. Координаты встреч морских млекопитающих регистрируются портативным GPS-приемником и геолокационным судовым оборудованием.

Помимо информации о животных в специальные формы заносят курс и скорость судна, видимость, состояние поверхности и глубину моря в месте встречи, сплоченность льда, волнения моря. Эти данные нужны для оценки абиотических характеристик места встречи.

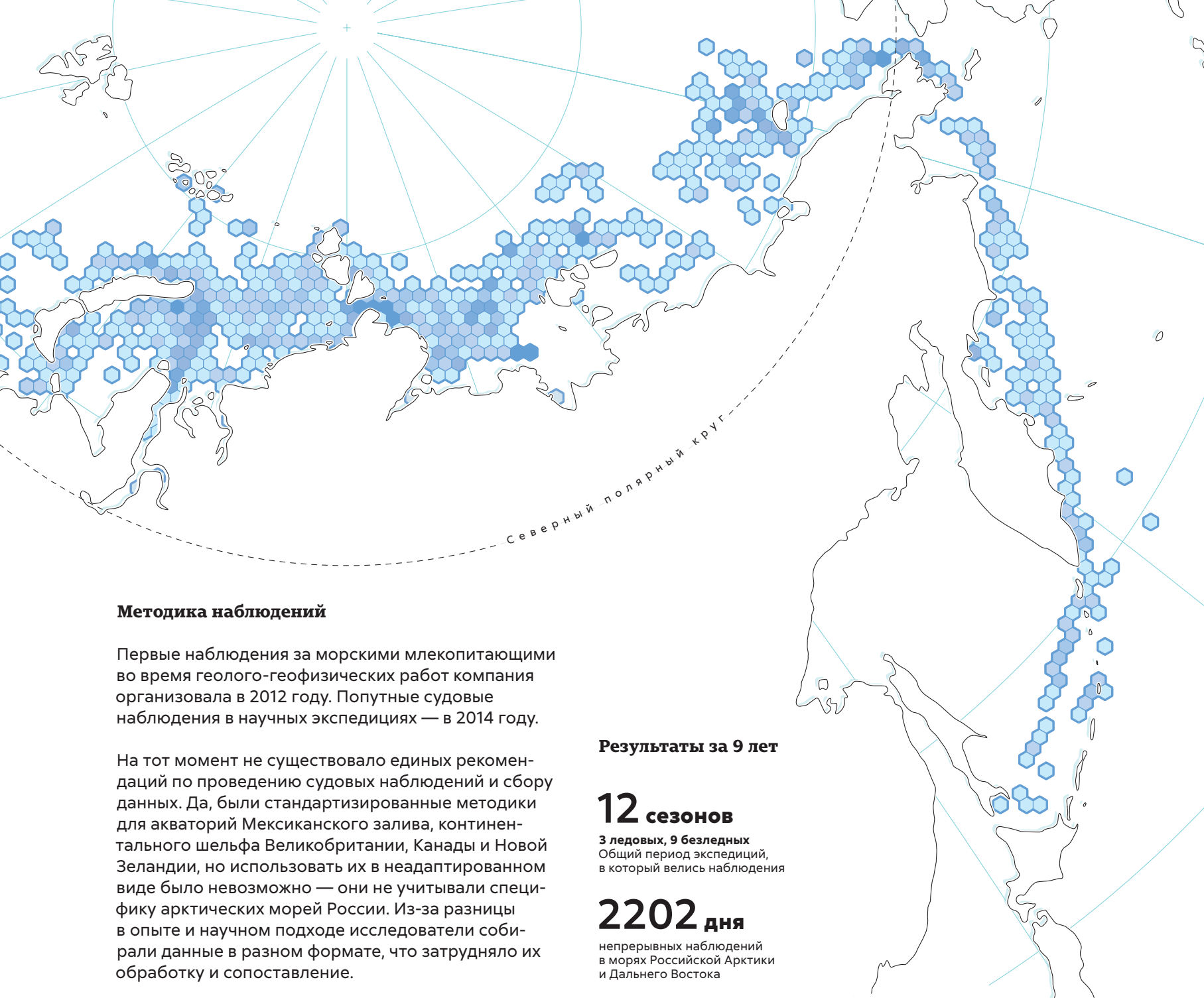
Диапазоны голосов и свистов китообразных



Уровень шума, дБ







### Методика наблюдений

Первые наблюдения за морскими млекопитающими во время геолого-геофизических работ компания организовала в 2012 году. Попутные судовые наблюдения в научных экспедициях — в 2014 году.

На тот момент не существовало единых рекомендаций по проведению судовых наблюдений и сбору данных. Да, были стандартизированные методики для акваторий Мексиканского залива, континентального шельфа Великобритании, Канады и Новой Зеландии, но использовать их в неадаптированном виде было невозможно — они не учитывали специфику арктических морей России. Из-за разницы в опыте и научном подходе исследователи собирали данные в разном формате, что затрудняло их обработку и сопоставление.

Все наблюдения, которые ведутся сейчас, строго следуют методике, разработанной в 2015 году. Арктическим научным центром «Роснефти» совместно с РОО «Совет по морским млекопитающим». Она учитывает специфику работы в арктических морях России, стандартизирует методы сбора первичных данных, формат и параметры регистрации встреч.

Рекомендации включают обширный справочный материал:

- помощь в видовой идентификации встреченных особей;
- указания по сбору сопутствующих данных: условия наблюдений, загрязнение поверхности моря;
- инструкции по безопасному выполнению работ, хранению и обращению с собранными данными. ↗

### Результаты за 9 лет

**12 сезонов**

3 ледовых, 9 безледных  
Общий период экспедиций, в который велись наблюдения

**2202 дня**

непрерывных наблюдений в морях Российской Арктики и Дальнего Востока

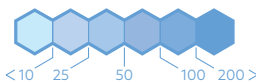
**5987**

встреч морских млекопитающих и белых медведей

**14 812**

встреченных особей

Число встреченных особей морских млекопитающих



гидрометеор



# Сбор биологической информации



# Экспедиции: сбор гидрометеорологических данных

Ряд арктических экспедиций частично, а иногда и полностью посвящены сбору информации о климате, ледовой обстановке и состоянии гидросферы региона. Гидрометеорологические данные нужны для решения прикладных и долгосрочных задач: обеспечить безопасность поискового бурения и следующей экспедиции, заложить параметры проектных решений, которые сделают возможным строительство и эксплуатацию стационарных объектов и обеспечат безопасную логистику.



## Гидрометеорологические объекты для изучения

Изучение и хозяйственное освоение Арктики невозможны без представлений о состоянии климатической системы — температуры воздуха, солёности воды, течениях и ледовой обстановке.

→ с. 25  
Абсолютно точные данные, скорее всего, будут недоступны, но для прокладки маршрутов в северных морях и проектирования сооружений необходимо знание пороговых значений и общих закономерностей. Их получают благодаря непосредственному сбору данных во время экспедиций, а затем на основе анализа этих данных ученые формируют более точное представление о гидрометеорологических условиях региона.

Изучение в целом сводится к сбору данных об объектах гидросферы, криосферы и атмосферы. К таким объектам относятся:

- морская вода: температура, солёность, характер течений летом и зимой;
- морской лед: толщина и прочность (зимой);
- атмосфера: температура, скорость, направление;
- айсберги: размеры и форма, траектория дрейфа, в том числе для возможности буксировки;
- ледники: скорость течения, мощность и размеры выходящего на акваторию «языка» для прогноза продуцирования айсбергов;
- торосы и стамухи: размеры, форма и прочностные свойства.



Установка ПАБС (притопленной автоматической буйковой станции), «Чукотка-лето 2015»

## Экспедиционные задачи и методы изучения

Для сбора данных необходимо установить приборы, соответствующие потребностям изучения разных объектов, а затем регулярно обслуживать их, чтобы исправно и непрерывно получать ряды данных.

→ с. 146

### Методы и приемы сбора данных

### Данные

Методы и приемы сбора данных	Данные
<b>МОРСКОЙ ЛЕД</b>	
Ледовые станции, изучение ледовых полей, термобурение	Физические и механические свойства ровного льда и ледяных образований
<b>МОРСКАЯ ВОДА</b>	
Притопленные автоматические буйковые станции (ПАБС)	Скорость и направление течений по горизонтам, уровень моря, температуры воды, параметры волнения моря, скорость и направление дрейфа льда, осадко-ледяных образований
CTD-зондирование	Вертикальное распределение солёности, температуры и плотности воды
<b>АТМОСФЕРА</b>	
Автоматические метеостанции (АМС)	Температура и влажность воздуха, атмосферное давление, скорость и направление ветра
<b>ТОРОСЫ И СТАМУХИ</b>	
Тахеометрическая съёмка	Надводные размеры
Термобурение	Внутренняя структура
Гидролокационная съёмка	Подводные размеры торосов и контуров кила
<b>АЙСБЕРГИ</b>	
Установка буйев с системой геопозиционирования (GPS)	Параметры движения
Гидролокационная съёмка	Форма и размер подводной части
<b>ЛЕДЯНЫЕ ПОЛЯ</b>	
Постановка радиобуйев на ледяные поля и ледяные образования	Параметры дрейфа
<b>ЛЕДНИКИ</b>	
Толщиномерная съёмка ледников	Оценка возможных размеров айсбергов и расхода льда на их образование
Аэрофотосъёмка	Текущие размеры надводной части айсбергов

## Организация гидрометеорологических экспедиций

Для того чтобы охватить изучаемые объекты во всех необходимых видах и состояниях, экспедиции проводились в летнее и зимнее время. Названия экспедиций таким образом складываются из наименования региона работ и сезона: «Кара-лето» — экспедиция в Карском море в летний период.

Учитывая разнообразие исследований во время экспедиций, для реализации привлекались:

- научно-исследовательские суда;
- научно-экспедиционные суда с палубным вертолетом;
- атомные и дизельные ледоколы;
- беспилотные летательные аппараты;
- временные полевые базы с базирующимся на них вертолетом.

→ с. 180

Применение судов и вертолетов позволяло изучать гидрометеорологические условия на большой акватории, а наблюдательная инфраструктура и полевая база снабжали исследователей круглогодичными данными по параметрам и свойствам морского льда в постоянной точке измерений.

Анализ и обобщение полученных материалов за 3–5 лет позволили исследовать пространственно-временную изменчивость условий для различных акваторий: и в глубоководных частях акватории, где есть перспективные участки, и в прибрежной зоне, важной для обеспечения безопасной логистики.

Экспедиция

Лето

2012



54

дня

# Кара-лето

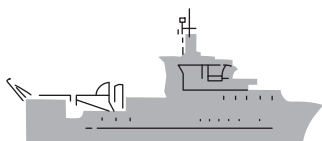
29.07–17.08.2012

26.07–30.08.2012

Работы выполнены в юго-западной части Карского моря.



Научно-экспедиционное судно  
«Михаил Сомов»



Научно-исследовательское судно  
«Фритьоф Хансен»

## Ключевые цели экспедиции

- Установка автоматических метеостанций на побережье острова Северный арх. Новая Земля;
- мониторинг гидрометеорологической и ледовой обстановки, параметров дрейфа айсбергов и их обломков;
- оценка размеров, форм, движения ледяного покрова, колебаний уровня моря и течений.



## Основной научный результат

Положено начало регулярному присутствию компании на арктическом шельфе. Установили первые автоматические метеорологические станции на побережье архипелага Новая Земля и островах Карского моря.

Изучили сильный стоковый ветер, дующий с гористого побережья Новой Земли по направлению к морю. Зафиксированы экстремальные значения скорости и порывов ветра, которые нужно учитывать при работе. В ночь с 9 на 10 августа 2012 года скорость ветра достигла 26 м/с, рекордный порыв — 55 м/с (около 200 км/ч). Продолжительность развития шторма составляет 3–4 часа, и его трудно предсказать, поэтому он представляет значительную опасность для морских и вертолетных работ у побережья Новой Земли.

2

установки  
автоматических  
метеостанций

6

подъемов  
и установок  
буйковых станций

4

установки  
дрейфующих буйв  
на айсберги

82

океано-  
графических  
зондирования





Дрейфующие обломки айсбергов в Карском море



Экспедиция

Зима

2013

29  
дней

# Кара-зима

30.04–28.05.2013

Работы выполнены в юго-западной части Карского моря.



Атомный ледокол «Ямал»

22

ледовые станции



22

ледяных поля исследованы



35

гряд торосов исследованы



1290

скважин термобурения



## Результаты

Толщиномерная съемка ровного льда	358 промеров
Температура льда	28 кернов
Соленость и плотность льда	22 керна
Текстура льда	23 керна
Испытание на изгиб ледяных пластин	16 кернов
Испытание льда на сжатие, параллельные образцы	297 кернов
Испытание локальной прочности льда	662 испытания
Испытанные консоли	8 консолей
Океанографическое зондирование	23 станции
Измерение течений на ледовых станциях	23 станции
Изучение экзарации	8 съемок
Подводная съемка килей	22 съемки

## Ключевые цели экспедиции

- Спутниковый мониторинг айсбергов и гигантских ледяных полей, измерение параметров дрейфа;
- определение размеров, форм, рельефа айсбергов, торосов и ровного льда;
- определение физических свойств и прочности ровного и деформированного льда.

Подготовка кернов льда для изучения его физико-механических свойств



## Основной научный результат

Обнаружили огромный, вмёрзший в лед айсберг с размерами надводной части 70 × 70 × 12 м и глубиной подводной частью до 50 м. При вмёрзании айсберга в лед вокруг него формируется пояс **торосов**. Это приводит к кратному увеличению массы ледяного образования и требует особого подхода к проектированию гравитационных платформ для круглогодичной добычи углеводородов. Лед в Карском море динамичен, скорость дрейфа ледовых полей до 2 км/ч приводит к возникновению торосов. Пояс торосов вблизи Новой Земли представляет собой значительную преграду для разработки глубоководных структур Карского моря. Максимальная осадка килей исследованных торосов составила 26 м, что превышает глубины килей торосов сахалинского шельфа (максимум 23,2 м).

→ с. 167

## Защитить антенны от медведей

Обнаружилось, что установленное на Северном острове архипелага Новая Земля оборудование автоматических метеостанций представляет особый интерес для белых медведей — антенны метеостанций были сломаны. Для их защиты было установлено специальное сооружение, безопасное для медведей.



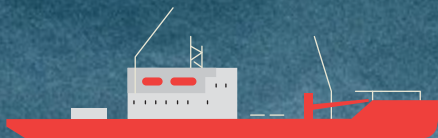




# Кара-лето

12.07–16.08.2013

Работы выполнены в юго-западной части Карского моря.



Научно-экспедиционное судно «Академик Федоров»

## Ключевые цели экспедиции

- Установка автоматической метеостанции на восточном побережье арх. Новая Земля;
- подробная гидрологическая съемка акватории, CTD-зондирование;
- сбор данных о динамике айсбергов, пополнение каталога айсбергов юго-западной части Карского моря.

3



установки и профилактики автоматических метеостанций

6



подъемов и установок буйковых станций

20



установок дрейфующих буюв на айсберги

86



океано-графических зондирований

## Основной научный результат

→ с. 67

Выполнен комплекс гидрометеорологических измерений. Подъем и повторная установка на годичный период притопленных автономных буйковых станций (ПАБС) в районе геологических структур Рогозинской, Нансена, Университетской, Викуловской, Татариновской, Матусевича. Постановка двух ПАБС для измерения морских течений, уровня моря и параметров волнения моря на период экспедиции и их подъем по окончании работ. Собраны материалы о морфометрии и динамике айсбергов; пополнен каталог айсбергов Карского моря.

## 700 километров ледников

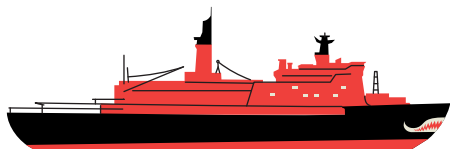
С помощью уникальных российских программно-аппаратных комплексов провели радиолокационную и аэрофотосъемку более 700 км ледников на архипелагах Новая Земля, Северная Земля, островах Де-Лонга, а также около 1000 крупных айсбергов. Таким образом, изучили 90 % ледников Российской Арктики.



# Кара-зима

08.04–08.06.2014

Работы выполнены в морях Карском, Лаптевых и Восточно-Сибирском.



Атомный ледокол «Ямал»

## Основной научный результат

- Выполнили комплекс ледовых и гидрометеорологических измерений на 35 ледовых станциях, установили автоматические буи на ледяных полях и айсбергах для определения их дрейфа;
- провели аэрофотосъемку айсбергов и гряд торосов с вертолета и беспилотного летательного аппарата;
- провели подводную съемку килей торосов и айсбергов, построили 3D-модели ледовых образований.

**35**   
ледовых станций

**35**   
ледяных поля исследованы

**49**   
гряд торосов исследованы

**1836**   
скважин термобурения

**36**   
измерений течений на ледовых станциях

**50**   
подводных съемок килей

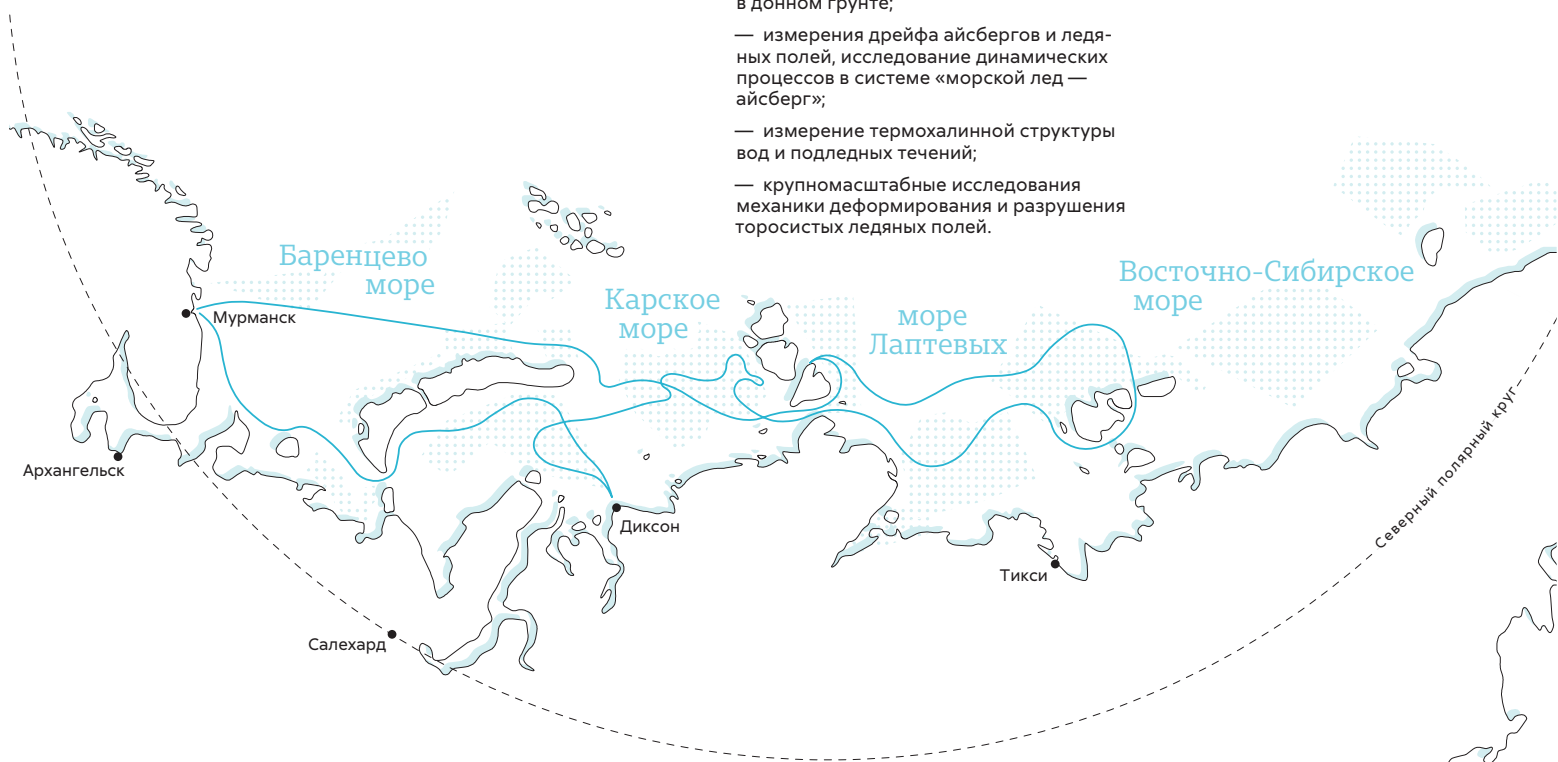
**35**   
океанографических зондирований

## Результаты

Исследованные айсберги или стамухи	4 айсберга
Толщиномерная съемка ровного льда	990 промеров
Температура льда	56 кернов
Соленость и плотность льда	44 керна
Текстура льда	34 керна
Испытание на изгиб ледяных пластин	24 керна
Испытание льда на сжатие, параллельные образцы	360 кернов
Испытание локальной прочности льда	935 испытаний
Испытанные консоли	27 консолей
Изучение экзарации	22 съемки

## Ключевые цели экспедиции

- Спутниковый радиолокационный мониторинг айсбергов и стамух в районе работ;
- определение характеристик борозд в донном грунте;
- измерения дрейфа айсбергов и ледяных полей, исследование динамических процессов в системе «морской лед — айсберг»;
- измерение термохалинной структуры вод и подледных течений;
- крупномасштабные исследования механики деформирования и разрушения торосистых ледяных полей.





Изучение внутренней структуры тороса



Процесс термобурения  
ровного морского льда



Дрейфующий обломок айсберга в Карском море



Установка притопленной автономной буйковой станции



# Кара-лето

30.07–22.09.2014

Работы выполнены в морях Карском, Лаптевых, Восточно-Сибирском и Чукотском.



Научно-экспедиционное судно «Академик Трешников»

3



установки и профилактики автоматических метеостанций

16



подъемов и установок буйковых станций

62



установки дрейфующих буев на айсберги

177



океано-графических зондирований

673 км

радиолокационной съемки ледников

## Ключевые цели экспедиции

- Сбор сведений о термохалинных условиях в районе исследований;
- оценка параметров айсбергов при помощи аэрофотосъемки;
- радиолокационная и аэрофотосъемка фронтальных частей ледников арх. Новая Земля и Северная Земля;
- поиск зон субмаринной разгрузки углеводородов, мигрирующих из залежей нефти.

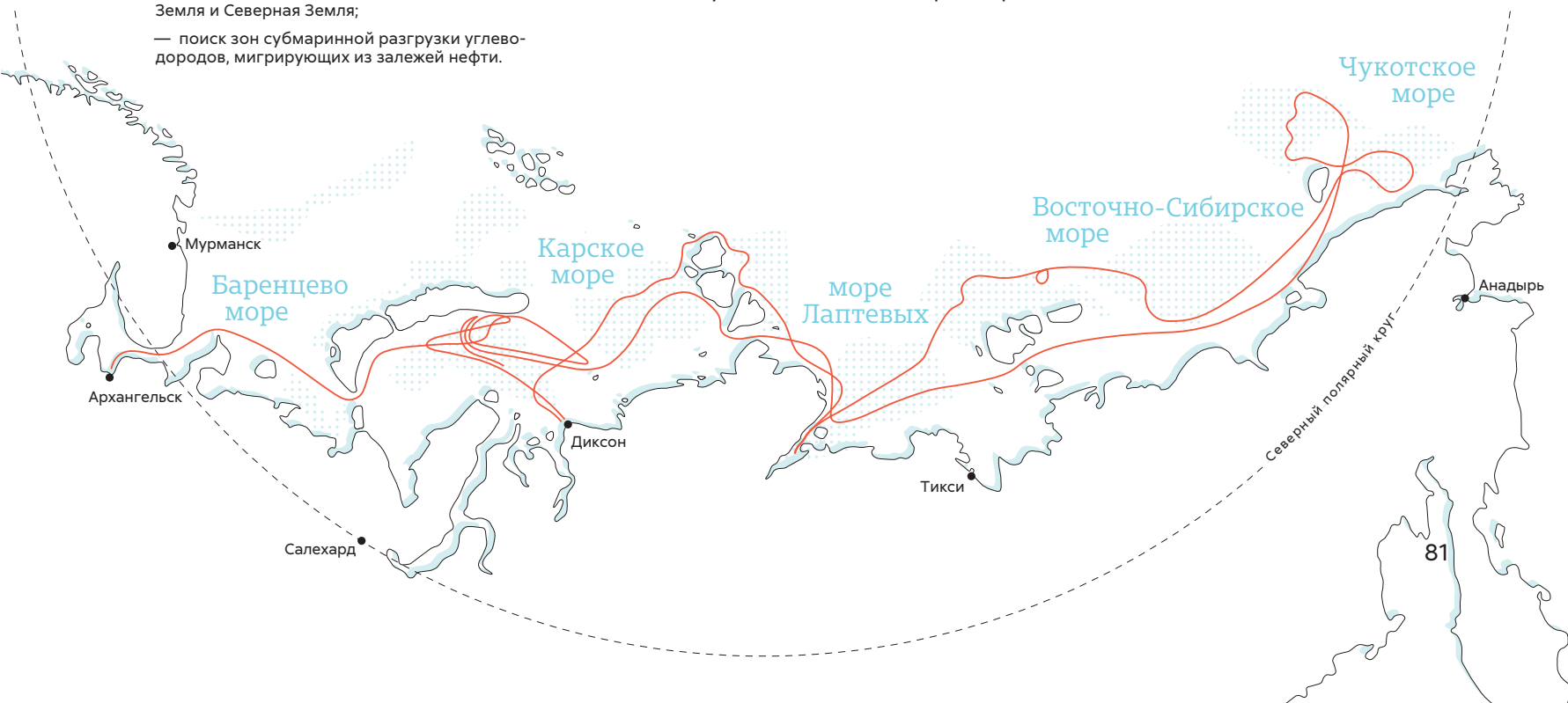
## Основной научный результат

Удалось установить, что ледники Мощный и Нансена — наиболее продуктивные в отношении айсбергов ледники восточного побережья Новой Земли. Ледники покрыты сетью трещин, что приводит к возникновению мелких айсбергов, большая часть из которых остаются на мели вблизи ледников и разрушаются. Характерный линейный размер айсбергов юго-западной части Карского моря — 40–60 м. Отдельные айсберги или обломки айсбергов достигают перспективных структур Восточно-Приноземельских лицензионных участков. В августе 2012 года один из айсбергов дрейфовал в районе структуры Университетской около двух недель. → с. 172

Обнаружены борозды выпаживания дна глубиной до 0,5 м на структурах Университетская и Rogozinskaya. В отличие от Печорского и Охотского морей, выпаживание вызвано айсбергами, а не торосами, что приводит к появлению борозд при больших глубинах моря. Максимальная глубина моря, на которой было обнаружено выпаживание, составляет 60 м. → с. 157

## Присматриваем за климатом

Развернута наблюдательная сеть из семи островных метеорологических станций и 16 притопленных автономных буйковых станций. Собран уникальный архив наблюдений за гидрологическими параметрами на акватории российских арктических морей, который позволяет оценить сезонную и межгодовую изменчивость параметров.



Экспедиция

Зима

2015



# Кара-зима

08.04–15.06.2015

Работы выполнены в морях Баренцевом, Карском, Лаптевых и Восточно-Сибирском.



Атомный ледокол «Ямал»



34

ледовые станции



33

ледяных поля исследованы



35

гряд торосов исследованы



31

океанографическое зондирование



66

подводных съемок килей



30

измерений течений на ледовых станциях



1768

скважин термобурения



## Результаты

Исследованные айсберги или стамухи	5 айсбергов	
Толщиномерная съемка ровного льда	741 промер	
Температура льда	73 керна	
Соленость и плотность льда	68 кернов	→ с. 178
Текстура льда	74 керна	
Испытание на изгиб ледяных пластин	69 кернов	
Испытание льда на сжатие, параллельные образцы	189 кернов	
Испытание локальной прочности льда	1825 испытаний	
Испытанные консоли	25 консолей	
Изучение экзарации	21 съемка	

## Ключевые цели экспедиции

- Определение параметров ровного льда, торосистых образований, айсбергов, гряд торосов и стамух, определение прочностей ровного и деформированного льда;
- измерение термохалинной структуры вод и подледных течений;
- радиолокационная и аэрофотосъемка фронтальных частей ледников арх. Земля Франца-Иосифа, Новая Земля, Северная Земля и островов Де-Лонга;
- крупномасштабные исследования механики деформирования и разрушения торосистых ледяных полей.

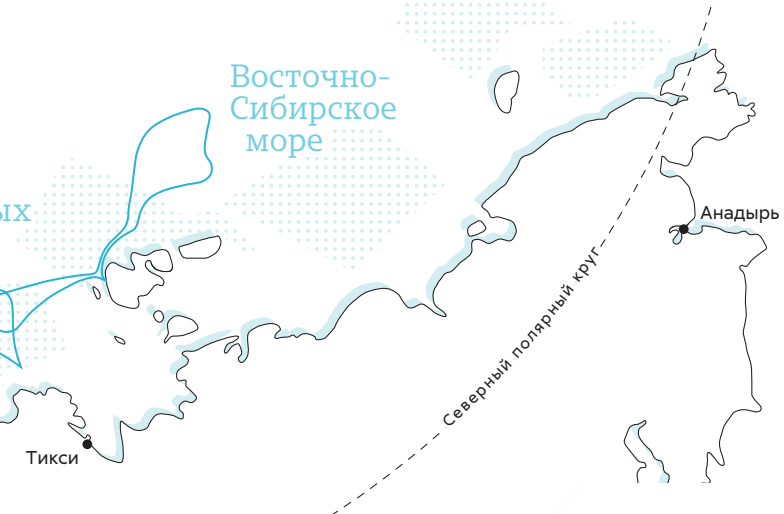
## Основной научный результат

Выполнили комплекс метеорологических, океанографических, ледовых, гляциологических и биологических наблюдений. Специалисты выполнили более двух тысяч измерений физико-механических свойств льда на 35 ледовых станциях для расчета нагрузки на проектируемые инженерные сооружения. Кроме того, на айсберги и ледяные поля установили более 100 автономных датчиков для измерения параметров дрейфа и отслеживания их координат. Изучение фронтальных частей ледников выполнялось с применением радиолокационной и аэрофотосъемки. Для исследования ледяного покрова использовались также беспилотные летательные аппараты, позволяющие выполнять площадную аэрофотосъемку льда, определять распределение гряд торосов и их геометрические размеры. Для изучения строения морского дна, килей торосов и айсбергов применялись телеуправляемые подводные аппараты и гидролокаторы.

## Досье торосов

Создана одна из самых обширных в мире баз данных торосистых образований — около 200 торосов и стамух. Разработана единая классификация торосистых образований Арктики, в основе которой — форма подводной части тороса или стамухи.





Экспедиция

Лето

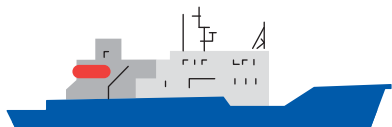
2015

26  
дней

## Кара-лето

22.08–17.09.2015

Работы выполнены в морях Карском, Лаптевых и Восточно-Сибирском.



Научно-исследовательское судно  
«Виктор Буйницкий»

6

профилактик  
автоматических  
метеостанций

11

подъемов  
и установок  
буйковых  
станций

407 км

радиолокационной  
съемки ледников



### Где рождаются айсберги

Ледники на архипелагах Новая Земля, Земля Франца-Иосифа, Северная Земля производят 70 % айсбергов от всех ледников Российской Арктики. Составлен прогноз образования айсбергов на ближайшие 50 лет.

14  
дней

## Чукотка-лето

21.09–04.10.2015

Работы выполнялись в Чукотском море. Это уже десятая научно-исследовательская экспедиция, организованная «Роснефтью».



Научно-экспедиционное судно  
«Михаил Сомов»

1

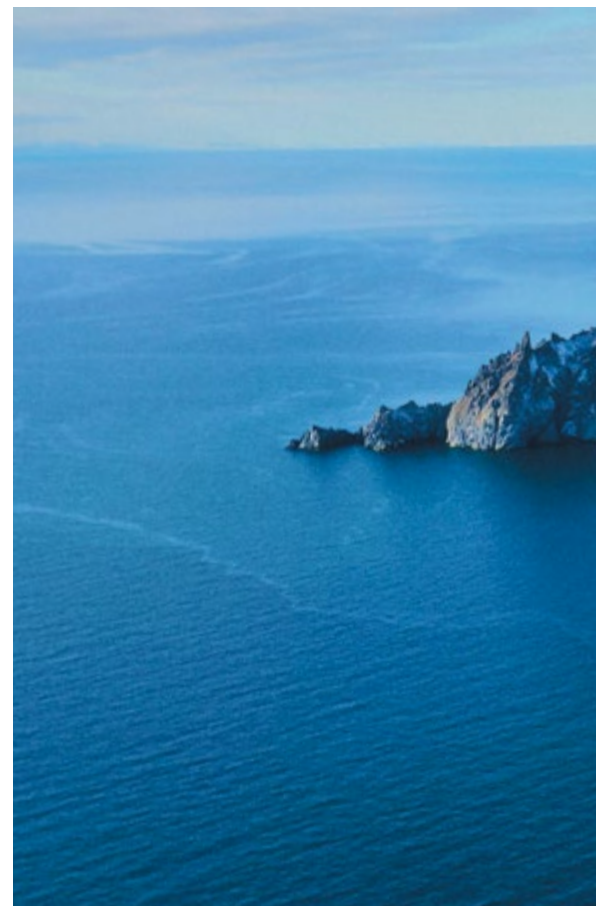
установка  
автоматических  
метеостанций

3

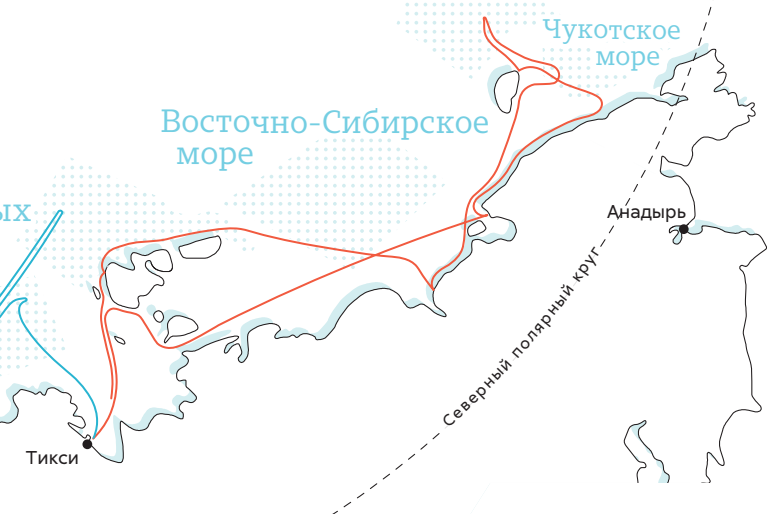
подъема  
и установки  
буйковых станций

### Основной научный результат

Изучен ранее недоступный для исследователей остров Геральд в Чукотском море, расположенный в 70 км восточнее острова Врангеля. Установлены АМС и АШСС. Обнаружено ранее неизвестное лежбище моржей.







Маяк на берегу острова Врангеля





# Кара-лето

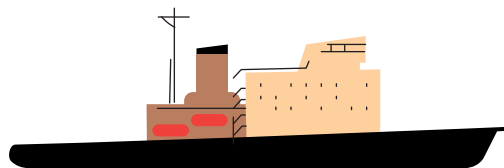
02.08–09.10.2016

10.09–10.10.2016

Работы выполнены в морях Баренцевом, Карском, Лаптевых и Восточно-Сибирском.



Научно-экспедиционное судно «Академик Трешников»



Дизельный ледокол «Капитан Драницын»

6

установок и профилактик автоматических метеостанций

11

подъемов и установок буйковых станций

24

установки дрейфующих буйев на айсберги

46

океано-графических зондирований

18

буксировок айсбергов

622 км

радиолокационных съемок ледников

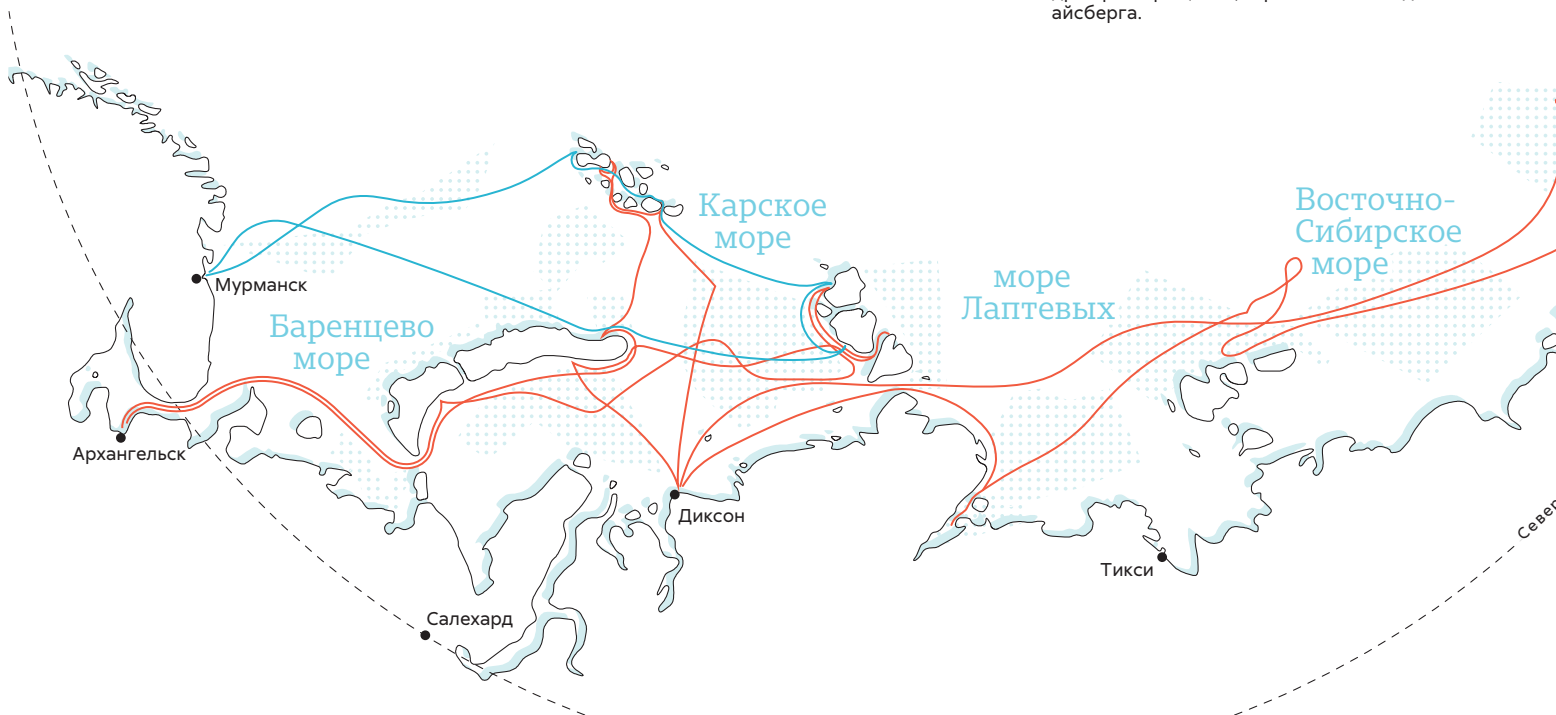
## Основной научный результат

Впервые в России была проведена апробация уникальной технологии по изменению траектории дрейфа айсбергов путем внешнего воздействия. → с. 175  
 Специалисты успешно выполнили буксировку айсберга массой свыше 1 млн тонн, что является не только первым опытом в Российской Арктике, но и значимым событием в мировой практике.

- Выполнили первые в мире буксировки айсбергов в условиях наличия льда на акватории, а также несколько буксировок айсбергов массой более миллиона тонн;
- протестировали технические решения для буксировки айсбергов Баренцева и Карского морей;
- открыто несколько подледных географических объектов, в том числе будущие острова морей Карского и Лаптевых.

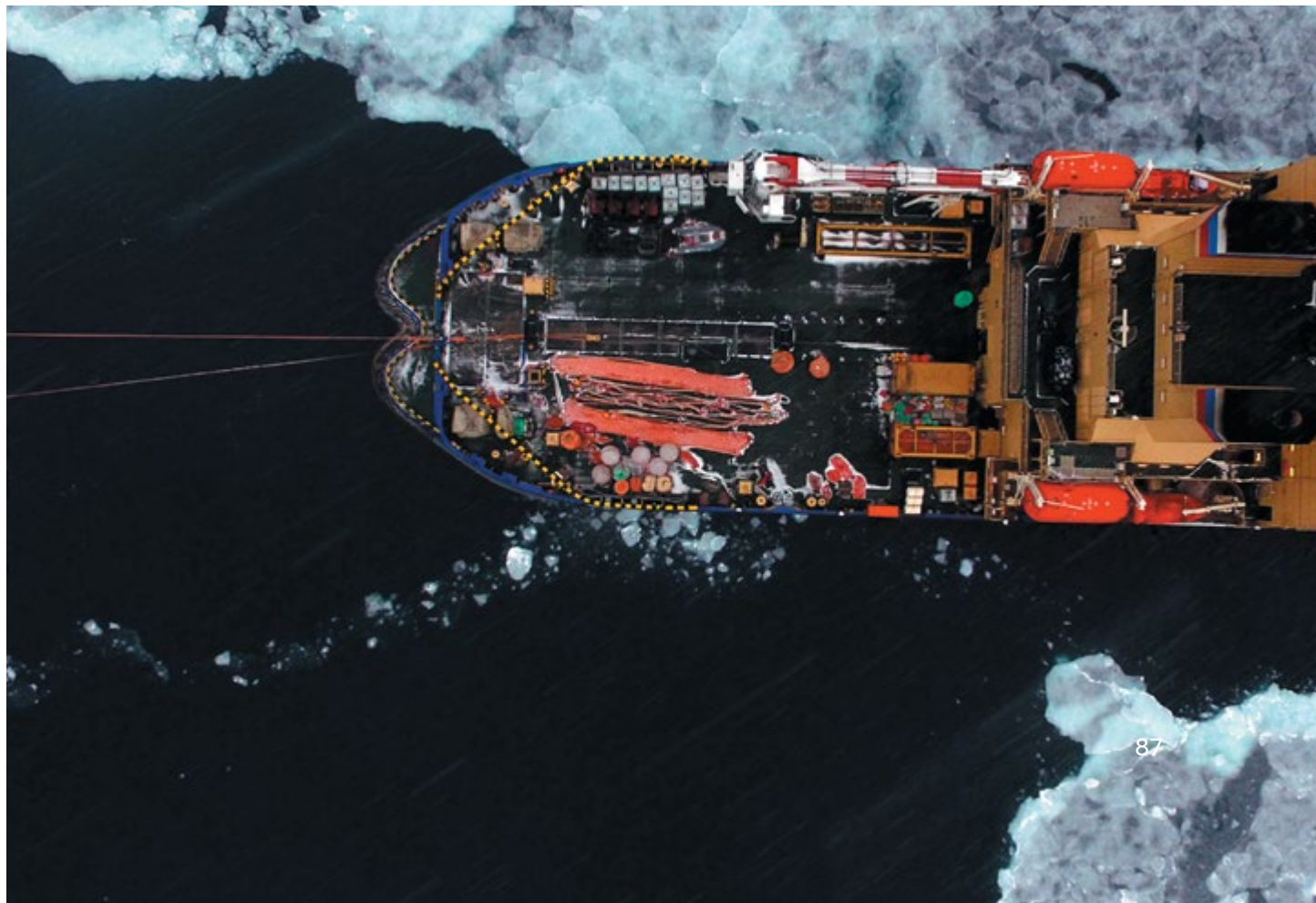
→ с. 91

Всего в 2016 и 2017 гг. было выполнено 36 экспериментов по буксировке айсбергов различных форм и размеров в широком спектре погодных условий. С помощью ледоколов айсберги были отбуксированы с разворотом направления движения на 90 и 180 градусов относительно их первоначальной траектории, проводились эксперименты по буксировке айсбергов в условиях начального льдообразования и полярной ночи. Полученный опыт позволит в будущем обезопасить объекты морской инфраструктуры от взаимодействия с айсбергами при ведении промышленной деятельности на арктическом шельфе. Помимо воздействия на траекторию движения айсбергов ученые занимались их детальным изучением. Проводилась съемка надводной и подводной поверхностей айсберга, устанавливались буи для определения параметров его дрейфа и вращения, строилась 3D-модель айсберга.





Процесс буксировки айсберга, вид сверху





СБОР ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИЧЕСКОЙ ИНФОРМАЦИИ

Изучение термохалинной структуры, спуск зонда «Розетта» с батометром

Восточно-Сибирское море





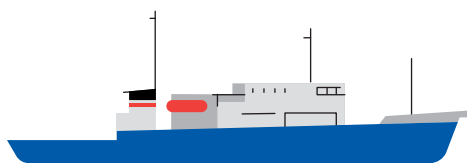
# Чукотка-лето

15.07–01.08.2016  
01.09–09.09.2016

Работы выполнялись в Чукотском море.



Научно-экспедиционное судно  
«Академик Трешников»



Научно-исследовательское судно  
«Профессор Мультановский»

1

профилактика  
автоматических  
метеостанций

2

подъема  
и установки  
буйковых станций

177

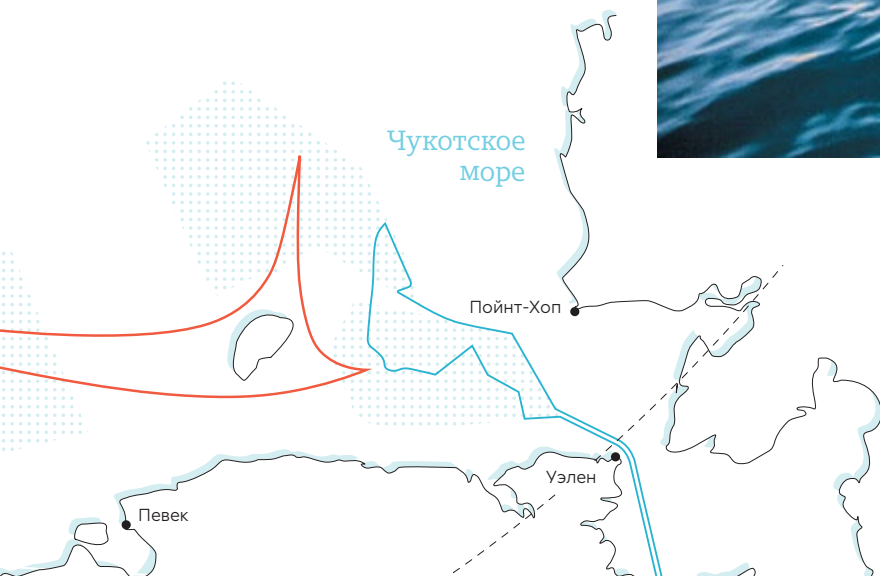
океанографических  
зондирований

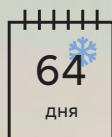
## Ключевые цели экспедиции

- Наблюдения за термохалинной структурой вод, подъем и повторная постановка на годичный период двух приборов для оценки характеристик ледяного покрова, колебаний уровня моря и течений;
- профилактика автоматических метео- и сейсмостанций, установленных на о. Врангеля.

## Основной научный результат

Собраны данные по гидрометеорологическим и ледовым условиям в летний период в акватории Чукотского моря. Это необходимо для оценки воздействия параметров окружающей среды при освоении лицензионных участков компании. Выполнены обслуживание и повторная установка притопленных автоматических буйковых станций в данной акватории для анализа годовой изменчивости характеристик ледяного покрова, колебаний уровня моря, волнения и течений в районе лицензионных участков в Чукотском море. На острове Врангеля в Чукотском море установили автоматическую метеостанцию в рамках программы восстановления системы метеонаблюдений в Арктике, проводимой с 2012 года. Установлена сейсмическая станция как часть стационарной системы мониторинга сейсмоактивности.





64

дня

## Хатанга-зима

13.03–15.05.2017

Работы выполнялись в море Лаптевых.

40

ледовых  
станций

40

ледяных полей  
исследованы

24

гряды торосов  
исследованы

1803



скважины термобурения

80

подводных  
съемок килей

40

измерений течений  
на ледовых станциях

43

океанографических  
зондирования

## Основной научный результат

Собраны данные по физико-механическим параметрам морского льда и ледяных образований Хатангского залива юго-западной части моря Лаптевых.

Впервые выполнены морские инженерные испытания с помощью временных полевых баз и вертолетного десанта. Применение данного метода позволило существенно сократить стоимость изысканий, а также увеличить продолжительность серии непрерывных испытаний по сравнению с использованием атомных ледоколов.

СБОР ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИЧЕСКОЙ ИНФОРМАЦИИ

90

море  
Лаптевых

Челюскин

Вертолет Ми-8АМТ

## Результаты

Исследованные айсберги или стамухи	17 айсбергов
Толщиномерная съемка ровного льда	1059 промеров
Температура льда	80 кернов
Соленость и плотность льда	80 кернов
Текстура льда	80 кернов
Испытание на изгиб ледяных пластин	80 кернов
Испытание льда на сжатие, параллельные образцы	160 кернов
Испытание локальной прочности льда	1011 испытаний
Испытанные консоли	42 консоли
Изучение экзарации	40 съемок



# Кара-лето

09.09–19.10.2017

Работы выполнялись в Карском море.



Дизельный ледокол «Новоросийск»

**3**

профилактики автоматических метеостанций

**6**

подъемов и установок буйковых станций

**40**

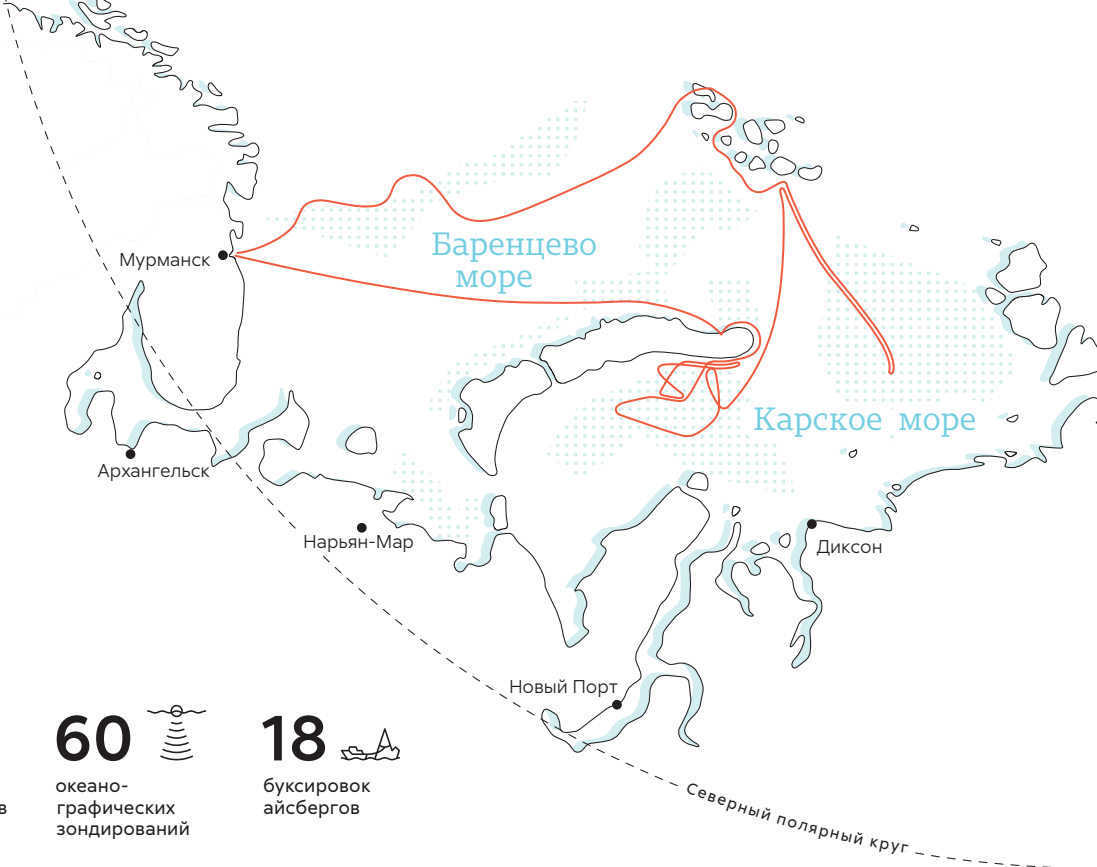
установок дрейфующих бுவ на айсберги

**60**

океано-графических зондирований

**18**

буксировок айсбергов



## Основной научный результат

### Ключевые цели экспедиции

- Серия экспериментов по физическому воздействию судна на айсберги, в том числе в процессе буксировки;
- комплексные испытания средств обнаружения айсбергов, организация берегового операционного центра по сопровождению экспедиционной деятельности;
- обслуживание автоматических метеостанций на восточном побережье арх. Новая Земля и острове Уединения;
- наблюдения за термохалинной структурой вод, подъем и повторная постановка на годичный период шести приборов для оценки характеристик ледяного покрова, колебаний уровня моря и течений;
- определение параметров дрейфа айсбергов при помощи судового радара и установка на них автономных бுவ.

Проведены эксперименты по буксировке айсбергов в Баренцевом и Карском морях, результаты которых были использованы для численного и физического моделирования процесса буксировки. → с. 175

Специалисты центра разработали основные элементы СМЛО (системы мониторинга ледовой обстановки): радиолокационными методами изучены зоны образования айсбергов и определены их максимально возможные размеры, по спутниковым снимкам и данным аэрофотосъемки были изучены размеры и формы фактически образующихся айсбергов, направления их дрейфа, проведены крупномасштабные исследования по взаимодействию корпуса ледокола с грядами торосов.



Установка дрейфующих бுவ



Обломки айсбергов в заливе Иностранцева

Дрейфующий айсберг в северной части Карского моря











Выводная часть ледника.  
Отломившиеся от края глыбы  
льда становятся айсбергами





# Исследование биологических индикаторов

# Биологическая индикация

Термин «биологическая индикация» (биоиндикация) означает определение параметров окружающей среды по состоянию живых организмов. По видовому составу и характерным для региона видам иногда можно делать более точные выводы, чем при помощи прямых измерений отдельных показателей. Например, по видовому составу планктона можно определить температурно-соленостные характеристики водной массы и определить структуру течений.

Группы организмов служат индикаторами различных переменных и несут информацию в разных пространственных и временных масштабах: короткоживущие организмы реагируют на быстрые изменения среды, долгожители — отражают накопленные изменения за длительные промежутки времени.

В узком смысле биоиндикацию понимают как метод оценки изменения окружающей среды в результате воздействия человека: ее загрязнение, изменение мест обитания видов. Именно в этом смысле биоиндикация используется как дополнительный инструмент контроля за состоянием окружающей среды на суше, в пресноводных и морских экосистемах. В море этот подход начал применяться относительно недавно. Самое важное ограничение — степень изученности морской флоры и фауны.

Для того чтобы использовать отдельные виды в качестве биологических индикаторов, важно не только досконально изучить их распространение и оценить численность, но и вникнуть в особенности биологии видов. Цель работ «Роснефти» по исследованию видов — ревизия современных знаний об этих видах для использования их в мониторинге окружающей среды.

Общий объем выполненных с 2014 г. работ:

**19**

полевых сезонов проведено в труднодоступных и малоизученных районах Российской Арктики

**36 месяцев**

продолжительность полевых исследований

**55 000 км**

суммарная протяженность всех маршрутов

**500 часов**

продолжительность авианаблюдений

**150**

фотоловушек установлено в местах обитания животных

**300 000**

фотографий обработано с фотоловушек

**400**

животных детально обследовано






**140**

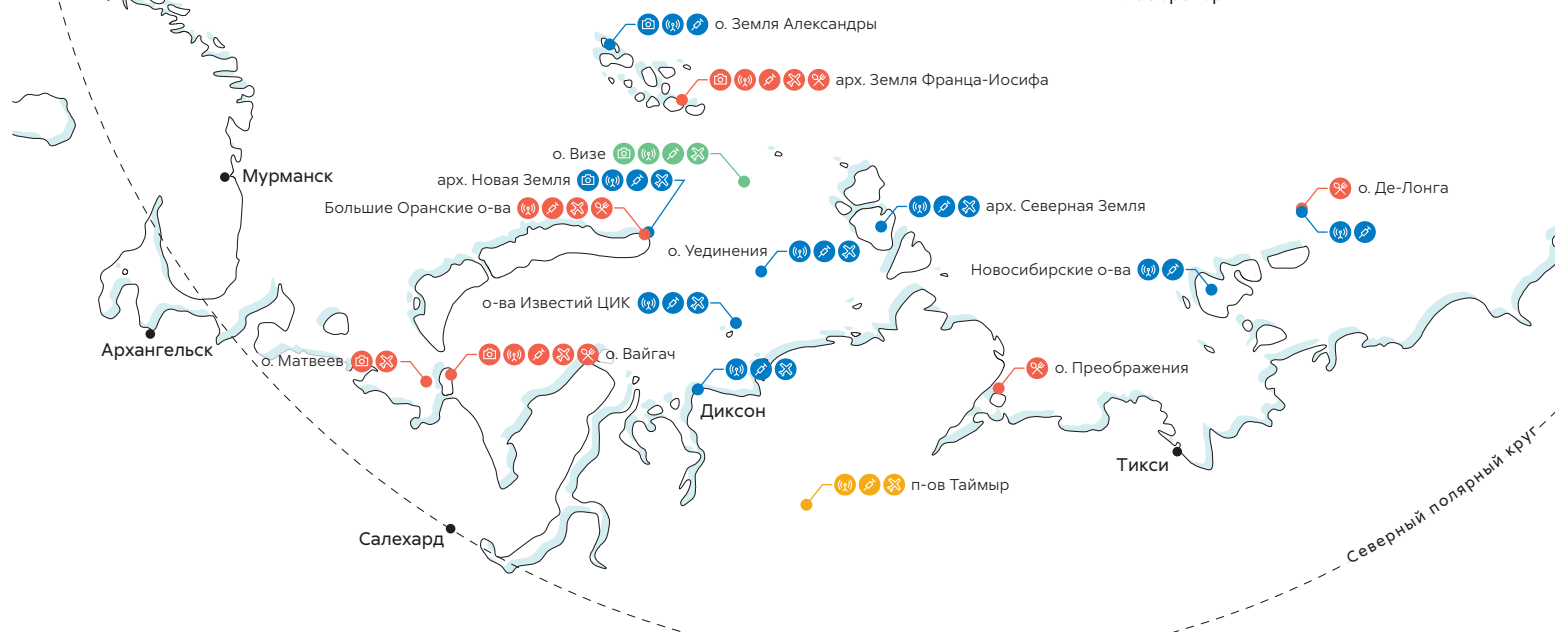
животных помечено спутниковыми передатчиками

**1500**

биологических образцов отобрано и проанализировано в лаборатории

## Работы, выполненные в рамках изучения биологических индикаторов

- атлантического и лаптевского подвида моржа
- белой чайки
- дикого северного оленя
- белого медведя
-  Установка фоторегистраторов
-  Установка спутниковых передатчиков
-  Отбор биологических проб для лабораторных исследований
-  Исследования кормовой базы
-  Авиачет





## Исследуемые виды-биоиндикаторы

### Белый медведь

Находится на вершине трофической сети арктических морских экосистем. Своим положением такие биологические индикаторы позволяют получать интегральную оценку состояния экосистемы. Распространение белого медведя зависит от ледовой обстановки и распределения основных кормовых объектов, особенно нерпы. Состояние популяции белого медведя оценивается по численности и ежегодному приплоду, миграциям и пространственной структуре популяции.



### Морж

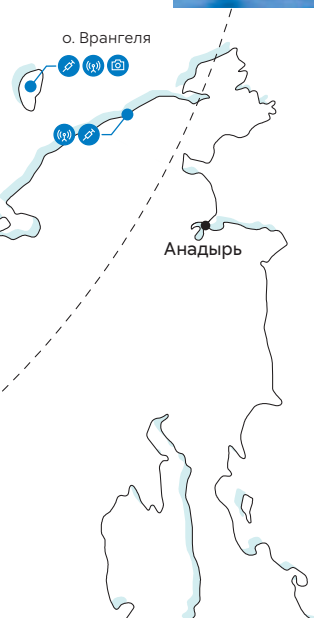
Для арктических морей России морж — один из оптимальных видов-индикаторов среди морских млекопитающих: он широко распространен, миграционно активен, значителен по численности, обитает и доступен в районе исследования в течение всего года. За счет своего образа жизни и питания морж, как и белый медведь, интегрально отражает состояние других компонентов морской биоты.



### Белая чайка

Арктический эндемик, чье место обитания тесно связано с морскими льдами. Обитает в высокоширотных областях Арктики. Как и морж и белый медведь, белая чайка относится к хищникам высокого порядка (питается беспозвоночными, мелкой рыбой, найденной падалью) и склонна к накоплению в своем теле загрязняющих веществ из окружающей среды.

**Эндемик** — вид животного или растения, обитающий в относительной небольшой географической области. Эндемики часто заносятся в красные книги как редкие или исчезающие виды.



### Дикий северный олень

Один из самых значимых арктических видов, его роль сложно переоценить как для экосистем Арктики, так и для жизни коренных малочисленных народов Севера. Различают два экологических типа северного оленя — тундровый и лесной, — которые хорошо приспособлены к соответствующим местам обитания. Исследования «Роснефти» сфокусированы на тундровом диком северном олене.

# Белый медведь

Лат. *Ursus maritimus*

Это крупнейший из ныне живущих наземных хищников. Длина тела самца достигает 280 см, высота в холке — до 160 см, а вес до 600 кг. Белый медведь занесен в международную Красную книгу и в Красную книгу России. Это единственный вид наземных млекопитающих с основным местообитанием в дрейфующих льдах Арктики. Ученые выделяют 19 локальных популяций белого медведя.

Россия стала первой страной, разработавшей Национальную стратегию и План действий по сохранению белого медведя (2010)

## Основная проблема

Несмотря на высокий интерес со стороны ученых, проблема все еще в недостаточной изученности как отдельных популяций белого медведя, так и вида в целом. По этой причине основной фокус исследований «Роснефти» — восполнение пробелов в текущем знании о состоянии популяций белого медведя.

До организованных «Роснефтью» работ масштабные экспедиционные исследования медведей в Российской Арктике проводили в конце 1980-х и начале 1990-х годов. В 2000-х, за исключением отдельных проектов, сбор информации о медведях в основном носил попутный характер.

## Как исследовать

**Количественный и качественный учет** с борта судна и с берега, авиаучет для оценки общей численности и численности разных половозрастных групп, изучение пространственного распределения особей. Эти данные нужны в том числе для корректной интерпретации других мониторинговых исследований.

**Сбор биопсии и проведение лабораторных исследований.** Анализ тканей на загрязнение, иммунологические и микробиологические исследования для выявления патогенного фона.

**Прослеживание перемещения особей** с помощью спутниковых передатчиков.





«Роснефть» начала полномасштабную программу изучения полярного хищника с самого старта исследовательских проектов на шельфе Арктики. В ходе первых экспедиционных работ с 2012 года наблюдатели за морскими млекопитающими собирали данные о встречах с белым медведем. Первая экспедиция, в состав которой вошел отдельный отряд ученых по исследованию белого медведя, — «Кара-лето 2014». В этой экспедиции была отработана методика, сочетающая попутные судовые наблюдения, неинвазивный сбор биологических образцов, а также инвазивные методы: иммобилизацию (обездвиживание) белых медведей либо дистанционный отбор проб биопсии кожи, мечение животных спутниковыми передатчиками и последующий всесторонний анализ информации на стадии камеральной обработки. Целью было получение максимально полного набора данных об отдельных особях. В экспедиции на о. Жохова в Восточно-Сибирском море установлен первый ошейник на белого медведя.

→ с. 81

→ с. 69

**Летняя экспедиция на мысе Желания, арх. Новая Земля**

Шесть медведей обездвижено для проведения полного комплекса исследований (3 самца и 3 самки).

Все три самки — медвежата в возрасте 1,5 года, что уже дает абсолютно новые данные о половозрастном составе белых медведей, обитающих на северной оконечности Новой Земли в летний период. Из шести одиночных медведей, отловленных в ходе экспедиции, лишь один самец являлся взрослой особью. Мечение осуществить не удалось.

Отобрано 30 биологических проб белых медведей для проведения лабораторных исследований.

Зарегистрировано 47 белых медведей.

**Весенняя экспедиция на о. Земля Александры, арх. Земля Франца-Иосифа**

Впервые в рамках работ компании проведены исследования в период выхода самок из родовых берлог. Для поиска и исследования берлог применены новейшие БПЛА с фото- и тепловизионными камерами. Получены уникальные данные о выходе самок из берлог и кормлении потомства.

На 3 самок установлены ошейники со спутниковыми передатчиками.

Отобрано 72 биологические пробы белых медведей для проведения лабораторных исследований.

Зарегистрировано 9 встреч белых медведей (15 особей, из них 3 самки с сеголетками, остальные — самцы).

Определено местоположение 4 родовых берлог.

**Летняя экспедиция на мысе Желания, арх. Новая Земля**

Шесть медведей обездвижено для проведения полного комплекса исследований.

На 2 самок установлены ошейники со спутниковыми передатчиками.

Отобрана 41 биологическая проба белых медведей для проведения лабораторных исследований.

Зарегистрировано 29 белых медведей.

## Полевые исследования

Чтобы получить подробную информацию о самом крупном наземном хищнике в естественных условиях, необходимо временно его обездвигнуть безопасными ветеринарными препаратами, которые вызывают расслабление мускулатуры и анестезию. В среднем животное обездвигивается менее чем на час — за это время ученые успевают провести общий осмотр, отобрать биологические пробы, пометить особь и установить ошейник со спутниковым передатчиком.

В рамках комплексных экспедиций 2014–2016 гг. обездвигивание белых медведей проводили с вертолета, в ходе зимних работ 2021 г. на о. Земля Александры — со снегоходов на суше или на припайном льду в бухтах. Во время летних работ 2020 и 2021 гг. отловы были выполнены на приваде при подходе животных.

**Спутниковая метка.** Метод слежения за перемещением животных с помощью спутниковых технологий широко распространен в мировой практике экологических исследований. Впервые в России белый медведь был помечен спутниковым передатчиком на о. Врангеля в Чукотском море в 1990 г. Используя эту методику практически в режиме реального времени, можно получить информацию о скорости, пройденном расстоянии и территории перемещения животного.

### 1 Выслеживание и приманивание

Белых медведей выслеживают с вертолета или наземной техники, в некоторых случаях организуется «привада» — приманивание животного.

### 2 Обездвигивание

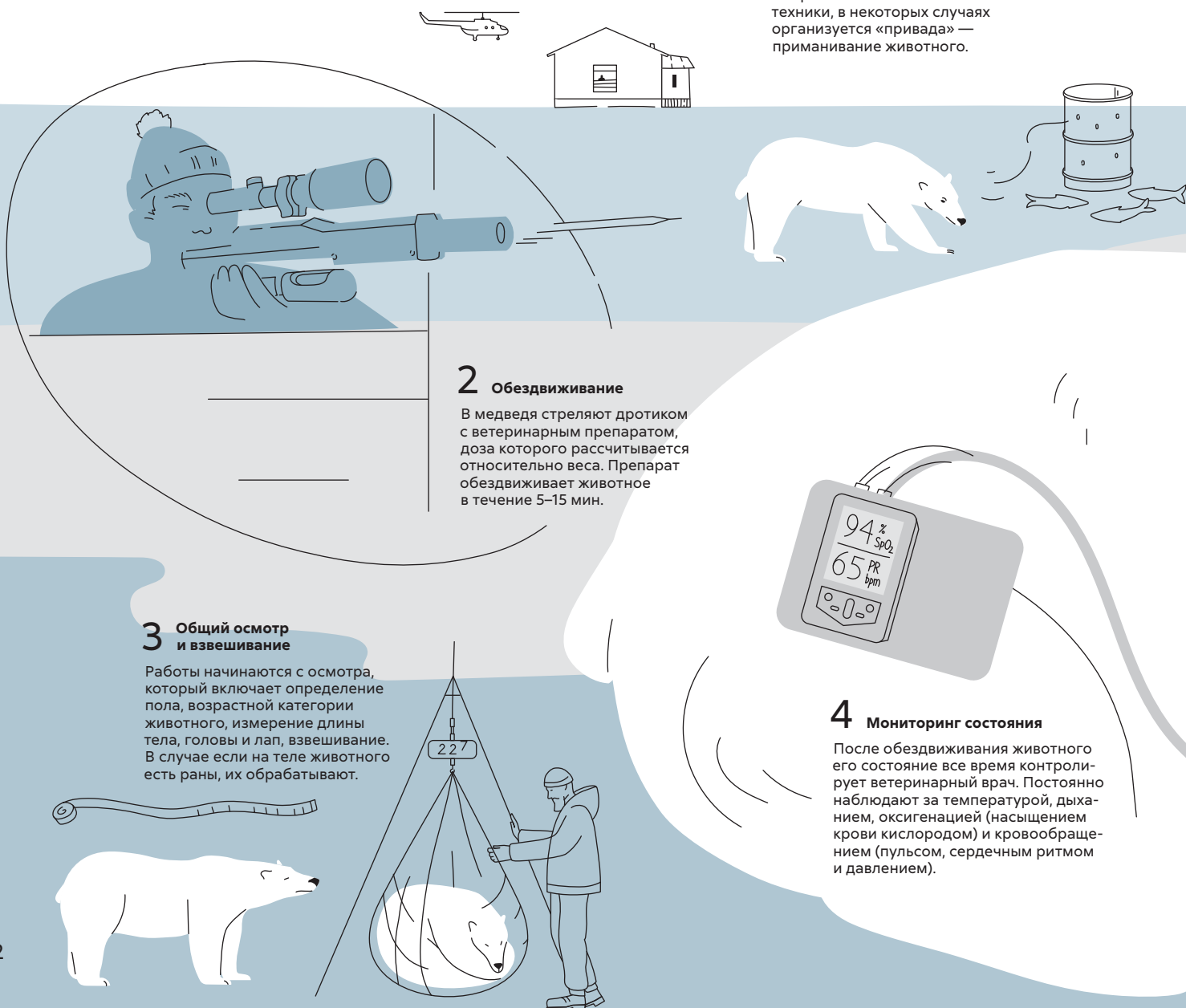
В медведя стреляют дротиком с ветеринарным препаратом, доза которого рассчитывается относительно веса. Препарат обездвигивает животное в течение 5–15 мин.

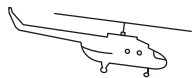
### 3 Общий осмотр и взвешивание

Работы начинаются с осмотра, который включает определение пола, возрастной категории животного, измерение длины тела, головы и лап, взвешивание. В случае если на теле животного есть раны, их обрабатывают.

### 4 Мониторинг состояния

После обездвигивания животного его состояние все время контролирует ветеринарный врач. Постоянно наблюдают за температурой, дыханием, оксигенацией (насыщением крови кислородом) и кровообращением (пульсом, сердечным ритмом и давлением).





Чаще всего для этих исследований ученые используют спутниковые метки системы *Argos*, установленные на ошейники. Такие ошейники ученые могут надеть только на взрослых самок белого медведя: у самцов шея шире головы, и ошейник не будет держаться, а молодые особи еще растут, и ошейник начнет сдавливать шею.

Для расширения возможностей метода в рамках работ «Роснефти» был сконструирован, а в 2016 г. запатентован специальный зажим для крепления спутниковой метки на шерсть к телу животного. Он позволил устанавливать метки независимо от пола и возраста особи без риска травмирования и других негативных последствий. Отказ от ошейника существенно снизил вес передатчика в целом. При помощи зажима на шерсть, установленного 29 августа 2016 г., был получен первый трек от самца, помеченного на о. Жохова (остров в группе островов Де-Лонга в Восточно-Сибирском море).

## 5 Отбор проб

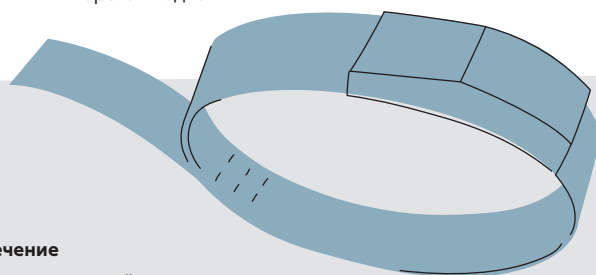
У медведя берут кровь, мазки слизистых оболочек, биопсию кожи с подкожным жиром, образцы шерсти. Пробам обеспечивают правильное хранение и транспортировку, чтобы затем обработать их в лаборатории по завершении экспедиции.

→ с. 104



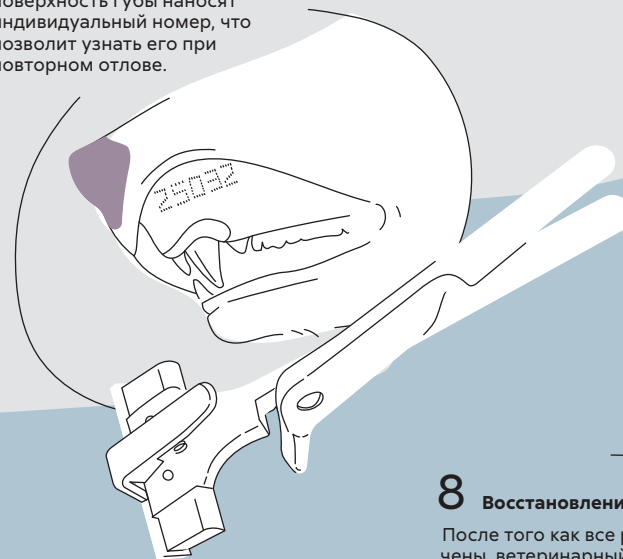
## 6 Установка ошейника

Самкам надевают ошейник со спутниковой меткой. Ошейник не доставляет неудобств белому медведю, а его замок сконструирован так, чтобы со временем разрушиться от воздействия морской воды.



## 7 Мечение

Помимо спутниковой метки животному на внутреннюю поверхность губы наносят индивидуальный номер, что позволит узнать его при повторном отлове.



## 8 Восстановление

После того как все работы закончены, ветеринарный врач вводит антидот к одному из компонентов анестезии, и только после полного восстановления животного группа ученых его покидает.



## Лабораторный анализ биологических проб

**Исследования уровней и состава загрязняющих веществ.** Биологические образцы крови, шерсти и подкожного жира белых медведей анализируют на содержание тяжелых металлов и стойких органических загрязнителей. Попадая в окружающую среду, стойкие органические загрязнители накапливаются через пищевые цепочки в тканях животных и могут передаваться медвежатам с молоком матери. На основе данных ведется токсикологический мониторинг морских арктических экосистем, индикатором состояния которых является белый медведь.

**Гематологические и иммунологические исследования.** Исследования крови позволяют охарактеризовать состояние врожденного иммунитета животного, оценить уровень паразитарной нагрузки и то, как накопленные в организме загрязнители повлияли на функциональность клеток иммунной системы. Выявляются воспалительные процессы, оценивается работоспособность иммунной системы. Накопленная информация о параметрах крови определяет границы нормы, которые в дальнейшем используются для оценки состояния здоровья исследованных особей.

**Молекулярно-генетические исследования.** Молекулярно-генетический анализ ДНК, выделенной из образцов крови, экскрементов, шерсти белого медведя, а также костей и зубов павших животных, позволяет делать выводы о генетической структуре и генетическом разнообразии в популяциях. Высокое разнообразие говорит о благополучном состоянии популяции.

**Микробиологические исследования.** В состоянии физиологической нормы организм белого медведя содержит сотни видов микроорганизмов. Однако под действием стресса, голода, загрязнения токсикантами, хронических заболеваний часть из них может проявлять патогенные свойства, вызывая у животного различные заболевания. Микробиологические исследования белого медведя в природных популяциях проводятся для оценки здоровья особей, обнаружения возбудителей инфекционных заболеваний, а также определения происхождения выделенной микрофлоры, определения и описания микроорганизмов — маркеров статуса здоровья животных.

Из-за потепления белые медведи вынуждены перемещаться от естественных местообитаний на кромке льда на сушу и находить питание рядом с человеческим жильем. Нехарактерная пища изменяет микробиоту кишечника.

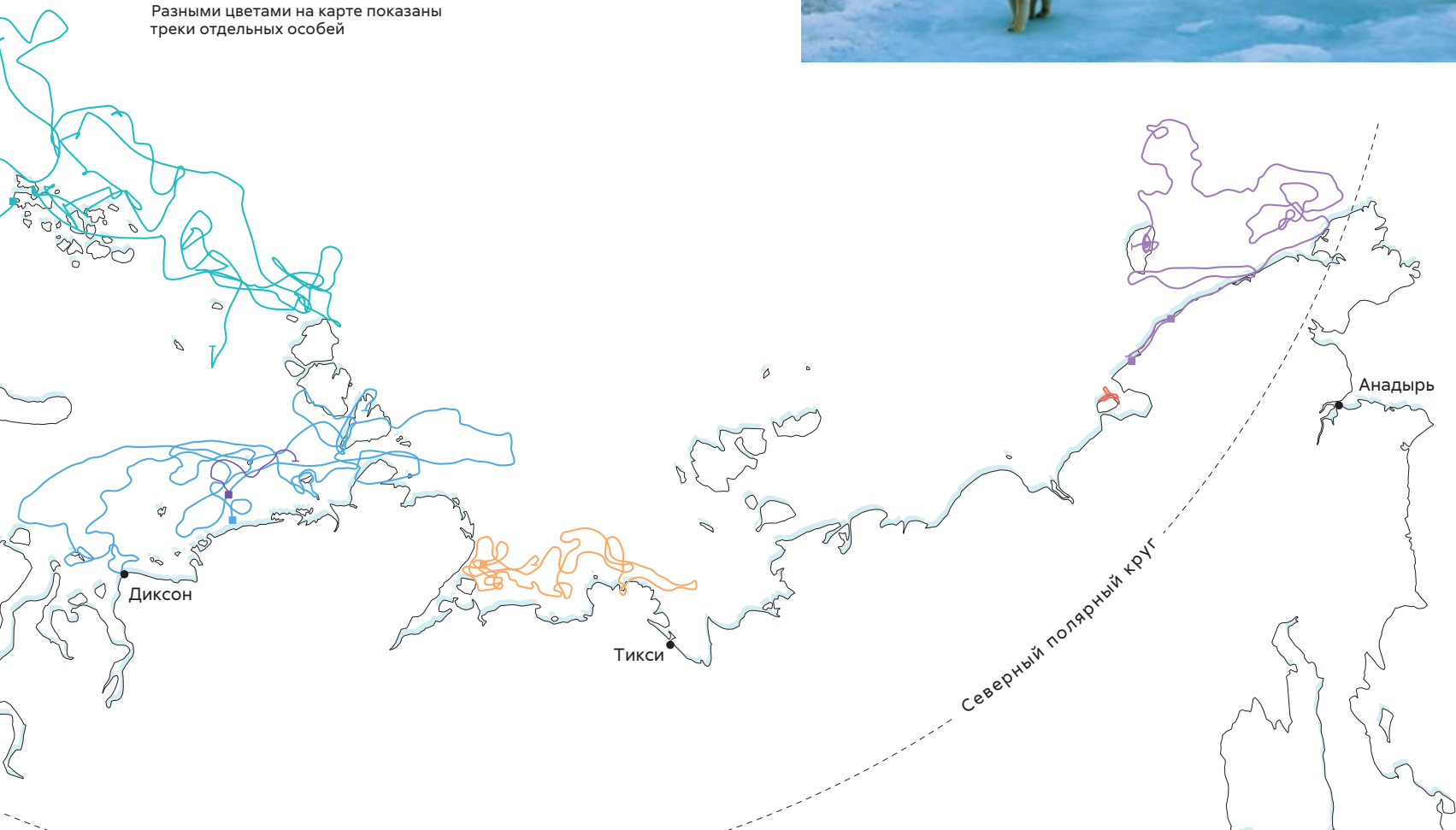


## Результаты спутниковой телеметрии

Всего за время исследований «Роснефти» спутниковыми передатчиками помечен 21 медведь. Общий хронометраж наблюдений — более 3000 суток. Информация позволяет изучить, как медведи действуют в разных типах местообитаний и как это зависит от ледовых условий, интерпретировать результаты молекулярно-генетических исследований, выявить ключевые места обитания, например районы залегания беременных медведиц в родовые берлоги, и районы, интересные для хищников с точки зрения доступности пищевых ресурсов. Благодаря спутниковой телеметрии удалось дистанционно выявить местоположения берлог в труднодоступных для полевых исследований районах, проследить месячную активность и площадь освоенных животными районов.

### Маршруты белых медведей, помеченных спутниковыми передатчиками в 2015–2021 гг.

Разными цветами на карте показаны треки отдельных особей



# Морж

Лат. *Odobenus rosmarus*

Это самое крупное ластиногое Северного полушария. Длина самцов достигает 3,5 м, а вес — 900 кг; самки меньше — до 2,4 м длиной и весом до 800 кг. Крупное тело покрыто толстой шкурой с морщинами и складками. Бивни есть у самцов и у самок. Вид занесен в Красную книгу России и международную Красную книгу. Летом и осенью моржи собираются на береговых лежбищах, а зимой и весной живут на льдах, где самки приносят потомство. В арктических водах обитает три подвида моржа — атлантический, тихоокеанский и лаптевский, существование которого некоторые исследователи ставят под сомнение.

В России добыча атлантического подвида моржа запрещена с 1956 г. Несмотря на внушительные размеры, это один из самых уязвимых обитателей Российской Арктики.

## Основная проблема

Как и в случае с белым медведем, основная проблема моржа как биологического индикатора — в недоизученности вида и его отдельных популяций. Часть популяции обитает в труднодоступных районах, поэтому масштабные полноценные учеты не проводились более 10 лет, а некоторых популяций — с советских времен.

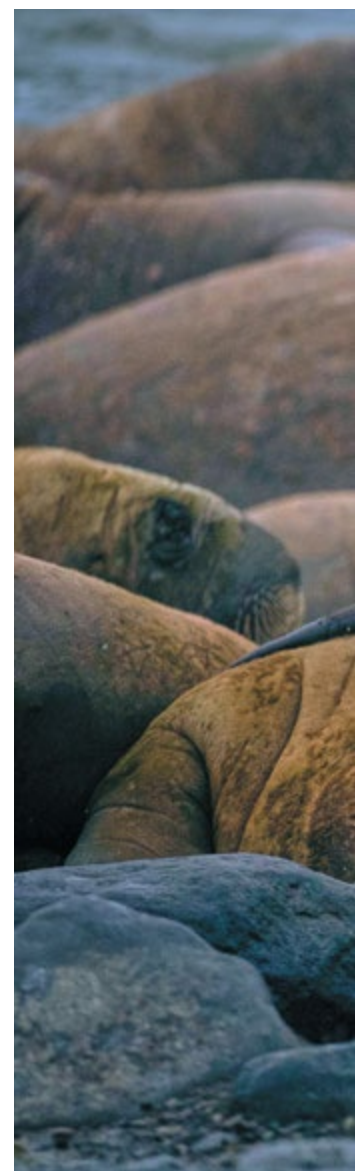
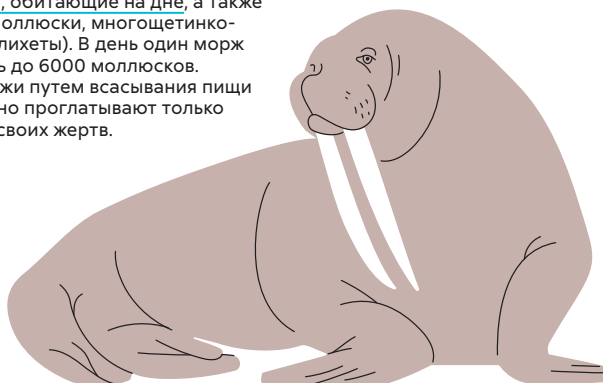
Основное индикаторное значение имеют:

- общие популяционные характеристики: оценка общей численности и численности лежбищ и ледовых залежек, половозрастной состав, анализ миграций и пространственной структуры;
- индивидуальные особенности отдельных особей и групп: стрессированность, заболеваемость, загрязненность тканей животного.

Для интерпретации этих данных исследуют, в частности, кормовую базу моржа. Восполнение этих пробелов в знаниях о современном состоянии вида стало целью работ «Роснефти» в 2020–2022 годах.

**3,5 м**      **900 кг**  
длина                      вес

→ с. 203  
Основа питания моржей — двустворчатые моллюски, обитающие на дне, а также брюхоногие моллюски, многощетинковые черви (полихеты). В день один морж может съесть до 6000 моллюсков. Кормятся моржи путем всасывания пищи со дна и обычно проглатывают только мягкие части своих жертв.



### Как исследовать

Первые исследования моржа «Роснефть» выполнила в 2015 году на островах государственного природного заповедника «Ненецкий» во время геолого-разведочных работ в Печорском море. Исследования проводили совместно с сотрудниками заповедника: определяли локальные места залежек и нагула, оценивали воздействие на животных производственных работ. В рамках комплексных экспедиций проводился попутный учет животных, а в 2016 году — исследования лаптевского подвида моржа на острове Беннетта.

Последние исследования моржа атлантической популяции — наиболее масштабные из проведенных «Роснефтью». Комплекс работ включает количественный и качественный учет с борта судна и с берега, авиационный учет в местах лежбищ с использованием БПЛА (беспилотного летательного аппарата), работы по длительному мониторингу на лежбищах с использованием фотоловушек, сбор биопсийного материала на комплекс лабораторных анализов и изучение пространственного распределения с помощью спутниковых меток.





→ с. 81 **Экспедиция «Кара-лето 2014»**

Во время специальных исследований белого медведя открыто новое лежбище моржа в труднодоступном и слабо изученном районе на о. Беннетта арх. Острова Де-Лонга.

Зарегистрировано более 700 особей.

Отобрано 4 биологических образца для генетических исследований.

Остров Беннетта находится на границе распространения лаптевского и тихоокеанского подвидов моржей, имеющих различный природоохранный статус. Тихоокеанский подвид — промысловый, в то время как лаптевский занесен в Красную книгу России. В связи с этим представляется важным провести генетические исследования полученных образцов для определения принадлежности обнаруженных животных к тому или иному подвиду.

**Работы на о. Матвеев, заповедник «Ненецкий»**

Проведена оценка видового состава и численности как на лежбище, так и в прибрежной акватории острова.

Общая протяженность авиационных наблюдений с полным облетом вдоль береговых полос островов заповедника составила 2400 км.

Установлено 13 фотоловушек.

Максимальное количество зарегистрированных особей в октябре — более 500 животных.

По данным спутникового наблюдения определен постоянный маршрут перемещения моржей между о. Вайгач и о. Матвеев.

→ с. 86 **Экспедиция «Кара-лето 2016»**

Исследования моржей проведены в четырех местах формирования береговых лежбищ: о. Преображения, о. Беннетта, о. Гейдж и Оранские острова.

Обнаружено шесть моржовых лежбищ. Пятеро взрослых моржей помечено спутниковыми передатчиками.

Получено 23 биопсии кожи и подкожного жира моржей для молекулярно-генетического анализа, 11 биологических образцов отобрано неинвазивно для токсикологических исследований. Ученым впервые удалось отобрать биологические образцы у моржей на о. Преображения, где находится одно из крупных лежбищ.

Установлено 6 фотоловушек, в том числе на одном из наиболее удаленных и труднодоступных для исследователей берегом лежбище этих животных — на о. Беннетта.

Исследования донной фауны выполнены попутно на 29 станциях в мелководных районах и 23 станциях в районах обнаружения лежбищ с целью изучения потенциальных объектов питания моржей (бентосных сообществ). Всего было отобрано 187 проб для лабораторных исследований.





#### Работы на о. Вайгач и о. Матвеев

Проведена оценка видового состава, численности на лежбище и в прибрежной акватории островов.

Установлено 10 фотолушечек.

Пятеро взрослых моржей помечены спутниковыми передатчиками.

Максимальное количество зарегистрированных по учетам с БПЛА — 323 особи.

Отобрано более 40 биологических проб, в том числе 20 образцов биопсии кожи атлантического моржа.

Исследовано 19 станций с целью изучения потенциальных объектов питания моржей (бентосных сообществ).

Обнаружено три лежбища, на одном из которых в течение двух месяцев специалисты отслеживали динамику его использования животными, проводили оценку факторов беспокойства животных.

#### Работы на арх. Земля Франца-Иосифа

Впервые проведены масштабные обследования островов Земли Франца-Иосифа с подробным картированием уже известных лежбищ моржа, а также описанием новых мест расположения животных.

Обследовано 40 островов.

Обнаружено и обследовано 18 лежбищ, в том числе одно ранее не описанное.

В рамках учета суммарно зарегистрировано более 3000 моржей. На всех крупных скоплениях животных удалось отобрать биопсии — более 100 образцов.

Установлено 10 спутниковых меток на животных разных половозрастных групп. Метки были установлены на самых северных, а также наиболее массовых и хорошо известных лежбищах.

Установлено 10 фотолушечек для сбора информации о сезонном использовании территорий.

Исследовано 42 станции в районах обнаружения лежбищ с целью изучения потенциальных объектов питания моржей (бентосных сообществ). Всего было отобрано 115 проб для лабораторных исследований, на 17 станциях выполнена съемка с помощью ТНПА.

#### Повторная экспедиция на арх. Земля Франца-Иосифа

На о. Ева-Лив зарегистрировано крупнейшее лежбище атлантического подвида моржа — 2004 особи.

Обследовано 34 острова.

Обнаружено и обследовано 16 лежбищ, 2 новых выявлено при обработке спутниковых меток и снимков.

В рамках учета суммарно зарегистрировано более 7300 моржей. На всех крупных скоплениях животных удалось отобрать биопсии — 115 образцов.

Установлено 16 спутниковых меток на животных разных половозрастных групп, в том числе 6 с датчиками сбора данных о температуре, глубине и длительности погружений животных, что позволит впервые в этом регионе охарактеризовать как кормовое поведение моржей (продолжительность и глубину кормовых погружений), так и время отдыха.

Установлено 5 фотолушечек.

Исследовано 28 станций в районах обнаружения лежбищ с целью изучения потенциальных объектов питания моржей (бентосных сообществ). Всего было отобрано 84 пробы для лабораторных исследований, на 11 станциях выполнена съемка с помощью ТНПА.

### Полевые исследования

Для исследований атлантического подвида моржа выбрали острова архипелага Земля Франца-Иосифа — практически не тронутую человеком территорию национального парка «Русская Арктика», где легче получить наиболее ценную информацию о биологии вида. Моржи там живут круглогодично и изолированной группировкой. В 2020 году исследования совместно с Институтом проблем экологии и эволюции им. А. Н. Северцова РАН проводились на 40 островах. В 2021 году повторная экспедиция на архипелаг принесла уникальные для науки результаты о численности этой группировки моржа.

Основные работы проводились на лежбищах. В первую очередь подсчитывается численность — это позволяет установить привязанность животных к определенным местообитаниям, выявить динамику их активности, характер и факторы, определяющие сезонную динамику численности животных. Комплекс работ:

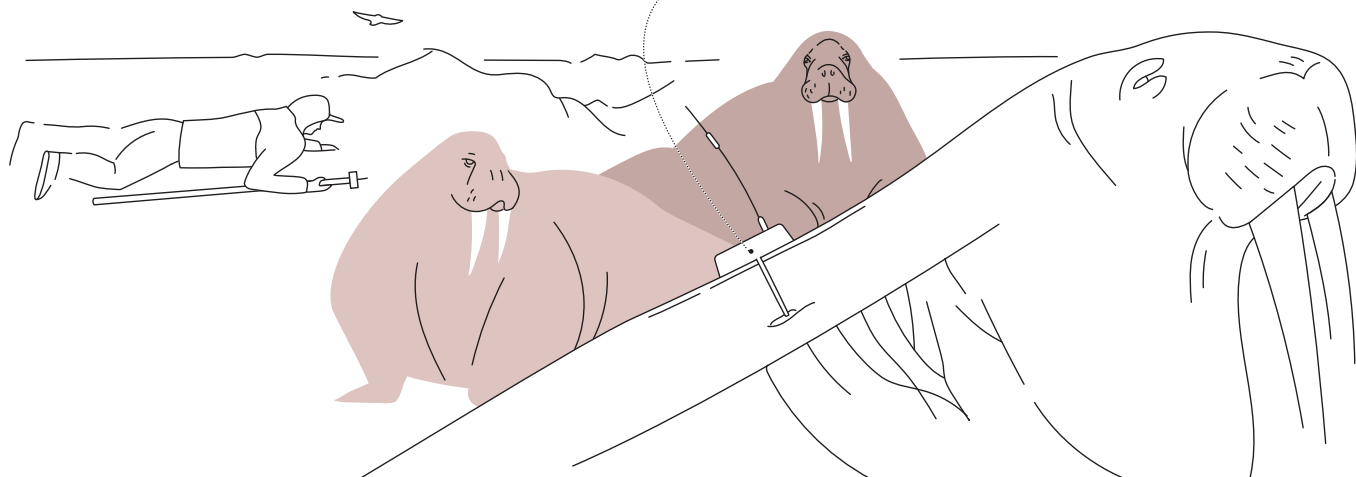
- дистанционный отбор биопсии кожи и подкожного жира;
- мечение спутниковыми передатчиками;
- сбор неинвазивного материала и регистрация следов жизнедеятельности моржей.

**Мечение моржа и о том, почему к нему нужно ползти.** Спутниковые метки, которые устанавливают на моржей, дают информацию о распределении, локальных кочевках, сезонных миграциях и особенностях использования различных местообитаний. Данные используются также для интерпретации результатов лабораторных исследований на загрязнение и генетических исследований.

В отличие от белого медведя, которого медикаментозно обездвигивают, чтобы надеть на него ошейник со спутниковой меткой, с моржами так не поступают. Физиология сна ластоногих все еще

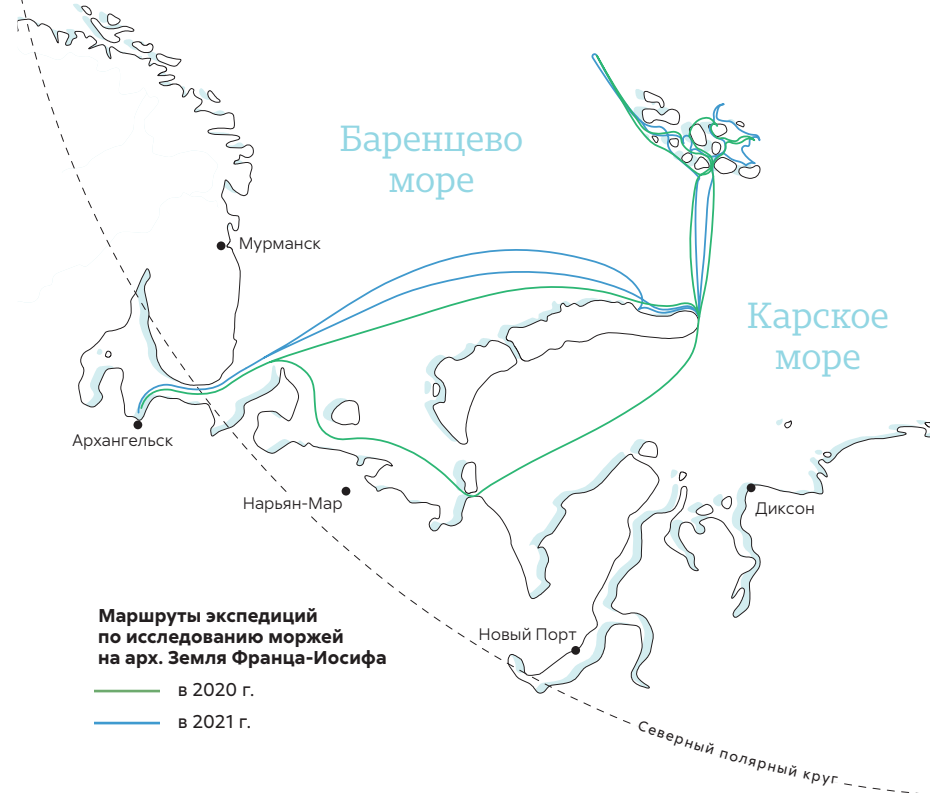


недостаточно изучена, и проведение таких манипуляций в полевых условиях требует исключительной осторожности. Процесс установки спутниковой метки на моржей в среднем занимает около часа. Большую часть этого времени специалист-териолог подползает к животному с древком, на конце которого в специальном гнезде закреплен спутниковый передатчик. Двигаться нужно очень медленно и именно ползком — моржи не воспринимают как угрозу объекты ниже себя.





Морж — стадное животное, которое образует тесные взаимосвязи внутри группы численностью от 2–5 до 100 и более особей, которые образуются как на зимовках, так и в местах нагула. Животные располагаются на лежбище так, что в центре группы оказываются молодые особи и самки, а по краям — крупные самцы, выполняющие «дозорную функцию», предупреждая сорочичей ревом о наличии близкой опасности.

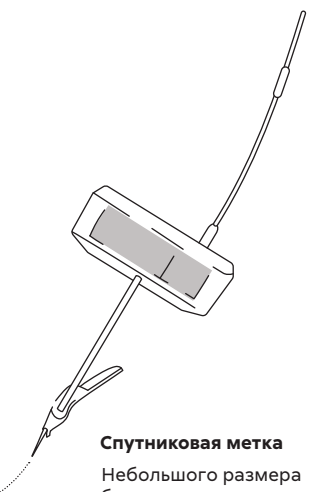


**Маршруты экспедиций по исследованию моржей на арх. Земля Франца-Иосифа**

— в 2020 г.  
— в 2021 г.

За два полевых сезона исследователи установили 26 спутниковых передатчиков. Часть из них — для сбора данных о температуре, глубине и длительности погружений животных, что позволило впервые для этого региона охарактеризовать кормовое поведение моржей (продолжительность и глубину кормовых погружений) и время отдыха. По данным меток, поставленных в 2020 г., изучена миграционная активность моржей и пространственное использование животными акватории арх. Земля Франца-Иосифа, установлены новые залежки и места кормления.

Параллельно с работой на лежбищах ученые изучили и кормовую базу моржей в этом районе. Морж — высокоспециализированный вид ластоногих, его основу питания, как уже было сказано ранее, составляют донные беспозвоночные, главным образом двусторчатые моллюски, которых моржи добывают на глубинах 30–80 м. В 2020–2021 гг. был обработан количественный материал 70 бентосных станций в диапазоне глубин от 11 до 176 м. Станции отбора проб были разделены на две группы: мониторинговые (расположенные вблизи лежбищ моржей) и поисковые — станции, расположенные в потенциально кормовых районах для моржей исходя из данных спутниковой телеметрии 2020 г. → с. 207



**Спутниковая метка**

Небольшого размера блок с элементами питания, антенной для передачи сигнала и небольшим гарпуном, который при помощи древка или арбалета крепится на тело животного. Шкура моржа достигает 4 см толщины и более, а подкожный слой жира — 15 см, поэтому такой способ крепления метки безболезнен и не доставляет животному существенных неудобств.

**Алгоритм работы на лежбище**

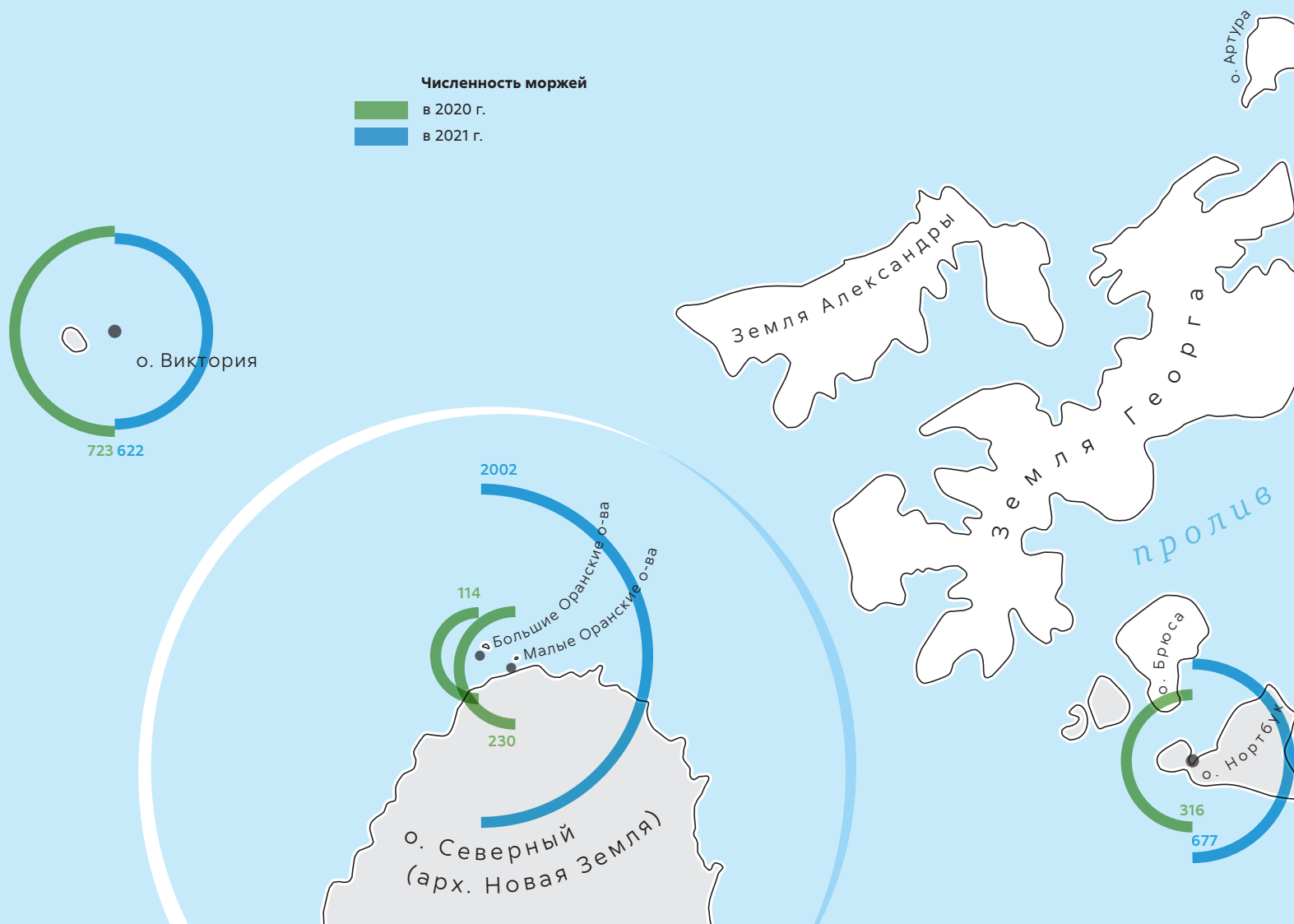
1. Осмотр лежбища с помощью ТНПА перед высадкой: планирование работ и проверка их безопасности, в том числе поиск белых медведей, аэрофотосъемка для подсчета численности животных.
2. Высадка с судна на остров в отдалении и с подветренной от лежбища стороны, чтобы не тревожить животных заранее.
3. Установка спутниковых передатчиков. Наиболее ответственный этап, поскольку, если животных побеспокоить, они сойдут с лежбища в воду, и повторного шанса установить метку может не представиться.
4. Биопсия. Пробы отбираются дистанционно, при помощи арбалета. На конце арбалетного болта — полый цилиндр, который пробивает шкуру моржа и отбирает небольшой ее кусок со слоем подкожного жира. В случае если животные все-таки потревожены, эту часть работ можно выполнить, даже если моржи сойдут в воду.
5. Когда работы с непосредственным участием моржей закончены, ученые устанавливают фотоловушки и отбирают неинвазивные пробы от павших животных, если такие найдены, и следов жизнедеятельности.

## Результаты исследований на архипелаге Земля Франца-Иосифа

Работа на островах архипелага Земли Франца-Иосифа — первые масштабные исследования моржей с подробным картированием известных лежбищ и описанием новых. Обнаружены три ранее не описанных залежки и крупнейшее, более 2000 особей, скопление атлантического подвида моржей на архипелаге — на острове Ева-Лив.

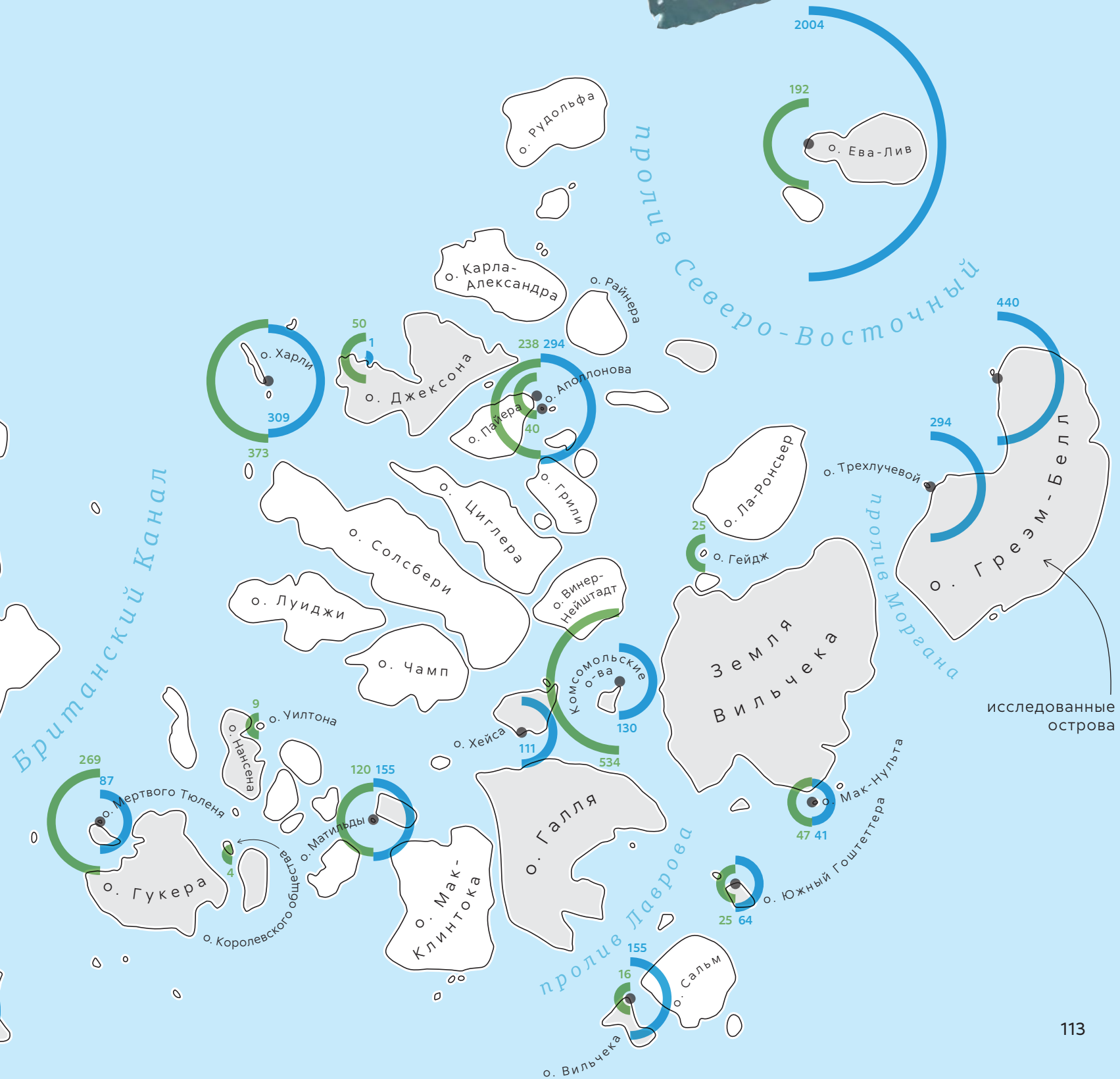
Впервые проведен единовременный полномасштабный учет моржей на архипелаге с использованием беспилотных летательных аппаратов (более 7000 особей). В общей сложности за два полевых сезона обследовано 43 острова.

Токсикологические исследования 73 моржей показали более низкие уровни концентрации в организмах животных загрязняющих веществ по сравнению с другими территориями. Вероятно, это связано с природоохранным статусом района, расположенного на территории национального парка «Русская Арктика», а также отсутствием высокого трафика судов по сравнению, например, с Печорским морем. Кроме того, на показатели могли повлиять различия размера выборки и ее структура: в открытых литературных источниках опубликованы результаты исследований самцов, а в рамках проекта собраны пробы от животных разного пола и возраста, что делает их более показательными.



В России находится самое большое лежбище моржей. На мысе Сердце-Камень собирается более 100 тыс. моржей тихоокеанского подвида во время осенней миграции из Чукотского моря в Берингово.

Во время экспедиции «Роснефти» в 2021 г. было обнаружено самое большое лежбище атлантического подвида моржа: 2004 особи на острове Ева-Лив (арх. Земля Франца-Иосифа). Выглядит это так →



# Белая чайка

Лат. *Pagophila eburnea*

Это вид небольших приполярных плотоядных птиц. Взрослые птицы имеют полностью белое оперение и черные ноги, самцы не отличаются от самок. Это редкий и охраняемый вид, самый малочисленный и эндемичный вид арктических морских птиц с ограниченным гнездовым ареалом. Белая чайка включена в Красную книгу Российской Федерации и Красный список Международного союза охраны природы. Большая часть мировой популяции гнездится на территории России от Шпицбергена на восток до моря Лаптевых.

Общемировая численность вида оценивается очень приблизительно в 58–78 тыс. особей, но эта оценка может быть завышена. Около 70–80 % мировой популяции гнездится в России. В благоприятный год численность колоний (например, на островах Домашний и Визе в Карском море) достигает 2000 особей. В целом отмечается уменьшение численности птиц, что может быть связано с климатическими изменениями: на территории Арктики становится все теплее, площади морских льдов с каждым годом сокращаются.

## Основная проблема

Чайка обитает неравномерно в пределах ареала и гнездится в труднодоступных местах, из-за чего не удается собрать точную информацию о ее численности, территориальных связях и структуре популяции.

Целенаправленные исследования популяций белой чайки последних 10 лет посвящены в основном зарубежной Арктике, а единственный крупномасштабный учет проводился в 2006 году. Данные попутных наблюдений последних лет свидетельствуют об изменениях в численности и распределении вида, но достаточной информации о рационе, трофических связях, концентрации в тканях загрязняющих веществ и их воздействии на организм белой чайки нет.

Белые чайки на острове Визе



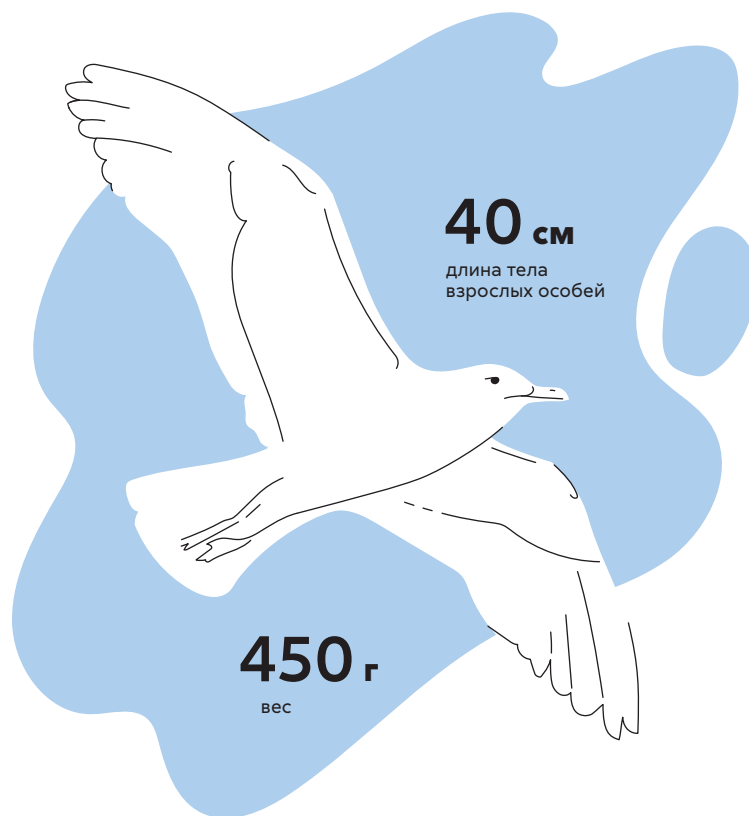
### Как исследовать

Получить недостающие данные о биологии вида можно только при целенаправленной работе на гнездовых колониях, когда исследователи учитывают взрослых и молодых особей, количество яиц, выполняют отлов птиц для взятия проб и установки передатчиков для отслеживания перемещения.

«Роснефть» совместно с Арктическим и антарктическим научно-исследовательским институтом начали исследование в 2020 году с острова Визе на севере Карского моря. Летний сезон 2020 года характеризовался крайне неблагоприятными условиями для размножения белых чаек. Это проявилось в поздних сроках гнездования и низкой результативности размножения. Ученые обследовали колонии белой чайки в северо-восточной части Карского моря. Впервые за последние 25 лет выявлен полный неуспех размножения одновременно в трех крупнейших колониях белой чайки в ядре ее ареала. В девяти обследованных колониях общая численность чаек, пытавшихся гнездиться в 2020 году, была минимальной за весь доступный ряд наблюдений, ориентировочно 350–400 пар по сравнению с наиболее успешными годами, когда в них могло гнездиться до 3000–4000 пар.

В ходе двухмесячных работ на острове Визе экспедиционная группа выполнила:

- визуальный осмотр колоний, установку фотоловушек и маршрутные работы — для оценки состояния гнезд, учета численности белой чайки и других птиц;
- отлов птиц для отбора биологических проб и установки GPS-трекеров.



52 дня стационарных наблюдений на о. Визе.

Установлено 6 фотоловушек на колониях белых чаек.

Обследовано 50 белых чаек.

Семь взрослых особей помечены GPS-трекерами *Milsar*.

Отобрано более 260 биологических проб для лабораторных исследований.

Обработано 19 тыс. фотографий и 4 тыс. видеороликов с фотоловушек для исследования колоний белых чаек.

### Пробы и параметры

**Перья.** Определение стабильных изотопов: устанавливается содержание  $^{13}\text{C}$  и  $^{15}\text{N}$ . Эти данные дают информацию о диете птицы во время периода линьки (когда перо растет) и об уровне гормона стресса, кортикостерона.

**Пробы питания.** Многие птицы отрывают пищу при отлове и манипуляциях с ними, часто это пищевой комок, который предназначен для птенцов. Также птицы могут обронить остатки корма рядом с гнездами, где их ищут ученые. Эти пробы используются для определения пищевых объектов птиц. Во всех отобранных пробах были отмечены мелкие сайки. Помимо белой чайки такой анализ выполнен и для моевки — еще одного вида из семейства чайковых.

**Венозная кровь.** Для определения стабильных изотопов, загрязняющих веществ, паразитологического и гематологического анализов.

Помимо этих работ все отловленные птицы тщательно исследуются: снимаются промеры, птиц осматривают на наличие эктопаразитов (различные клещи, вши), окольцовывают для идентификации при следующем отлове.



Трекер на спине белой чайки

### Отслеживание перемещений

Для определения мест кормежки в гнездовой период и радиуса поиска пищи использовался метод биотелеметрии. Взрослых птиц отлавливали в начале сезона и крепили им на спину GPS-трекеры в виде небольших «рюкзачков».

Ученые использовали два типа трекеров:

- *Milsar NanoTag-14* каждые пять минут фиксируют координаты GPS-приемником и передают их на базовую станцию, установленную на возвышенности недалеко от колонии;
- *PinPoint* фиксируют координаты GPS-приемником и записывают их во внутреннюю память. Объем встроенной памяти рассчитан на 1700 локаций, поэтому птиц необходимо отлавливать каждые 5–6 суток для скачивания данных.

В отличие от спутниковых меток, которые устанавливают на моржей и медведей, трекеры для птиц весят всего 12 г, что составляет примерно 2,5 % от массы птицы, и питаются от солнечной батареи, а не от встроенных элементов.

Всего в 2020 году трекерами оснастили семь особей. Шесть особей прослежены краткосрочно, в течение 1–4 суток, одна особь вернулась после длительного отсутствия, и от нее получены данные о перемещениях в течение 19 суток. Максимальный радиус разлета в этот период варьировался от 2,4 до 22,4 км и ограничивался распространением припайных льдов у восточной части острова Визе. То есть чайки не покидали окрестностей острова Визе и кормились на ограниченных по площади ледовых местобитаниях остаточных припайных льдов. Площадь потенциальных кормовых биотопов составляла в это время 300–450 км<sup>2</sup>, но, судя по данным мечения, использовалось менее ее половины.



Трек чайки на карте



### Полевые исследования и результаты

Мечение белых чаек GPS-трекерами впервые произведено в российской части ареала, получены первые высокоточные данные об их перемещениях.

Впервые для Российской Арктики проведены исследования трофических отношений белой чайки комплексными методами с использованием метода стабильных изотопов и изучением сезонной динамики трофической ниши. Впервые проведены комплексные исследования клеток периферической крови белых чаек для оценки уровня стресса.

Собрана наиболее представительная для российской части популяции белых чаек коллекция биопроб (перьев, крови) для оценки трофических связей и параметров здоровья популяции (уровень стресса).

Лейкоцитарная формула для белых чаек описана в данном исследовании впервые. Она может быть использована как отправная точка при мониторинге лейкоцитарного показателя стресса белых чаек — с учетом того, что эти базовые данные были получены в неблагоприятный сезон гнездования.

Получены уникальные данные о биологии белой чайки в неблагоприятный сезон, что позволит усовершенствовать методику мониторинга и интерпретировать данные молекулярно-генетических исследований.



# Дикий северный олень

Лат. *Rangifer tarandus*

Это один из самых значимых арктических видов, важнейшее звено арктических экосистем и ключевая составляющая продовольственной безопасности коренного населения северных территорий. По отношению к человеку выделяют диких и домашних северных оленей. Среди диких оленей в Красноярском крае обитают два подвида: сибирский тундряной северный олень *Rangifer tarandus sibiricus* и сибирский лесной северный олень *Rangifer tarandus valentinae*. Несмотря на пристальный интерес к северному оленю, целый ряд вопросов его экологии по-прежнему остается слабо изученным.

«Роснефть» совместно с Сибирским федеральным университетом исследуют состояние популяции дикого северного оленя на территории Красноярского края с 2014 года. Работы были начаты в рамках грантовой поддержки дочерней компании — АО «Востсибнефтегаз». Основное направление исследований — оценка численности и изучение миграций таймыроэвенкийской популяции вида, обитающей в том числе на территории Красноярского края.

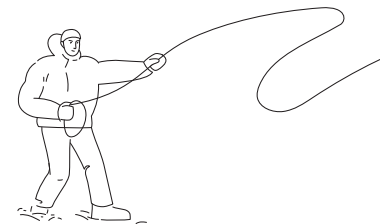
Ведутся продолжительные экспедиции по изучению дикого северного оленя. Экспедиции стартуют в начале июня, а последние участники возвращаются в октябре – ноябре. Основные методы исследования:

- учет численности оленей с воздуха (с использованием авиации и беспилотных летательных аппаратов);
- учет оленей и визуальные наблюдения на ключевых участках миграционных путей (с берега при пересечении рек);
- биотелеметрические исследования и отбор биологических проб.

Сейчас в базе ученых есть данные о 87 помеченных особях. С начала исследований дикого северного оленя в 2014 году ученые фиксируют нарастающие изменения в поведении животных. Продолжительность пребывания оленей в традиционных местах отела на летних пастбищах Таймыра сегодня составляет в среднем 63 дня, что в три раза меньше, чем в 1960-е годы. Согласно данным, полученным со спутниковых маячков, олени, едва достигнув северной оконечности гор Бырранга, разворачиваются и идут в обратном направлении. В последнее десятилетие стада уходили из тундры уже в середине августа. При средней скорости движения 13–14 км в сутки олени вернутся на зимовку в леса Эвенкии уже в августе.

Ученые отмечают не только аномальное сокращение времени пребывания оленей на Таймыре с 7–8 месяцев до 63 дней, но и уменьшение протяженности их хода — с 1100 до 700 км за годы наблюдений.

Область обитания таймыро-эвенкийской популяции дикого северного оленя простирается от мыса Челюскин и северных отрогов гор Бырранга до северной тайги Эвенкии. На западе граница проходит по 79° Е, на востоке — по 112° Е. Площадь составляет более 1,5 млн км<sup>2</sup>. Большую часть года животные находятся в движении, проходя до 6,5 тыс. км в год.



Сбор наиболее важных данных о популяции оленей: наземное и с воздуха определение границ зимовок, оценка ориентировочной численности популяции.

Первое мечение 10 оленей ошейниками со спутниковым передатчиком.






560 км наземных маршрутов на местах зимовки в окрестностях пос. Ессей, Чиринда.

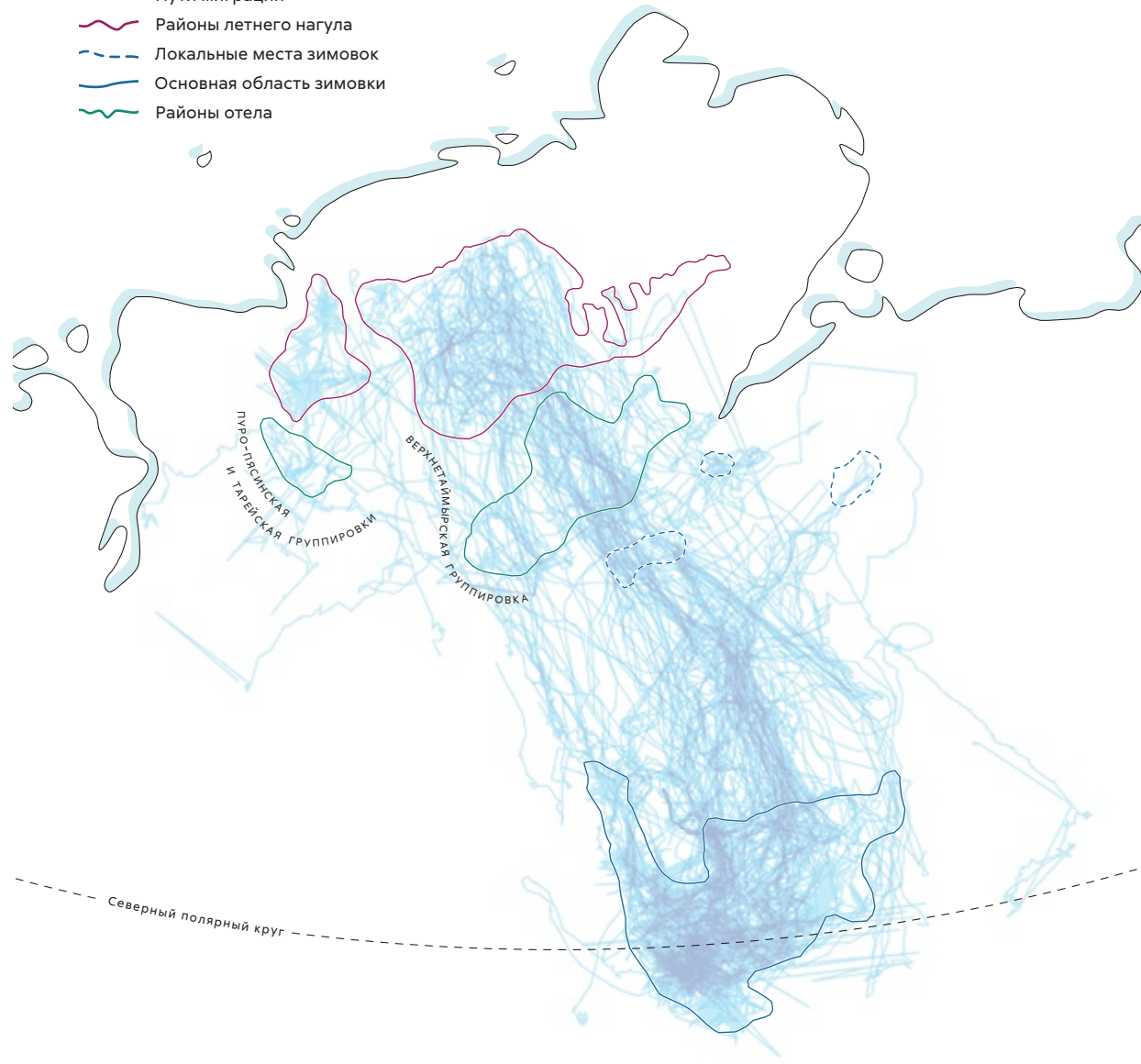
6 часов видеоматериалов о поведении и половозрастной структуре.

2014

2015

**Маршруты диких северных оленей, помеченных спутниковыми передатчиками в 2015–2021 гг.**

-  Пути миграций
-  Районы летнего нагула
-  Локальные места зимовок
-  Основная область зимовки
-  Районы отела



**Установка ошейников**

Для изучения миграций диких северных оленей ученые используют ошейники с маяками спутниковых систем Argos/GPS, для этого оленей отлавливают на водных переправах, тропах и в местах зимовки. Обычно в отлове принимают участие местные жители. Это существенно упрощает поиск мест для выполнения работ, а за счет их опыта и знаний поведения животных минимизируется негативное воздействие на особей.

Зимой оленей ловят петлей. Однако самый распространенный способ — отлов на речных переправах в период миграции. Аккуратно подойдя к оленю на моторной лодке, его фиксируют при помощи веревочной петли и вводят инъекцию ветеринарного препарата (иммобилизуют), а затем транспортируют на сушу. Пока животное находится в состоянии сна, закрепляют ошейник, отбирают необходимые пробы и делают промеры. Приблизительно через 40 минут животное самостоятельно встает на ноги.



Апробация радиопередатчиков отечественного производства в условиях низких температур и ошейников в экстремальных условиях.  
Максимальная продолжительность приема сигналов — 444 дня.

Помечено 7 оленей.  
Максимальная продолжительность приема сигналов со спутниковых передатчиков с новыми батарейными блоками — 570 дней.  
35 часов видеоматериалов о поведении и половозрастной структуре.  
45 часов визуальных и инструментальных наблюдений.

Впервые документально доказано, что осенняя миграция оленей начинается и проходит раньше, чем в прошлом веке.  
Открытием стало продолжительное (до 9 месяцев) пребывание оленей в лесах Эвенкии и смещение мест гона в южном направлении.  
Предложено популяцию тундровых оленей называть не таймырской, а таймыро-эвенкийской.

Весенняя экспедиция для изучения оленей на одном из ключевых участков миграционного пути в бассейне р. Маймеча.  
540 км учетных маршрутов.  
140 часов авиационных обследований.  
693 часов визуальных и инструментальных наблюдений.  
356 часов видеоматериалов о поведении и половозрастной структуре.

Самый масштабный за всю историю проекта комплексный мониторинг диких северных оленей:  
1470 часов ежедневных стационарных наблюдений за миграцией диких северных оленей;  
6000 км учетных маршрутов;  
28 часов авиационных обследований;  
9 оленей помечено спутниковыми передатчиками;  
собрано 50 образцов для лабораторных исследований.





## Системное изучение биологических индикаторов

Биологическая индикация — чрезвычайно удобный инструмент для ученых: пользуясь косвенными признаками (состоянием определенных видов), можно делать заключения о состоянии экосистемы в целом. Основная проблема, которая препятствует широкому использованию этого метода для оценки состояния морских экосистем, — недостаток знаний о биологии видов.

В исследованиях последних 10 лет «Роснефть» восполняла недостаток данных о состоянии популяций изучаемых животных: способах использования территории, миграциях, накоплении загрязняющих веществ в тканях и генетическом разнообразии.

Благодаря этой работе получены не только актуальные данные для составления программ мониторинга этих видов как биологических индикаторов и мероприятий по их сохранению. Результаты экспедиций — ценные для науки данные об изменении миграционных путей дикого северного оленя, микробиоме белого медведя, состоянии популяции редкого вида морских арктических птиц в год неуспешного размножения, актуальной численности группировки атлантического подвида моржа на архипелаге Земля Франца-Иосифа.

Степень изученности разных таксономических групп достаточно сильно варьируется. Если биология морских млекопитающих, птиц, некоторых видов рыб изучена относительно подробно, то для многих групп беспозвоночных или водорослей имеются только общие представления об их предпочтениях по температуре, солености и другим параметрам.


Интенсивные исследования арктических морей России последних лет, в том числе организованные компанией «Роснефть», привели к расширению и уточнению знаний о биологии многих видов. Новые находки меняют представление о распространении видов в арктических морях, а растущий массив данных нуждается в периодической ревизии. В 2020 году «Роснефть» опубликовала [атлас видов — биологических индикаторов](#), содержащий под одной обложкой информацию о биологии видов, предложенных Минприроды России к использованию в качестве индикаторов состояния окружающей среды. ↗ → с. 230









An aerial photograph of a vast, deep blue ocean with small white ice floes scattered across the surface. The sky above is a mix of light and dark blue, with wispy white clouds. The text is overlaid in the upper half of the image.

# Создание геологической модели Арктики

# Исследование земной коры

На Земле уже нет места крупным географическим открытиям — поверхность планеты вдоль и поперек отснята со спутника и положена на карту. Но вот в смежной области, геологии, потенциал еще есть. Геология изучает устройство земной коры, и Мировой океан в этом плане — богатое поле для исследований. Сегодня детально геолого-геофизическими методами изучено менее половины площади океана. Даже топографические карты Луны и Марса подробнее, чем карта океанического дна, а ведь океан занимает 70 % земного шара.

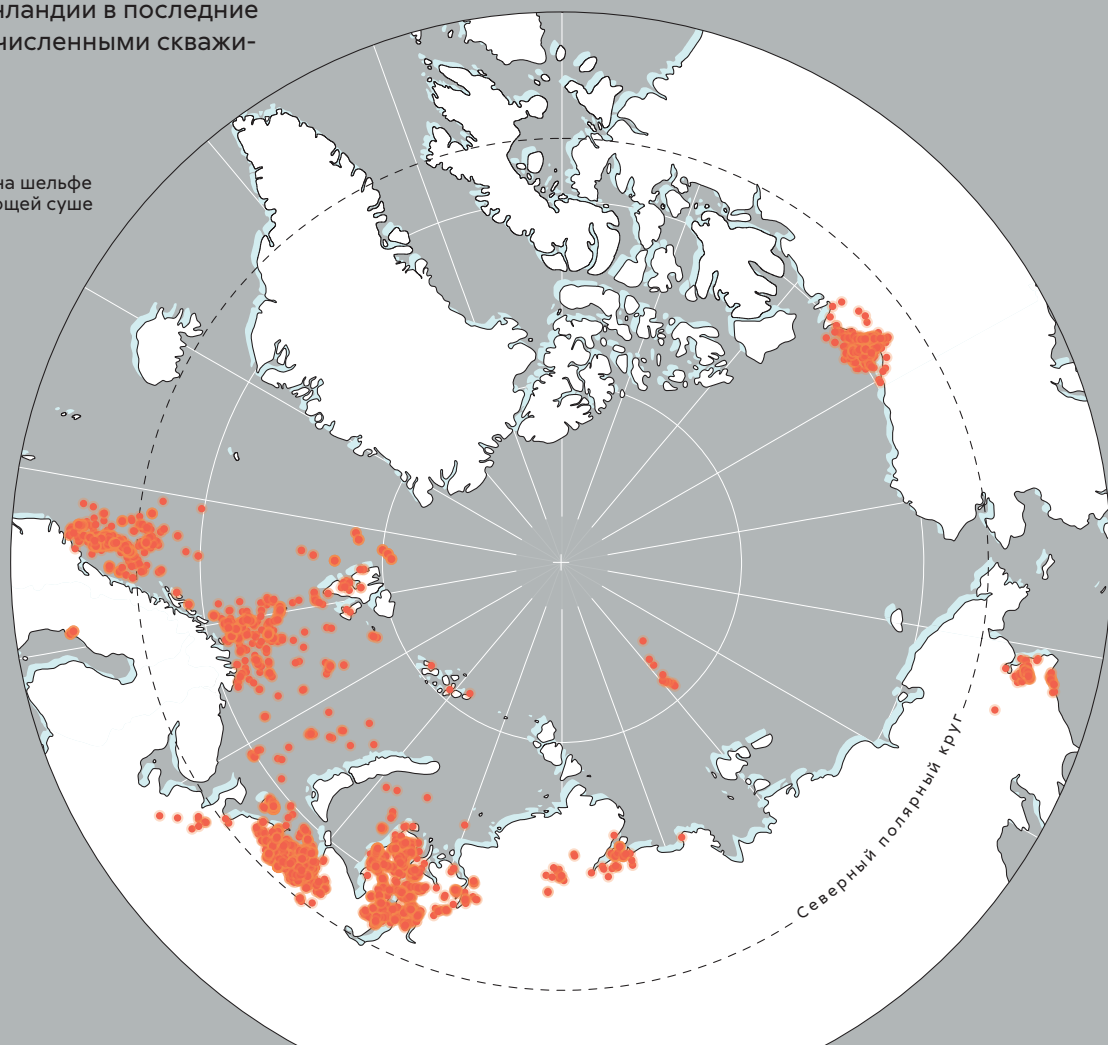
В августе 1968 года в Мексиканский залив вышло судно с оборудованием для морского бурения. Это была первая экспедиция проекта глубоководного бурения, с которой начался процесс систематического исследования земной коры в акваториях. С тех пор плотной сетью скважин были покрыты все акватории Земли. Все, кроме одной — арктической. Здесь насчитывается 13 крупных осадочных бассейнов, но только половина из них изучена глубоким бурением. Полярная область на макушке северного полушария большую часть года покрыта льдами, поэтому добраться до поверхности дна и тем более проникнуть вглубь — непросто. Активное освоение арктических вод совпадает с началом поисков месторождений нефти и газа. Например, шельф США, Канады, Норвегии и Гренландии в последние десятилетия обзавелся многочисленными скважинами.

→ с. 64

В Российской Арктике геолого-геофизические исследования ранее были в основном сконцентрированы в Баренцевом море и южной части Карского моря. Но с 2014 года «Роснефть» начала последовательно двигаться на восток, проводя интенсивные геологоразведочные работы и в акваториях Восточной Арктики. В 2020-м были организованы уникальные экспедиционные работы на севере Карского моря, во время которых впервые в регионе были пробурены стратиграфические скважины. В 2021-м программа стратиграфического бурения «Роснефти» была успешно продолжена в море Лаптевых, а в будущем Компания планирует пробурить скважины в Чукотском и Восточно-Сибирском морях. Причины движения на восток предельно ясны — до недавнего времени на четырех акваториях этих арктических морей, общая площадь которых соразмерна четырем Франциям, не было ни одной скважины. А без образцов керна скважин, свидетельств глубинного строения недр, невозможно уверенно судить о возрасте и составе пород осадочных бассейнов арктического региона.

→ с. 15

Скважины на шельфе и прилегающей суше Арктики



# Морское бурение

## Поисковое бурение

Поиск углеводородов в недрах начинается с геолого-геофизических исследований (прежде всего — сейсморазведочных работ), необходимых для последующего проведения поискового бурения. Задачи поисково-оценочных скважин — первично оценить наличие нефти и газа в целевых слоях (геологических горизонтах) и определить свойства вмещающей породы. Морское бурение ведется с буровых платформ и требует больших усилий. Поисково-оценочные скважины довольно глубокие, они прорезают толщу пород на 2–4 и более км.

Если при поисково-оценочном бурении найдены признаки нефти и газа и объем их значителен, можно говорить об открытии месторождения. Но прежде чем перейти от анализа геолого-геофизической информации к бурению поисковых и далее к разведочным скважинам, которые локализуют залежи и позволят оценить объемы углеводородов в недрах для таких труднодоступных регионов как Восточная Арктика необходим этап стратиграфического бурения.

## Стратиграфическое бурение

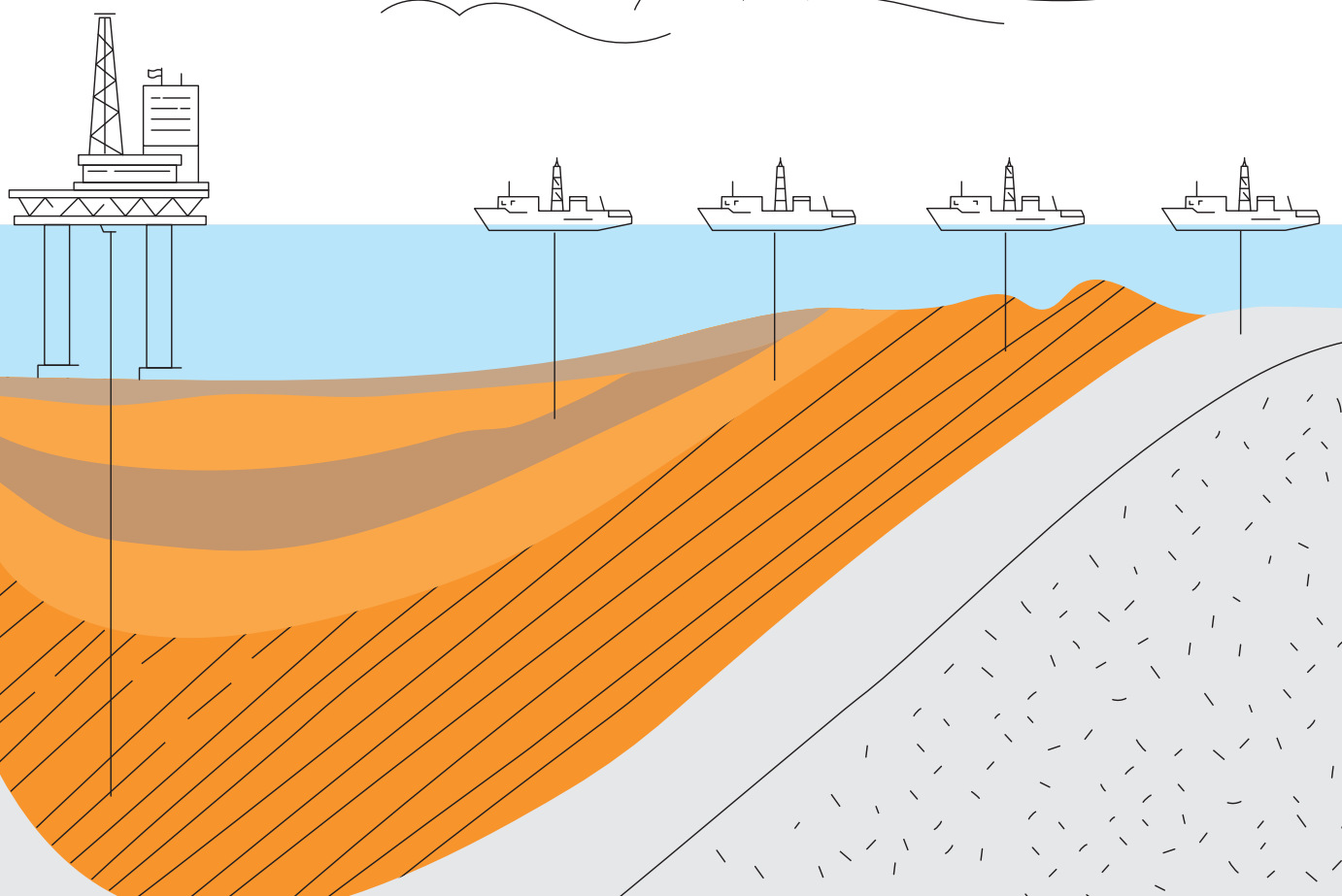
Задача кроется в самом термине «стратиграфия», то есть нужно определить возраст геологических слоев. Бурение должно не вскрыть залежи нефти или газа, а уточнить региональное геологическое строение акватории. Цель — получить керн из геологических горизонтов путем бурения малоуглубленных скважин, информацию по которому в дальнейшем можно распространить на весь осадочный бассейн региона.

→ с. 37

Положение стратиграфических скважин выбирается по данным сейсморазведки — в наиболее благоприятных для доступа к целевым геологическим горизонтам точках.

→ с. 65

Два типа бурения — поисково-оценочного (с платформы) и стратиграфического (с судна)



# Геологическая модель

При изучении морских осадочных бассейнов геологи и геофизики строят цифровую модель — двухмерную и трехмерную визуализацию строения земли. Она отражает возраст, глубину и геометрию залегания слоев, прогноз состава слагающих их горных пород, детализирует историю развития региона.

Геологическая модель показывает:

- растягивались или сжимались геологические слои земной коры, нарушались ли они разломами в изучаемой области;
- где и сколько накопилось осадков, какого они состава;
- выходили ли комплексы осадочных пород на поверхность в геологическом прошлом.

Из построенной модели ученые узнают, где земная кора относится к континентальному типу, а где к океаническому, какие геологические процессы происходили здесь на протяжении многих десятков и сотен миллионов лет и где могут быть выделены области, перспективные для поиска полезных ископаемых.

Геологические модели в Арктике опираются на материалы морских геофизических исследований и анализы образцов горных пород с прилегающей суши. Но чтобы модель была достоверной, нужно связать разрезы и схемы, полученные в результате интерпретации данных геофизических исследований с фактическими образцами горных пород. В этом и помогает стратиграфическое бурение. Десятки метров керна, образцы которого получают из скважин, позволяют провести детальные лабораторные анализы, увязать их с результатами интерпретации геофизических данных и понять, как бассейн развивался на протяжении геологического времени.

Образец керна из недр



# Перед бурением

→ с. 65

Прежде чем бурить скважину, нужно наметить контуры геологических пластов под поверхностью дна. Исследователи начинают с «УЗИ» земной коры — сейсмической разведки. Для нее достаточно двух элементов — возбудителя сигнала и сейсмокоды. Первый запускает упругие колебания в земной коре, второй регистрирует их распространение.

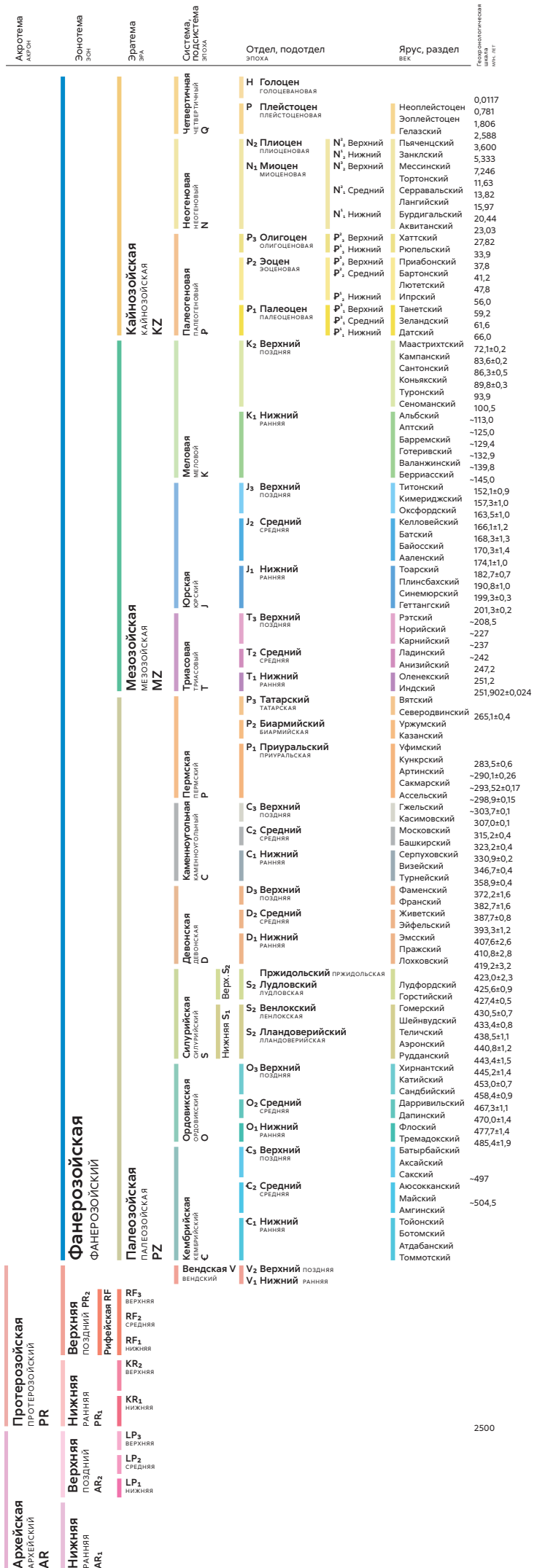
Источником сигнала в морских исследованиях обычно выступает пневмопушка, которая стреляет в воду сжатым воздухом. Геологическая среда неоднородна, поэтому скорость распространения упругих волн будет зависеть от физических свойств пород. Результатом становится скоростной разрез — «слоеный торт», где каждый корж — горизонт со своим набором физических свойств.

Сейсморазведка показывает геометрию залегания и упругие свойства слоев, но узнать их возраст из этих черно-белых или цветных разрезов нельзя. Параллельно с сейсморазведкой проводится работа «в поле». Геологов забрасывают на острова на судах и вертолетах, где они откалывают образцы камней из естественных скальных выходов горных пород на поверхность. По сравнению взаимоотношения слоев с различными физическими свойствами на суше и акватории делают предположения об их соответствии. Образцы отвозят в лаборатории и изучают их состав и возраст. Теперь же ученым предстоит сопоставить эти два типа данных.

## Геохронологическая шкала

Геологическую историю Земли в науке принято иллюстрировать шкалой, именуемой геохронологической. Этот своеобразный календарь состоит из интервалов, длящихся миллионы и даже миллиарды лет. Цветами на нем изображены эры и периоды, на границах которых происходили важнейшие геологические события в истории Земли. Чем ниже по шкале, тем дальше от современности отстоит событие.

Каждому интервалу геологического времени свойственна своя уникальная биота. Например, 4 млрд лет назад Землю населяли простые формы жизни — доядерные организмы или прокариоты. Условия постоянно менялись, и в процессе биологической эволюции на Земле обитали древние членистоногие, рыбы, подводные и наземные растения, динозавры, птицы, млекопитающие и многие другие существа. Геологи и палеонтологи продолжают поиск новых данных, чтобы подобрать ключи к пониманию сложной и увлекательной истории жизни на нашей планете.





# Выбор точки бурения

Места для стратиграфического бурения намечаются по результатам комплексного анализа данных геофизической разведки. Правда, здесь уже привлекают «подробное УЗИ» — высокочастотную сейсморазведку со специального судна. Она помогает внимательно разглядеть строение толщ под морским дном и найти участки, которые непосредственно пройдет буровая колонна.

В море Лаптевых в 2021 году геофизическое судно «Керн» работало к северу от острова Новая Сибирь, подготавливая места будущих скважин для бурового судна «Бавенит» и передавая необходимые данные в интерактивном режиме. → с. 44

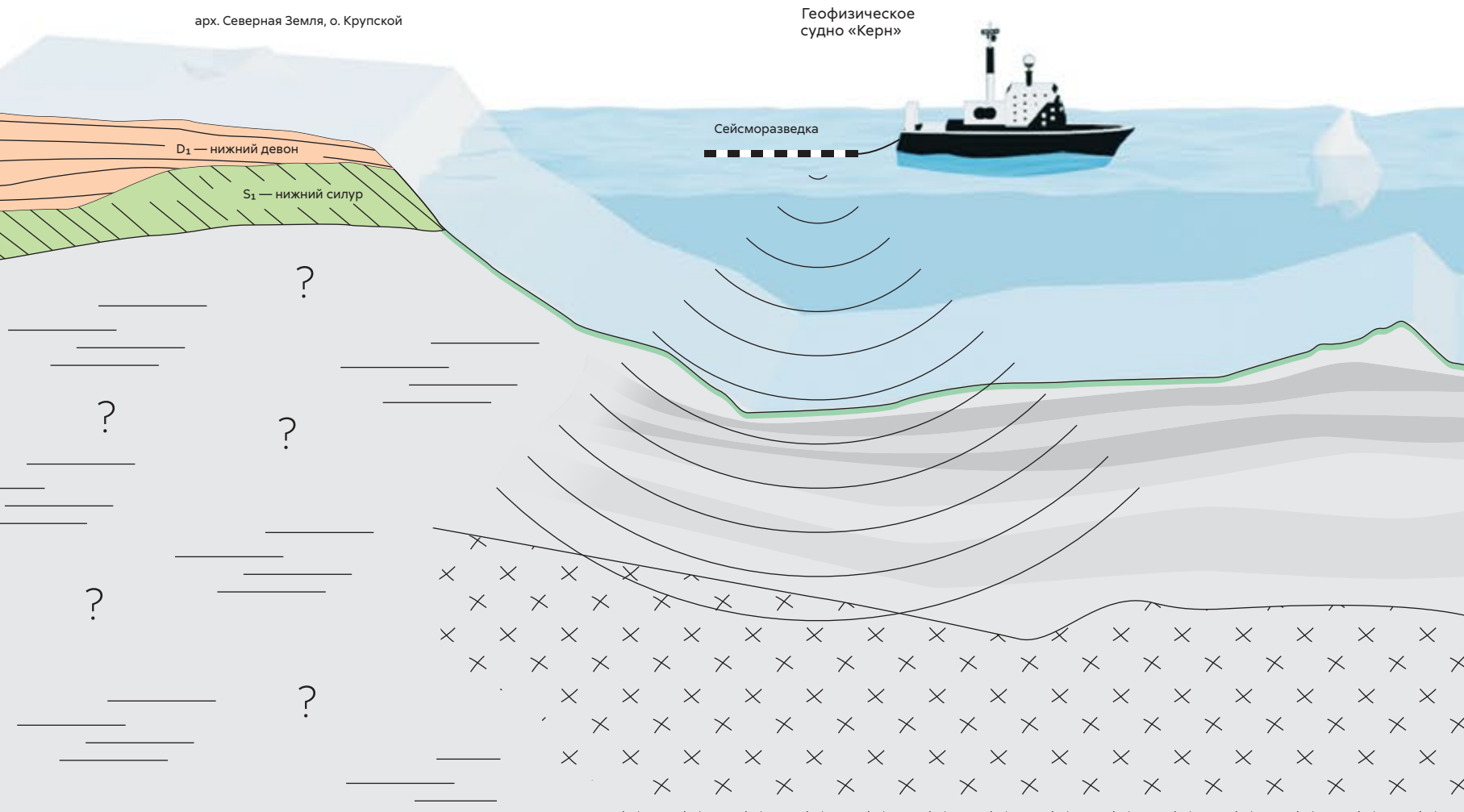
→ с. 154

Геологи ищут места, где слои выходят на дно или срезаются приповерхностным несогласием. Такая удачная ситуация сложилась в северной части Карского моря. Здесь плейстоценовый ледник срезал осадки на дне, поэтому древние слои выходят прямо на поверхность морского дна. В бассейнах с мощным чехлом осадочных отложений, например в море Лаптевых, геологи ищут поднятия фундамента, на которых в первых сотнях метров собрано множество слоев разновозрастных пород. При выборе точек стратиграфического бурения стоит задача охватить максимально широкий временной интервал — от самых молодых до самых древних пород. Но минимального числа слоев, которые надо вскрыть, нет, так как в Арктике возраст бассейнов сильно различается.





Буровая установка на судне «Бавенит»



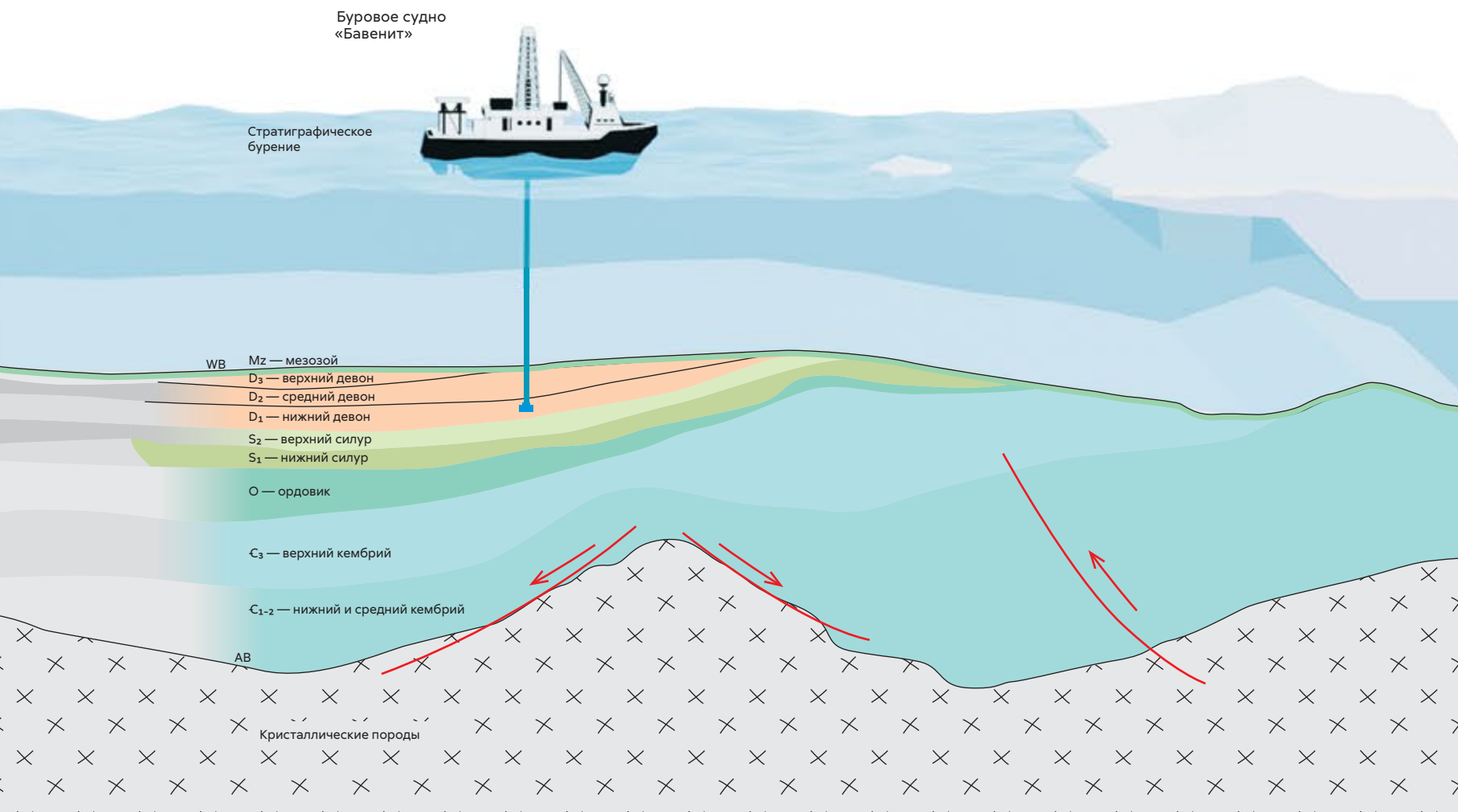




# Бурение

Когда точки намечены, задачи экспедиции предельно ясны: пробурить скважины, получить керн и доставить эти свидетельства строения недр на материк. Но бурение в арктической зоне — долгий и технологически сложный процесс, в который регулярно и довольно серьезно вмешивается погода.

Этап мобилизации, когда судно сначала готовится к выходу и стоит под погрузкой оборудования, а затем идет к точке работ, длится от пары дней до нескольких недель. Во время перехода путь ему могут преграждать айсберги и ледовые поля. Когда начинается рабочий процесс, его серьезно осложняет череда штормов и обледенений. Штормовая качка подбрасывает один борт судна относительно другого на несколько метров. В этих условиях только синхронная работа экипажа корабля поможет осуществить задуманное. Например, во время экспедиции по стратиграфическому бурению в Карском море шторм препятствовал работам не менее 9 суток из 48, а в море Лаптевых — 10 дней из 52.





Извлечение керна



Экспресс-анализ керна стратиграфической скважины на борту судна «Бавенит»



Упаковка керна

# Первичный анализ керна

По завершении экспедиционной части на руках у исследователей оказались сотни метров керна минимальным диаметром 70 мм. Керна, полученный в Северо-Карском осадочном бассейне, уникален — до экспедиции 2020 года никто не проводил здесь бурения.

На первостепенный вопрос о геологическом возрасте горных пород отвечают с помощью изучения остатков древних организмов внутри проб. При исследовании керна можно встретить различные виды остатков древних рыб и двустворчатых моллюсков — они обитали в узком временном интервале, поэтому с высокой точностью указывают к какому периоду геохронологической шкалы можно отнести возраст этих пород. А если морские отложения переслаиваются с континентальными, то вместо рыб можно обратиться к спорам и пыльце растений. Пыльцу и споры далеко разносит ветер, и они хорошо сохраняются в ископаемом состоянии.

Определив возраст пород, геологи начинают совмещать найденные в керне возрастные реперы с отражающими горизонтами на сейсмических разрезах. Затем они увязывают между собой материал из скважин с результатами исследования образцов пород с прилегающих островов и сухопутного обрамления акватории. Возраст из керна экстраполируют на всю территорию осадочного бассейна, сейсмические разрезы обретают стратиграфический цвет. Перед глазами исследователей возникает цельная картина, достоверная геологическая модель региона.

Команда «Росгеологии» оперативно описывала и фотографировала весь выбуренный керн прямо на борту судна «Бавенит» и сразу же передавала данные по спутниковой связи проектной группе специалистов «Роснефти», которая обновляла геологическую модель бассейна в реальном времени. Уже по описанию и фотографиям керна с судна «Бавенит» были получены первые данные о фаунистических находках в керне — остатках древних панцирных рыб и раковин двустворчатых моллюсков. Затем весь керн был герметично упакован, поскольку в атмосферных условиях некоторые породы с преобладанием глинистого цемента подвержены усыханию и растрескиванию.

Аналогичные работы проводятся и для моря Лаптевых. Исследователи уже получили возраст верхних метров керна скважин. Он оказался плейстоценовым — из эпохи, начавшейся 2,58 млн лет назад и длившейся до 11,7 тыс. лет назад. Дальнейшие лабораторные исследования и работы по стратиграфической привязке комплекса данных помогут определить истинный возраст пород в малоизученном Восточно-Арктическом регионе.



Фаунистическая находка в керне на судне «Бавенит»: остатки раковины моллюска



Исследования образцов каменного материала в лаборатории «Иннопрактики»

## Керн в лаборатории

Образцы пород из Северо-Карского бассейна были переданы в компанию «Иннопрактика» и на Геологический факультет МГУ имени М. В. Ломоносова.

Уже при первичном описании керна ученые отметили разнообразие его литологического состава и текстурно-структурных особенностей. Были вскрыты и карбонатные (доломит и доломитизированный известняк), и терригенные породы (песчаник, алевролит, аргиллит). В целом литолого-седиментологические наблюдения подтверждают представления о преимущественно мелководно-морских условиях осадконакопления на протяжении большей части истории Северо-Карского бассейна, выдвинутые ранее исследователями региона.

Наиболее важный вид лабораторных исследований — это биостратиграфия, которая определяет возраст пород. В ходе камеральных работ в разрезах скважин встречены и охарактеризованы фаунистические остатки — древние рыбы разных размеров и форм, остатки других вымерших животных, а также палиноморфы — извлеченные из пород споры, пыльца и фрагменты оболочек древних растительных организмов.

Мезозойские отложения определены в верхних частях разрезов скважин. Этот возраст подтверждают двустворчатые моллюски, белемниты и споры. Ученые определили вид двустворок и белемнитов, что позволило спрогнозировать более точный геологический возраст пород.

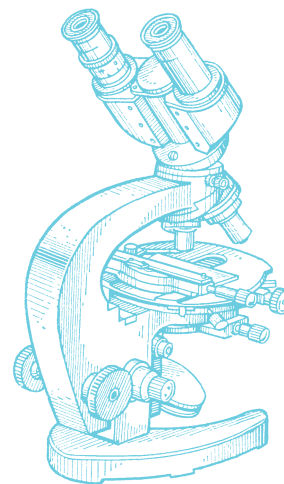
Что касается палеозойской части осадочного чехла, то в ней встречены фаунистические остатки и акритархи — древние микроскопические остатки одноклеточных организмов, разновидность палиноморф. В скважине SSD 31, вскрывшей песчаники верхнего палеозойского комплекса, обнаружены остатки панцирных рыб-плакодерм, существовавших в силурийском и девонском периодах. Представитель их рода, определенный в процессе исследований, был распространен в среднем и позднем девоне, а расцвет этой группы пришелся на еще более узкий интервал геологического времени. По данным палинологии, возраст отложений датируется франским веком позднего девона.

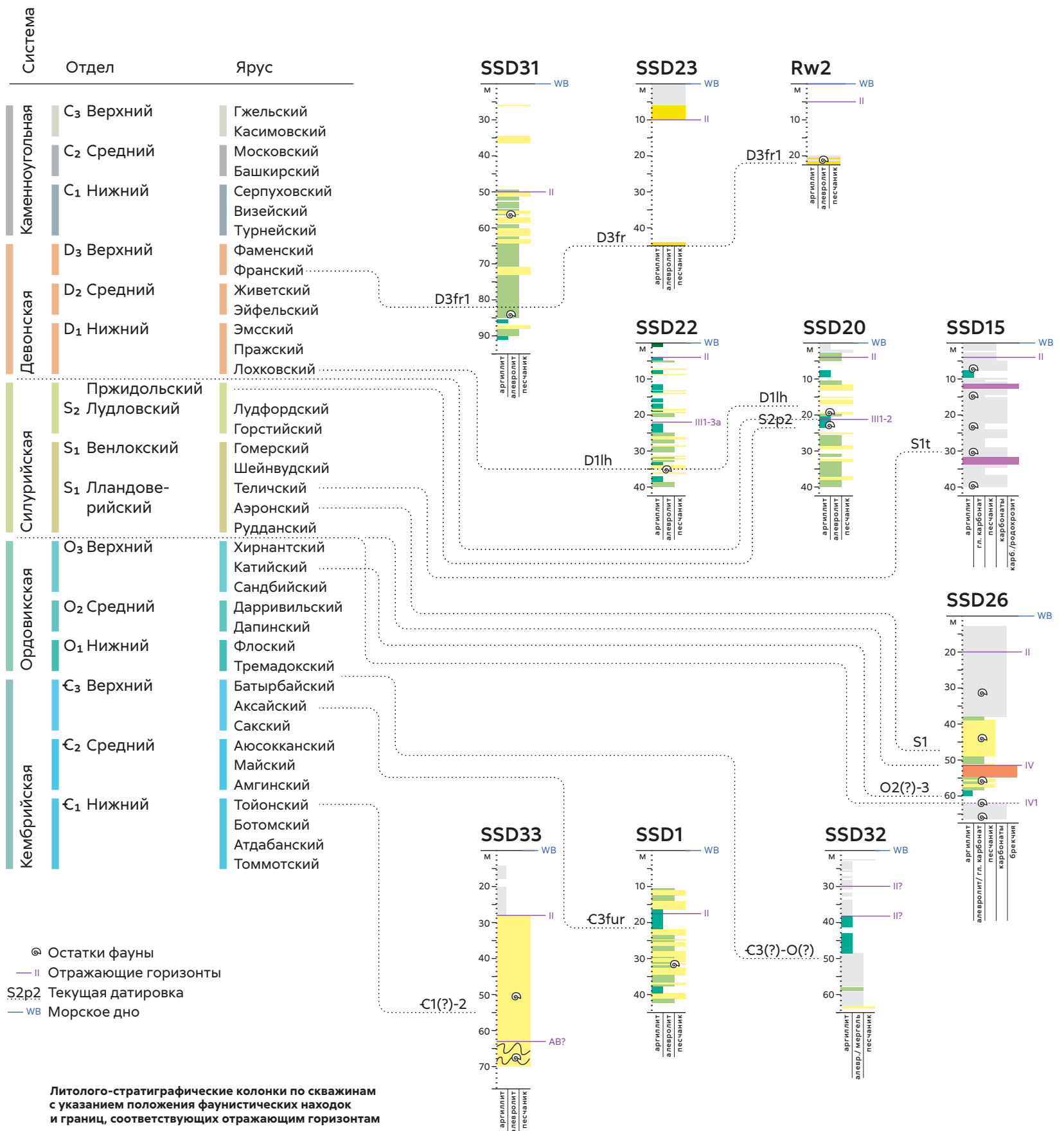
Ниже по разрезу, в скважине SSD 22, в алевролитах встречены фрагменты костного шипа другой древней рыбы и отпечаток раковины остракоды — ракушечного ракообразного, характерных для раннедевонского времени. В соседней скважине SSD 20 в нижележащем комплексе найдены отпечатки костных пластин рыб, а также обломки раковин, датированные силуром — ранним девонем.

В скважинах SSD 15 и SSD 26, вскрывших один и тот же комплекс, расположенный еще ниже в разрезе бассейна, встречены карбонатные отложения. Это доломиты и доломитизированные известняки с силурийскими конодонтами (зубовидные остатки древних хордовых) и обломками колониальных кораллов, существовавших в период от раннего силура до раннего девона. Кроме того, скважина SSD 26 вскрыла еще более древний комплекс пород. В карбонатных отложениях этого комплекса установлены обломки колониальных кораллов-табулят, широко распространенных в силурийско-раннедевонское время, а также ордовикско-раннесилурийские конодонты.

В терригенных разрезах скважин SSD 1 и SSD 32, вскрывших еще более древние осадочные отложения, были встречены комплексы акритарх, что позволяет предполагать кембрийский возраст вскрытых пород.

Выполненный комплекс биостратиграфических исследований однозначно установил датировки перспективных осадочных комплексов Северо-Карского бассейна и устранил массу неопределенностей в истории его геологического развития. Также в ходе исследований получены данные о качестве пород-коллекторов, флюидоупоров и степени зрелости нефтегазоматеринских пород.





**Литолого-стратиграфические колонки по скважинам с указанием положения фаунистических находок и границ, соответствующих отражающим горизонтам**

Н. А. Малышев, В. Е. Вержбицкий, М. В. Скарятин, М. Д. Балагуров, Д. В. Илюшин, А. А. Колюбакин, О. А. Губарева, Ю. А. Гатовский, Р. В. Лукашев, А. В. Ступакова, А. А. Суслова, В. В. Обметко, Д. К. Комиссаров. Стратиграфическое бурение на севере Карского моря: первый опыт реализации проекта и предварительные результаты // Геология и геофизика, 2022

# Актуальная геологическая модель

Стратиграфическому бурению в Северо-Карском осадочном бассейне предшествовали исследования, выполненные силами «Роснефти» и других организаций. Геологическую модель региона строили с использованием 52 тысяч погонных километров сейсмических профилей МОГТ 2D и других геолого-геофизических данных: материалов аэрогравимагниторазведочной съемки в объеме 70 тысяч погонных километров и двух геологических экспедиций, организованных «Роснефтью» в 2013 и 2019 годах на архипелаге Северная Земля.

С помощью бурения геологическую модель удалось значительно уточнить: ученые получили важнейшую информацию о возрасте и составе пород, их способности генерировать, проводить и удерживать нефть и газ.

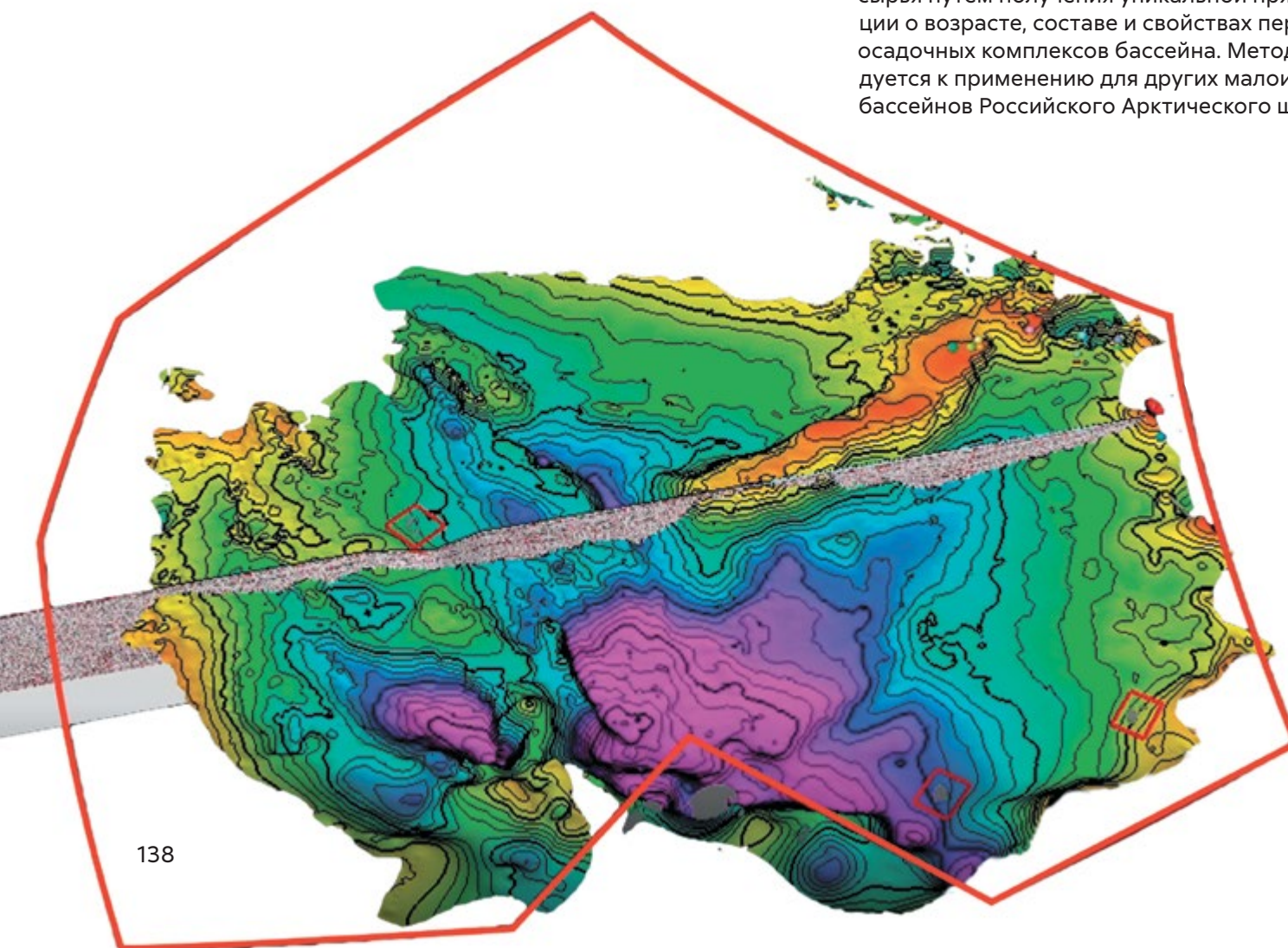
Новые данные о возрасте и составе осадочных пород тесно связаны с решением фундаментальных задач для всего Арктического региона. Они позволяют более точно и однозначно выделить ключевые

геологические границы в осадочном чехле шельфа Северо-Карского бассейна, восстановить историю осадконакопления в регионе, движения литосферных плит и изменения климата в палеозое и мезозое.

Важнейший прикладной смысл определения возраста и состава пород заключается в построении трехмерных цифровых моделей, в которых отражена конфигурация залегания слоев горных пород в недрах бассейна, их состав и история формирования залежей нефти и газа.

Результаты исследований ископаемых организмов в керне скважин подтвердили палеозойскую модель основной части осадочного разреза Северо-Карского бассейна, получены датировки, начиная с позднего кембрия. В целом, намечается тенденция удревления возрастов отдельных комплексов горных пород по сравнению с моделью, принятой до бурения в качестве базовой.

Стратиграфическое бурение существенно снижает геологические риски при поисках углеводородного сырья путем получения уникальной прямой информации о возрасте, составе и свойствах перспективных осадочных комплексов бассейна. Методика рекомендуется к применению для других малоизученных бассейнов Российского Арктического шельфа.



Комплексная программа бурения, реализуемая «Роснефтью» в Карском море, подтвердила высокий потенциал новой нефтегазовой провинции, сопоставимый по объемам ресурсов с Мексиканским заливом, арктическим шельфом Аляски и Канады, крупнейшими провинциями Ближнего Востока.

Старт проекта был дан в 2012 году с проведения сейсморазведочных работ 2D и 3D. В ходе дальнейших работ (поискового бурения) на лицензионном участке «Восточно-Приновоземельский-1» в 2014 году было открыто одно из крупнейших в мире месторождений — «Победа». Тесты подтвердили высокое качество карской нефти: сверхлегкая, превосходящая по ключевым показателям (плотность и содержание серы) эталонные сорта *Brent*, *Siberian Light*, *WTI*.

В 2020 году на участках «Восточно-Приновоземельский-1» и «Восточно-Приновоземельский-2» открыты уникальные газовые месторождения, названные именами Маршала Жукова и Маршала Рокоссовского.


Суммарный объем извлекаемых запасов трех открытий «Роснефти» составляет более 1,7 трлн м<sup>3</sup> газа и 180 млн тонн нефти и конденсата. Всего на трех Восточно-Приновоземельских лицензионных участках Карского моря обнаружено более 30 перспективных структур. ↻



An aerial photograph of a vast, turbulent ocean. The water is a deep, vibrant blue, with numerous white-capped waves breaking across the surface. The perspective is from a high angle, looking down at the sea. The sky is a pale, clear blue, meeting the horizon line. The overall mood is one of natural power and movement.

гидромете





# Анализ метеорологических данных

# От точечных измерений — к пространственным данным

Изучение любого региона подразумевает как можно более подробное и систематическое изучение его климата. Вдвойне это важно для Арктики — снежный покров, ледники и морские льды играют значительную роль в динамике земной климатической системы.

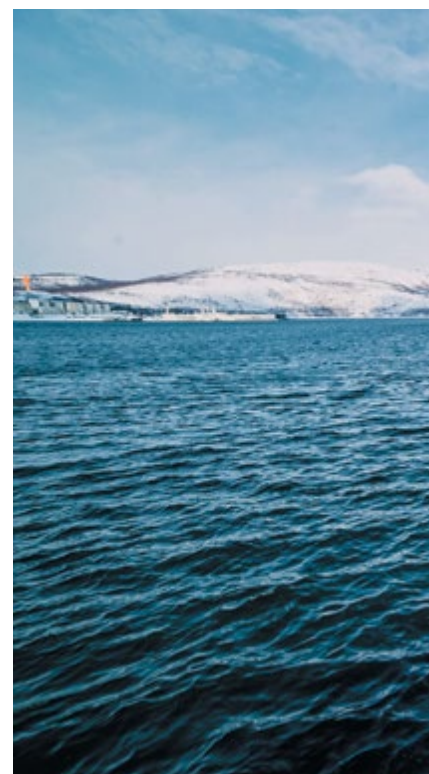
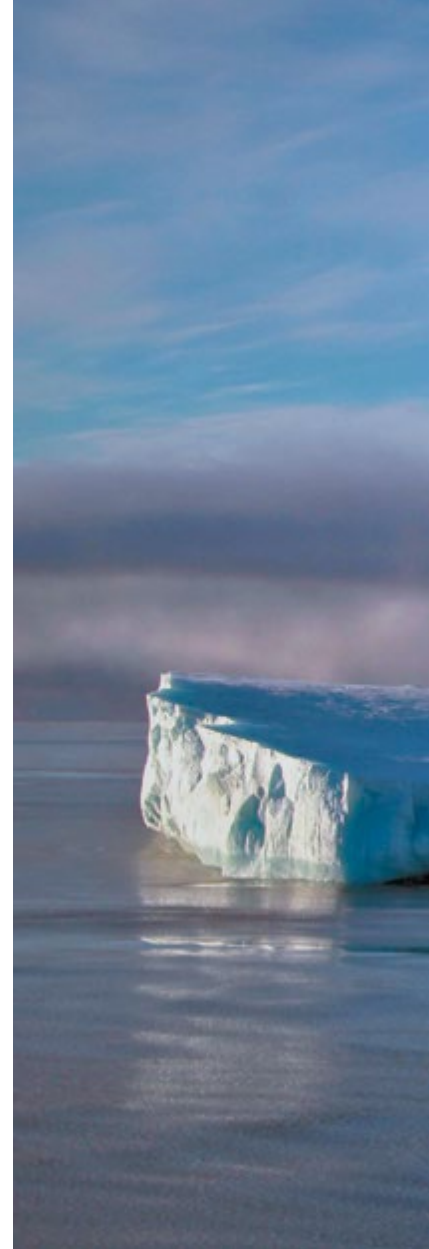
Глобальное потепление, например, прежде всего отражается на температуре в высоких широтах Северного полушария — с 1880 до 2015 года глобальная приземная температура в Арктике выросла на 2,5 °С, что почти втрое больше, чем в среднем по планете.

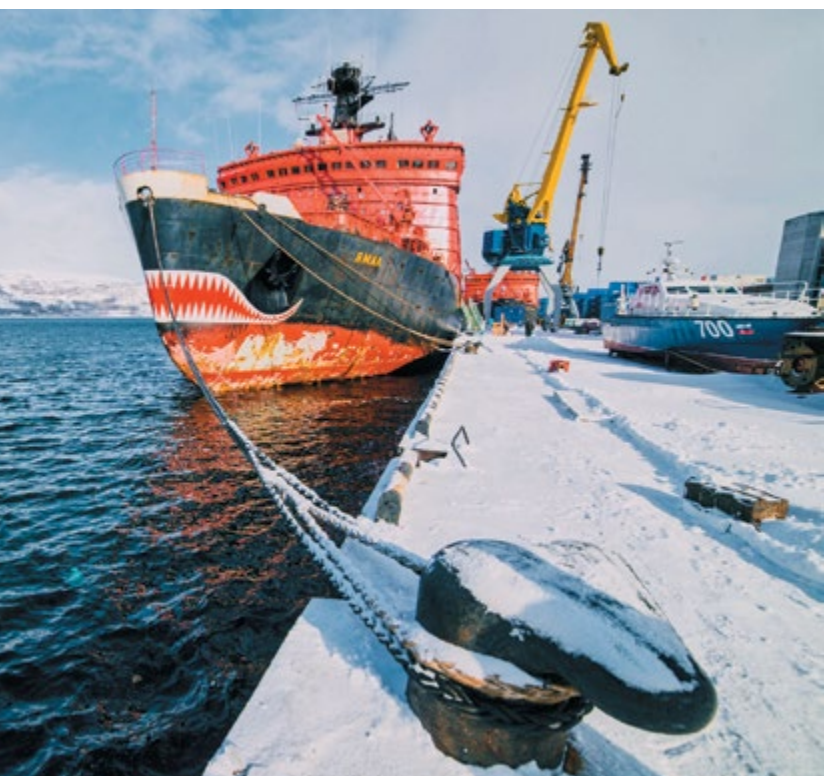
Разработана и утверждена Стратегия развития Арктической зоны Российской Федерации и обеспечения национальной безопасности на период до 2035 г.

В Арктике живут люди, находятся крупные предприятия и порты, развиваются шельфовые проекты и судоходство по Северному морскому пути. Знания о динамике гидрометеорологических процессов необходимы для безопасного функционирования промышленности и комфортной жизни людей.

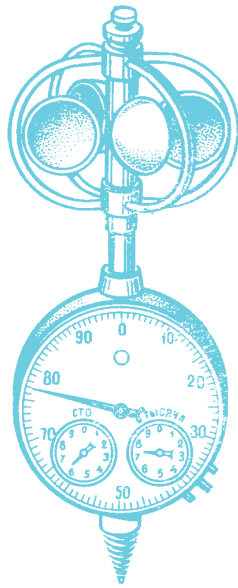
→ с. 72 Достоверные гидрометеорологические данные позволяют:

- определить характеристики гидрометеорологических условий на акватории: скорость и направление течений, высоту волны, уровень моря, приливы и отливы, толщину льда, температуру и соленость воды, скорость и направление ветра и так далее;
- оценить характеристики экстремальных событий: цунами, сильных штормов, максимальная высота волн, скорость ветра во время сильных штормов, толщина льда и скорость дрейфа ледяных образований;
- уточнить период и частоту их возникновения;
- изучить сценарии их развития;
- оценить возможные риски при проведении морских операций и освоении шельфа, связанные с возникновением экстремальных событий или с последствиями изменений климата;
- разработать меры по предупреждению рисков.





# Точечные наблюдения



→ с. 54  
→ с. 72

Наблюдения — необходимый и самый достоверный инструмент любого исследования. В арктических экспедициях разных лет проводились многочисленные наблюдения за климатическими параметрами: летом — в свободных ото льда районах, зимой — с дрейфующих станций собирались данные по метеорологии, океанологии, физике и динамике льдов, биологии моря.

Главный их недостаток — точечные данные разрознены и представляют собой, по сути, единичные измерения. Их мало. Более того, количество доступных материалов сокращается по мере продвижения на восток: Баренцево и Белое моря изучены значительно лучше, чем моря Лаптевых, Восточно-Сибирского и Чукотское.

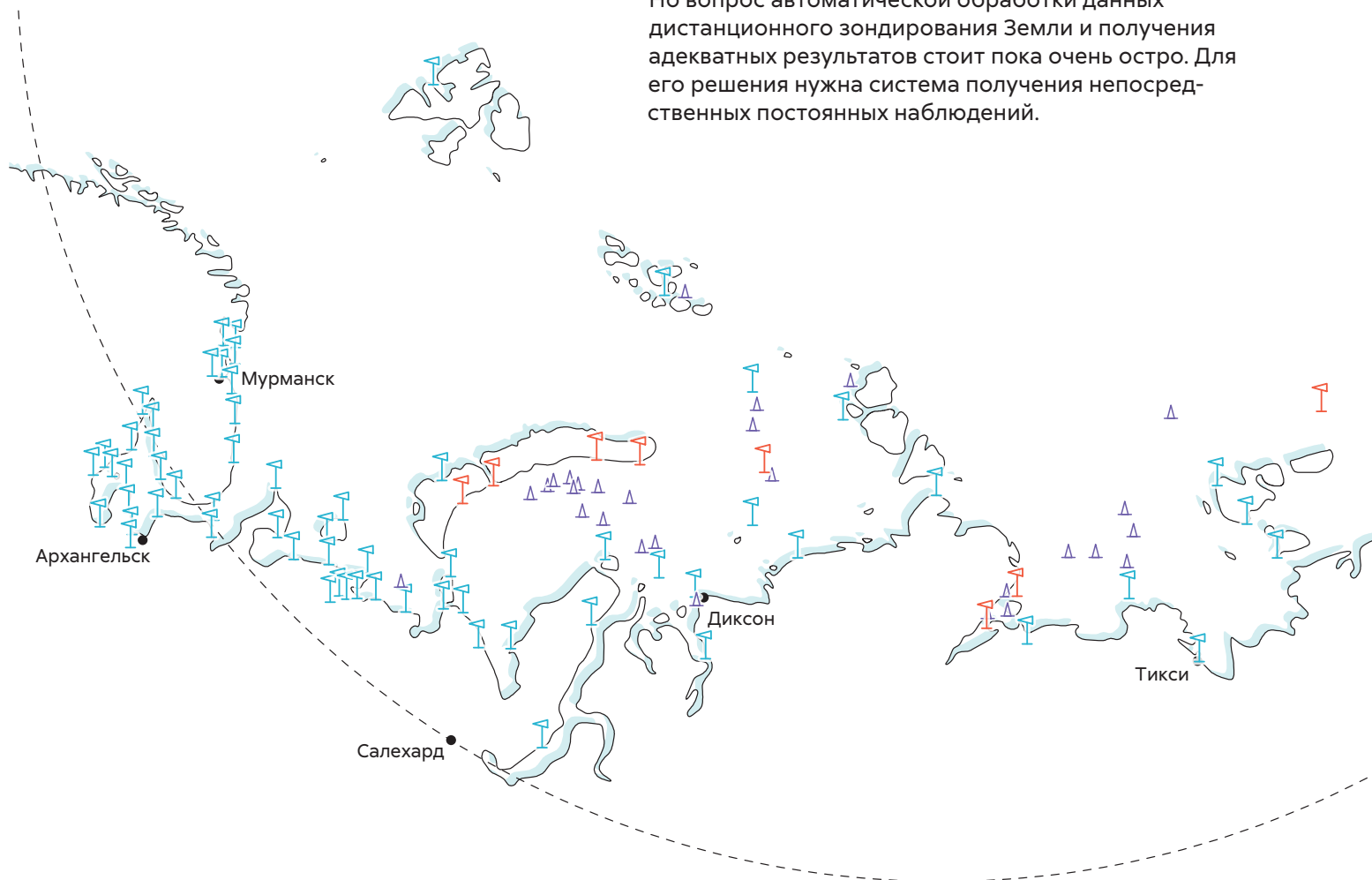
Но даже эти отдельные измерения, например последовательные данные гидрологических зондирований на вековых разрезах, дают возможность оценить изменения климатических условий в отдельных районах Арктики. Бесценны материалы ледовых авиаразведок 1960–1980-х годов, данные спутниковой съемки, проводившейся с 1990-х годов для оценки распределения различных видов льда.

Но вопрос автоматической обработки данных дистанционного зондирования Земли и получения адекватных результатов стоит пока очень остро. Для его решения нужна система получения непосредственных постоянных наблюдений.

Сеть гидрометеорологических станций в российском секторе Арктики

- Станции «Росгидромета»
- АМС «Роснефти»
- ПАБС «Роснефти»

АНАЛИЗ ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИХ ДАННЫХ



# Шаги к систематизации

В России развернута сеть береговых и островных гидрометеорологических станций в составе Федеральной службы по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды. Период непрерывных наблюдений на некоторых станциях составляет десятки лет. Но, к сожалению, в арктическом регионе таких станций мало, и они регистрируют ограниченный набор параметров.

На всех станциях восемь раз в сутки проводится стандартный комплекс метеорологических наблюдений: атмосферное давление, температура и влажность воздуха, скорость и направление ветра, сумма осадков, атмосферные явления.

Наблюдения за гидрологическими параметрами проводятся на значительно меньшем количестве станций. Обычно это визуальные наблюдения за поверхностным волнением и ледовыми явлениями, реже — измерения уровня моря и температуры воды в поверхностном слое раз в сутки.

→ с. 28 В морях Восточной Арктики такие наблюдения вообще не ведутся. Если все же уровень моря измеряется, например, в морях Баренцевом и Карском, то это происходит в лучшем случае четыре раза в сутки, ежечасные наблюдения — исключительная редкость. Они проводятся в больших портах, часто при поддержке производственных компаний. Инструментальных наблюдений за параметрами поверхностного волнения, скоростью и направлением течений Росгидромет не ведет.



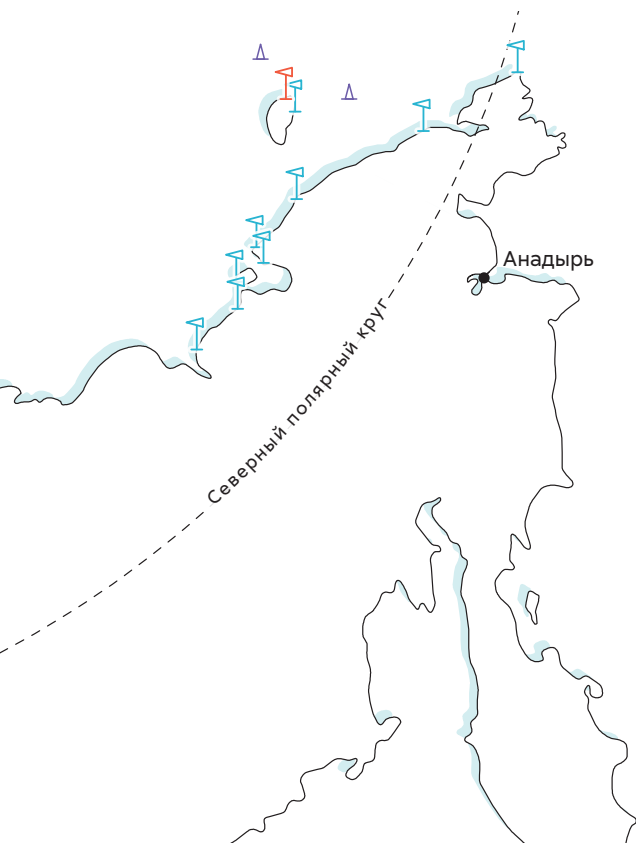
Автоматическая метеостанция, огражденная сеткой для защиты от медведей

Поскольку станции наблюдательной сети Росгидромета расположены преимущественно на материковом побережье, имеющиеся данные не отражают условий в открытом море. Систематических наблюдений за гидрометеорологическими параметрами в открытых частях арктических морей, где большую часть года наблюдается ледовый покров, нет.

Поэтому с 2012 года «Роснефть» начала проводить комплексные исследования гидрометеорологических условий в морях Российской Арктики. Исследования включали масштабные экспедиционные работы, большой объем камеральной обработки и математическое моделирование.

**Оперативные расчетные характеристики гидрометеорологического режима** описывают нормальные или фоновые условия, в которых сооружение будет находиться и функционировать.

**Экстремальные** — описывают условия, в которых сооружение должно выживать и не терять своих функциональных качеств.



# Сбор данных

Основная цель экспедиционных работ — сбор информации о параметрах гидрометеорологического режима. Для получения регулярных круглогодичных данных была развернута наблюдательная инфраструктура (ПАБС, АМС, база Хастыр), также проводились сезонные наблюдения в точках (сезонные ПАБС, ледовые полигоны) и отдельные измерения (гидрологическое зондирование, регистрация траекторий дрейфа ледовых образований). В зимних условиях изучали свойства ровного и деформированного льда, наблюдали за скоростями их дрейфа. После каждой экспедиции собранные данные обобщались, и таким образом к настоящему моменту собран большой массив систематизированных данных о параметрах гидрометеорологического режима морей Российской Арктики. В некоторых точках имеются 3–6 лет регулярных наблюдений.

Основная задача обработки данных состоит в том, чтобы получить статистические характеристики и определить пределы изменчивости параметров. То есть понять, каковы средние (нормальные) значения, какие бывают минимумы и максимумы и какие события влияют на изменение параметров.

→ с. 54 Когда наблюдения охватывают несколько лет, можно оценить внутригодовую или межгодовую изменчивость. Сейчас, в эпоху глобальных изменений климата,

это особенно заметно. Например, в данных наблюдений на автоматических буйковых станциях явно виден положительный тренд в температуре воды, видна изменчивость в характеристиках волнений. → с. 66

Раньше в конце октября Карское море покрывалось льдом и ветровое волнение уже не развивалось, а теперь лед может формироваться в середине или конце декабря, и максимальные высоты волн фиксируются в октябре или даже в конце ноября.

Но каким бы большим ни был этот архив, он все еще содержит наблюдения только в отдельных точках. А ученым нужно знать распределение характеристик гидрометеорологического режима на некоторой акватории — поля гидрометеорологических величин.

Более того, по действующим нормативным документам надежные расчетные характеристики гидрометеорологического режима определяются только на основании рядов данных продолжительностью от 30 лет. Рекомендуется даже использовать ряды за 50 лет, а таких наблюдений в Арктике нет ни у кого. → с. 27

Сводный объем выполненных исследований по ключевым направлениям

Параметр	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	Всего
 Исследования ледяных полей	0	22	35	33	0	40	21	47	22	0	220
 Исследования торосов	0	35	49	35	0	24	0	0	2	0	145
 Исследования вмерзших айсбергов и стамух	0	2	4	5	0	17	0	0	3	0	31
 Скважины термобурения	0	1290	1836	1768	0	1803	0	0	50	0	6747
 Измерения физических свойств льда	0	50	100	141	0	160	63	141	66	0	721
 Измерения прочностных свойств льда	0	983	1346	2108	0	1293	141	297	147	0	6315
 Океанографическое зондирование	82	119	212	31	46	103	21	47	22	0	683
 Установка дрейфующих буев	4	50	125	100	24	116	0	0	0	0	419
 Автоматические метеостанции	2	3	6	7	8	8	6	6	3	1	50
 Притопленные буйковые станции	6	6	16	14	14	14	10	11	5	4	100
 Автоматические сейсмостанции	0	0	0	6	6	6	0	0	0	0	18
 Радиолокационная съемка ледников	0	0	673	407	622	0	0	0	0	0	1702
 Эксперименты по буксировке айсбергов	0	0	0	0	18	18	0	0	0	0	36

# Реанализ

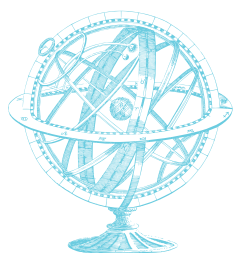
Современная гидрометеорология — это математика. При недостаточной продолжительности наблюдений ряды значений гидрометеорологических параметров могут быть получены в результате математического моделирования. Более того, матмоделирование — единственный способ получения пространственной гидрометеорологической информации. Под математической моделью метеорологических, гидрологических и ледовых процессов понимается система математических уравнений, отображающих эволюцию природных процессов и их взаимное влияние.

Конечно, модель не может воспроизвести природный процесс во всей его полноте, но в зависимости от степени абстракции воспроизводит отдельные его стороны с большей или меньшей точностью. Матмоделирование — одновременно и инструмент, и вершина всякого исследования. Формализация процесса подразумевает познание его природы и установление причинно-следственных связей как внутри процесса, так и с обуславливающими его факторами.

Единственная возможность оценить качество моделирования — сопоставить результаты моделирования с данными наблюдений.

Провести полное сравнение удастся далеко не всегда, так как данные наблюдений есть всего в нескольких точках расчетной акватории, а период наблюдений может не включать определенные события. Но хорошее соответствие расчетных и наблюдаемых значений в нескольких точках позволяет нам полагать, что и в остальной области процессы воспроизводятся адекватно.

В 2016–2018 годах Арктический научный центр совместно с Университетом ИТМО выполнили проект по созданию *реанализа* — цифрового архива полей гидрометеорологического режима за период с 1966 по 2017 год на акватории Северного Ледовитого океана и российских арктических морей. Было также разработано специализированное хранилище для быстрого доступа к данным.



Математическое моделирование проводилось с использованием комплекса взаимосвязанных гидродинамических моделей, которые воспроизводили основные гидрометеорологические характеристики Арктического бассейна. Для моделирования метеорологических процессов использовалась модель *WRF*, циркуляции водных масс — *NEMO*, ледовых характеристик — *LIM 3*, морского волнения — *WaveWatch III*. Результаты расчетов по моделям корректировались за счет применения ансамблевых методов и усвоения ретроспективных данных наблюдений. Для верификации результатов расчетов использовались данные наблюдений за метеорологическими параметрами на гидрометеорологических станциях региона и данные наблюдений за океанографическими параметрами на притопленных автономных буйковых станциях (ПАБС) и автоматических метеостанциях (АМС) в Карском, Лаптевых и Чукотском морях.

#### **WRF** (*Weather Research and Forecasting*).

Мезомасштабная численная система моделирования атмосферы, которая широко используется как в научных исследованиях, так и при подготовке оперативных численных прогнозов погоды.

#### **NEMO** (*Nucleus for European Modelling of the Ocean*).

Платформа, предназначенная для моделирования океана и его взаимодействия с другими компонентами климатической системы Земли в широком пространственно-временном диапазоне. NEMO применяется для моделирования в региональном и глобальном масштабе как при заданном атмосферном воздействии, так и совместно с моделью атмосферы. В состав платформы входят компоненты для моделирования гидро- и термодинамики океана и динамики и термодинамики ледового покрова.

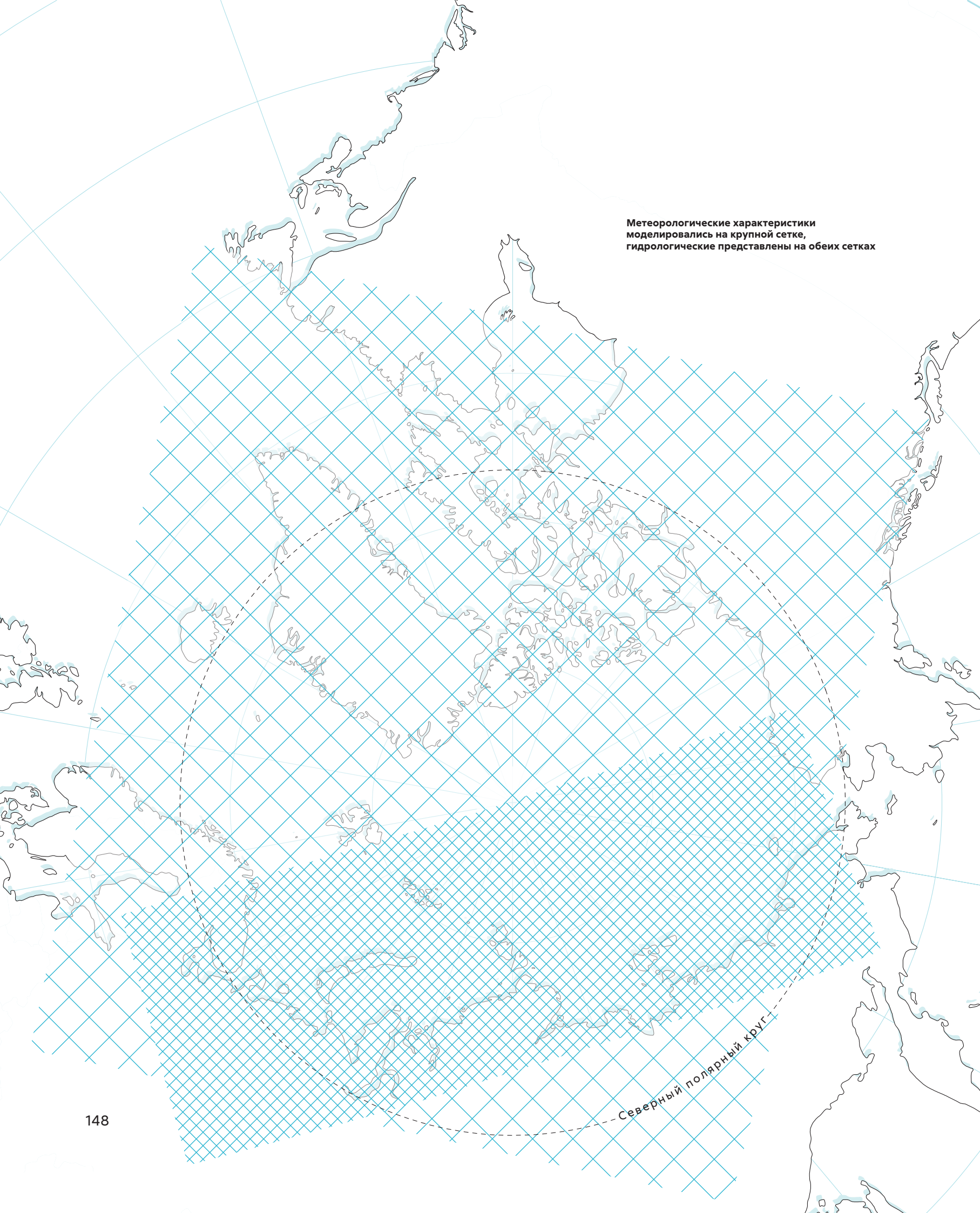
**WaveWatch**. Нелинейная нестационарная численная гидродинамическая модель для расчета волновых параметров. Учитывает наличие ледового покрова. Модель опробована на различных природных объектах и успешно используется для диагностических расчетов и прогноза волнения в Мировом океане и на локальных акваториях.

**Реанализ** — восстановление пространственно-временных полей гидрометеорологических элементов на некоторой сетке на основе математических моделей с использованием данных наблюдений.

**Результат реанализа** — архив полей гидрометеорологических параметров за длительный период, представленный на некоторой сетке.

Первые архивы, сформированные в соответствии с данной методологией, появились в конце прошлого века и содержали поля метеорологических величин. В последние годы появилось много архивов, которые содержат поля океанографических элементов (параметров поверхностного волнения, скоростей и направлений течений на горизонтах, температуры и солености на горизонтах, характеристик ледового покрова). Но качество архивов океанографических параметров (морские реанализы) оценить очень трудно, так как данных натурных наблюдений за основными элементами динамики моря очень мало.

Метеорологические характеристики  
моделировались на крупной сетке,  
гидрологические представлены на обеих сетках



Северный полярный круг



# Порядок реанализа

## Расчет по математическим моделям

Расчеты проводились в двух масштабах. Основная сетка 14 × 14 км охватывает Северный Ледовитый океан. Вторая сетка 5 × 5 км покрывает российские арктические моря.

Период моделирования — с 1966 по 2017 год.  
Дискретность полей — 1 час.

Метеорологические параметры и ветровое волнение моделировались на крупной сетке, гидрологические представлены на обеих сетках.

Метеорологические параметры в архиве:

- атмосферное давление;
- температура воздуха на высоте 2 м над поверхностью;
- скорость и направление ветра на высоте 10 м над поверхностью;
- суммы осадков.

Гидрологические параметры в архиве:

- высота, период и направление распространения ветровых волн;
- уровень моря;
- скорость и направление течений по горизонтам;
- температура и соленость воды по горизонтам;
- концентрация и толщина льда.

Одно из главных достоинств реанализа — возможность получения непрерывных по пространству и времени ретроспективных данных основных гидрометеорологических параметров. Поля такого архива позволяют исследовать формирование и развитие отдельных событий, сценарии изменения условий на всей акватории морей, что позволяет планировать работы, оценивать их реализуемость и так далее.

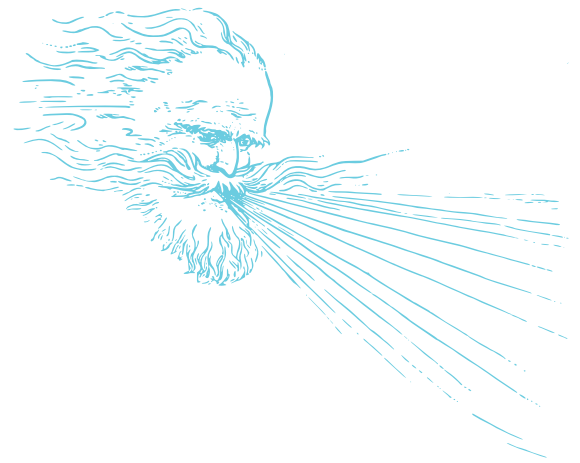
Это дает возможность использовать его не только для получения статистических оценок параметров и их распределения на акватории, но и для дальнейших расчетов — дрейфа айсбергов, транспорта наносов, распространения различных загрязняющих веществ и проверки эффективности методов их сбора.

## Качество расчетов

Когда речь идет о результатах математического моделирования, особое внимание необходимо уделять качеству воспроизведения природных условий в данном регионе.

Настройка моделей проводилась по данным наблюдений, собранным на ПАБС и АМС, установленным в морях Карском, Лаптевых и Чукотском за 2012–2017 годы.

Для настройки метеорологических моделей использовались материалы наблюдений на метеорологических станциях региона по всей Арктике. Для настройки гидродинамических моделей использовались доступные данные наблюдений, это в основном данные по уровню и, конечно, данные наблюдений, собранные в ходе экспедиционных работ с 2012 по 2017 год.





## Научные данные для производственных задач

Благодаря таким обширным архивам появляется возможность получить характеристики гидрометеорологических условий для очень большой акватории, изучить их изменчивость по пространству и построить карты. Это дает важную информацию для решения многих практических задач при обеспечении навигации по Северному морскому пути, планировании морских операций, изучении и освоении арктических морей.

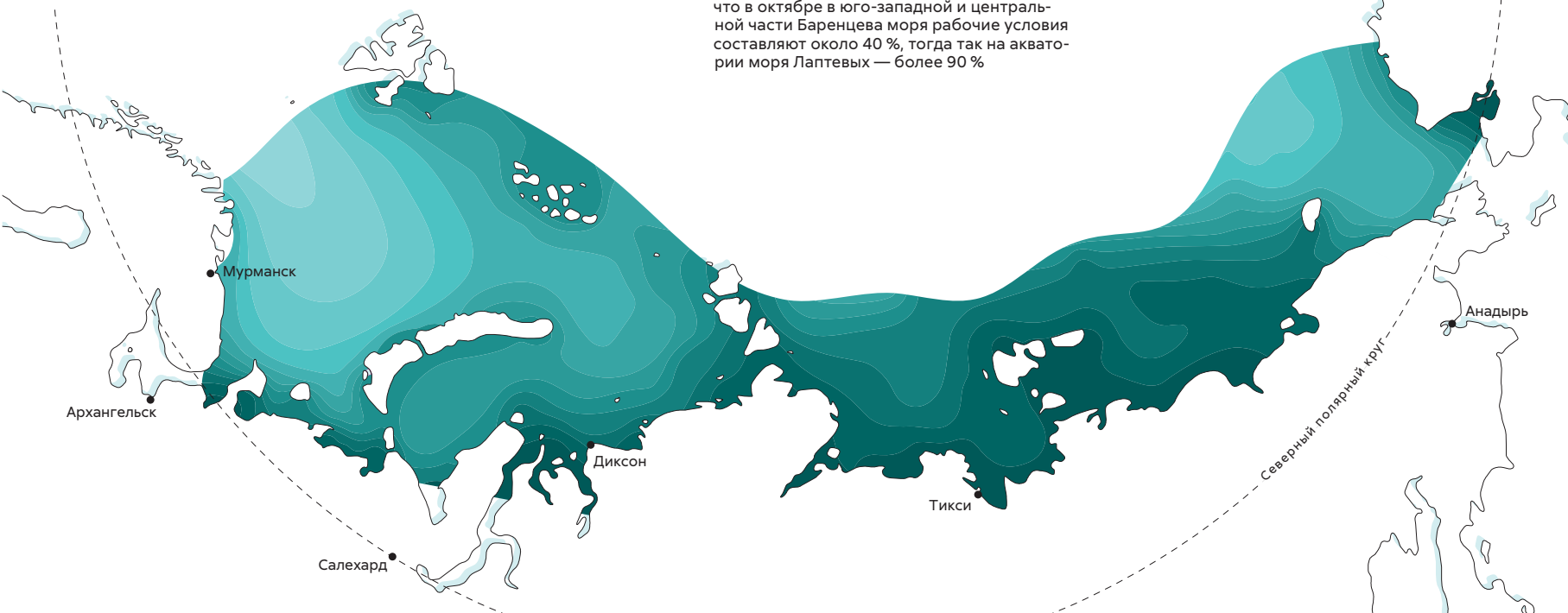
Одним из ключевых производственных запросов при планировании морских операций является определение продолжительности рабочих условий — времени, когда возможно безопасное выполнение морских операций. Обычно ограничивающими факторами являются наличие льда на акватории, сочетание скорости ветра и высоты волны. ⚓

### Повторяемость рабочих условий, %

40 45 50 55 60 65 70 75 80 85 90 95

В среднем рабочими считаются условия с высотой волны до 2,5 м и скоростью ветра до 17 м/с. При сложных операциях, связанных с транспортировкой или перемещением тяжелых и высоких конструкций, рабочие условия могут быть значительно жестче — высота волны до 1 м и скорость ветра до 10–12 м/с.

Было рассчитано время для октября, в течение которого выполняются рабочие условия на акватории арктических морей. Видно, что в октябре в юго-западной и центральной части Баренцева моря рабочие условия составляют около 40 %, тогда как на акватории моря Лаптевых — более 90 %





# Современные геологические процессы



# Геологическое прошлое Арктики

Осваивать труднодоступные районы Арктики, а тем более строить и обслуживать инженерные сооружения рискованно из-за сурового климата. Но помимо погодных условий есть риски, которые подстерегают исследователей в глубине арктических грунтов.

Для того чтобы понять, в чем заключаются опасные геологические процессы и каковы их причины, сначала нужно заглянуть на 18–25 тыс. лет назад. Или, как говорят ученые, в недавнее геологическое прошлое. Природная обстановка на территории Арктики в то время радикально отличалась от современной. По будущему дну морей Восточной Арктики бродили мамонты, а западная часть шельфа от Северного до Карского моря была покрыта сплошным льдом высотой в несколько километров.

## Оледенения Западной Арктики

На западе региона происходили сложные геологические события. Продвижение ледников сопровождалось эрозией и деформациями почв под ними — образованием троговых долин, экзарационных борозд, гляциодислокаций. При отступании (таянии) ледников образовывались моренные гряды, озы, подледниковые каналы стока, зандровые долины.



Реконструкция границы максимального распространения последнего ледника в Западной Арктике (Svendsen et al., 2004)

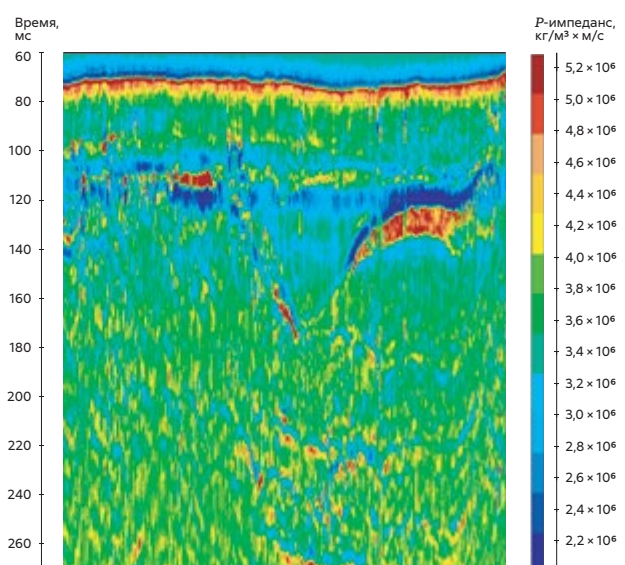
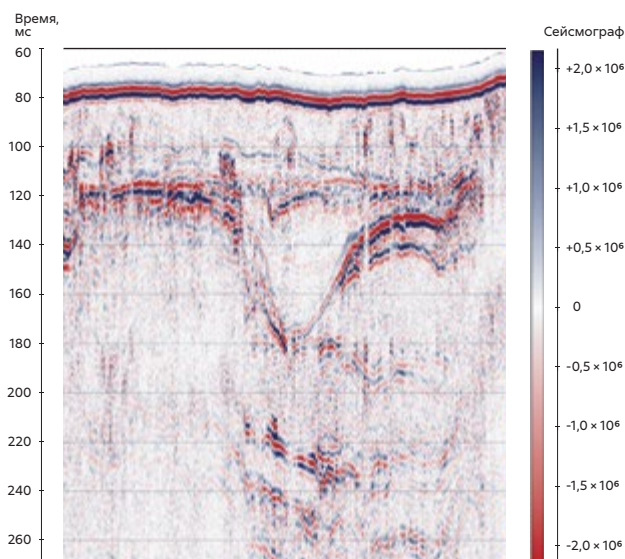


## Криолитозона Восточной Арктики

Там, где землю не покрывала ледовая шапка, почва при температурах до  $-80\text{ }^{\circ}\text{C}$  промерзла на сотни метров вглубь, сформировалась сплошная толща многолетнемерзлых пород. Трещины и поры заполнились льдом и стали практически непроницаемы для углеводородов, что привело к скоплению газа внутри них и ниже, под слоем мерзлоты. Кроме того, низкие температуры грунта создали условия для образования газогидратов — кристаллических соединений воды и природного газа. Из одного объема газогидрата образуется 160 объемов газа, поэтому растепление газогидратов в процессе строительства и бурения может привести к крупному выбросу газа и проседанию грунта.

Таяние (деградация) многолетнемерзлых пород усложняет строение верхней части разреза — на глубину до километра. Грунты деформируются, высвобождается большое количество воды, образуется посткриогенный газ. Газ просачивается в водную толщу и атмосферу.

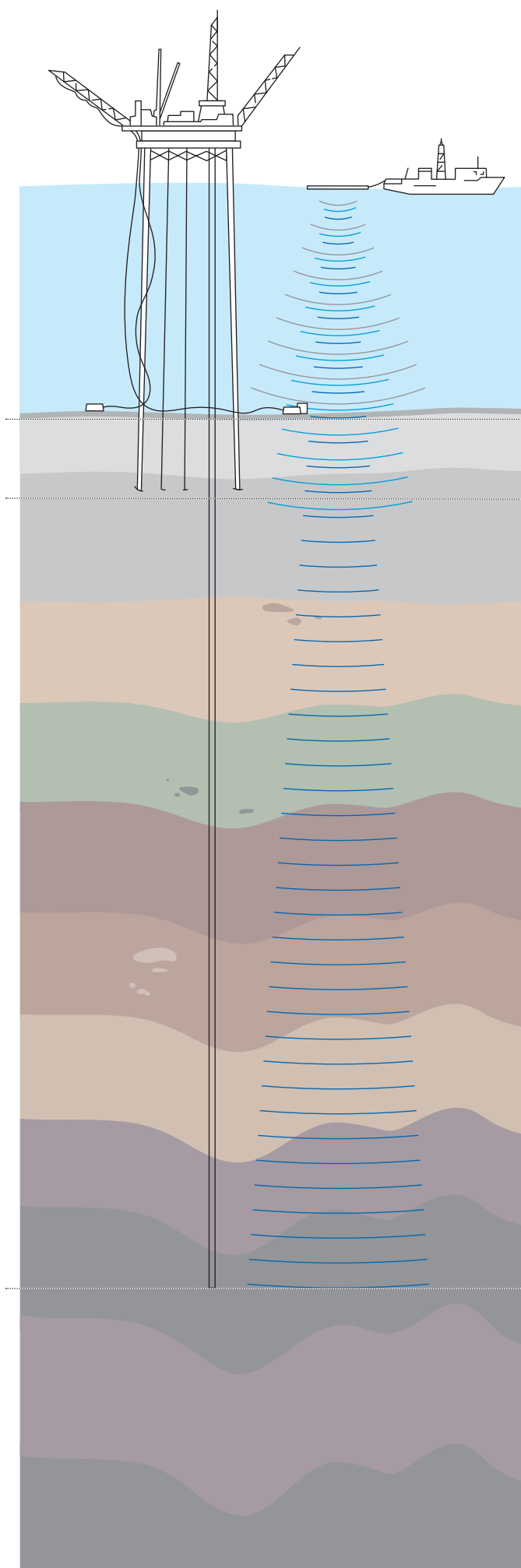
На обширных пространствах Восточной Арктики, затопленных морем за время таяния ледников (последледниковой трансгрессии), сохранились реликтовые элементы рельефа, характерные для полярной суши, — термокарстовые впадины, полигональные поверхностные формы, бугры ледяного пучения.



**Линза многолетнемерзлых пород на борту палеовреза в море Лаптевых.** Характерные признаки мерзлоты: высокоамплитудные отражения (на сейсмическом разрезе сверху), высокие (красный цвет) значения импеданса (на разрезе акустического импеданса, снизу)

Восточная Арктика →





## Геологические процессы, которые необходимо учитывать

Список геологических особенностей шельфа широк — в нем и формы рельефа, и процессы, которые их образуют.

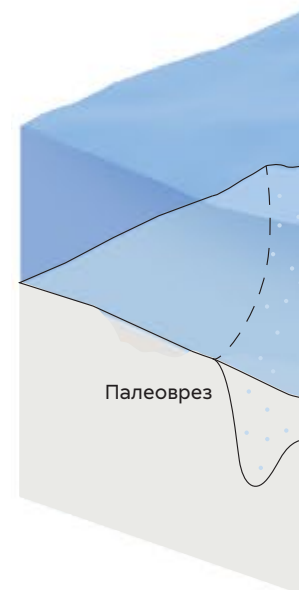
**Верхние 10 метров** важны для легких технических сооружений, трубопроводов и якорей. Здесь необходимо учитывать особенности, связанные с неровностями морского дна и протекающими в нем процессами.

**Верхние 100 метров** требуется изучать при строительстве капитальных конструкций, например буровых платформ.

**Верхние 1000 метров** важны для проходки глубоких скважин. Здесь в качестве *основных* рисков выступают газонасыщенность грунтов, разрывные нарушения и многолетнемерзлые породы.

### Список основных геологических особенностей включает в себя:

- локальные неровности дна — ледниковые формы рельефа, прибрежные вдольбереговые валы, аккумулятивные возвышенности, мегарифели, песчаные гряды, покмарки, уступы, каналы стока, ложбины;
- неоднородность грунтовой толщи — выходы коренных пород, валуны и поля валунов, инверсионное залегание грунтов;
- современные гравитационные процессы — оползни, обвалы;
- разрывные нарушения и современные геодинамические процессы — землетрясения;
- повышенная газонасыщенность;
- вертикальная миграция флюидов — перемещение воды и газа по разрезу;
- фокусированная разгрузка флюидов на дне — газопроявления;
- аномально высокое пластовое давление — давление флюида в порах породы;
- газовые гидраты — кристаллы из воды и газа;
- литодинамические процессы — перенос, размыв и аккумуляция донных осадков;
- многолетнемерзлые грунты и посткриогенные преобразования грунтового массива;
- палеоврезы и палеоканалы.





### Локальные неровности дна

Если ледник выходит к открытому морю, то при таянии от него откалываются массивные глыбы льда — айсберги. Эти ледяные образования своими киями царапают морское дно, оставляя глубокие борозды. Опасность для сооружений на дне, и прежде всего для подводных трубопроводов, в этом случае очевидна. Но нужно учитывать, что борозды на глубинах более 100 метров могли образоваться в далеком прошлом — на ранних стадиях послеледниковой трансгрессии, при более низком уровне моря. Например, в Баренцевом море такие следы остались с древних времен и теперь рассматриваются проектировщиками только как неровности морского дна. То есть речь идет не об опасности прохождения подводной части айсберга по дну, а об устойчивости сооружений, ослаблении держащей силы якорей и развитии на склонах борозд оползней.

### Палеоврезы

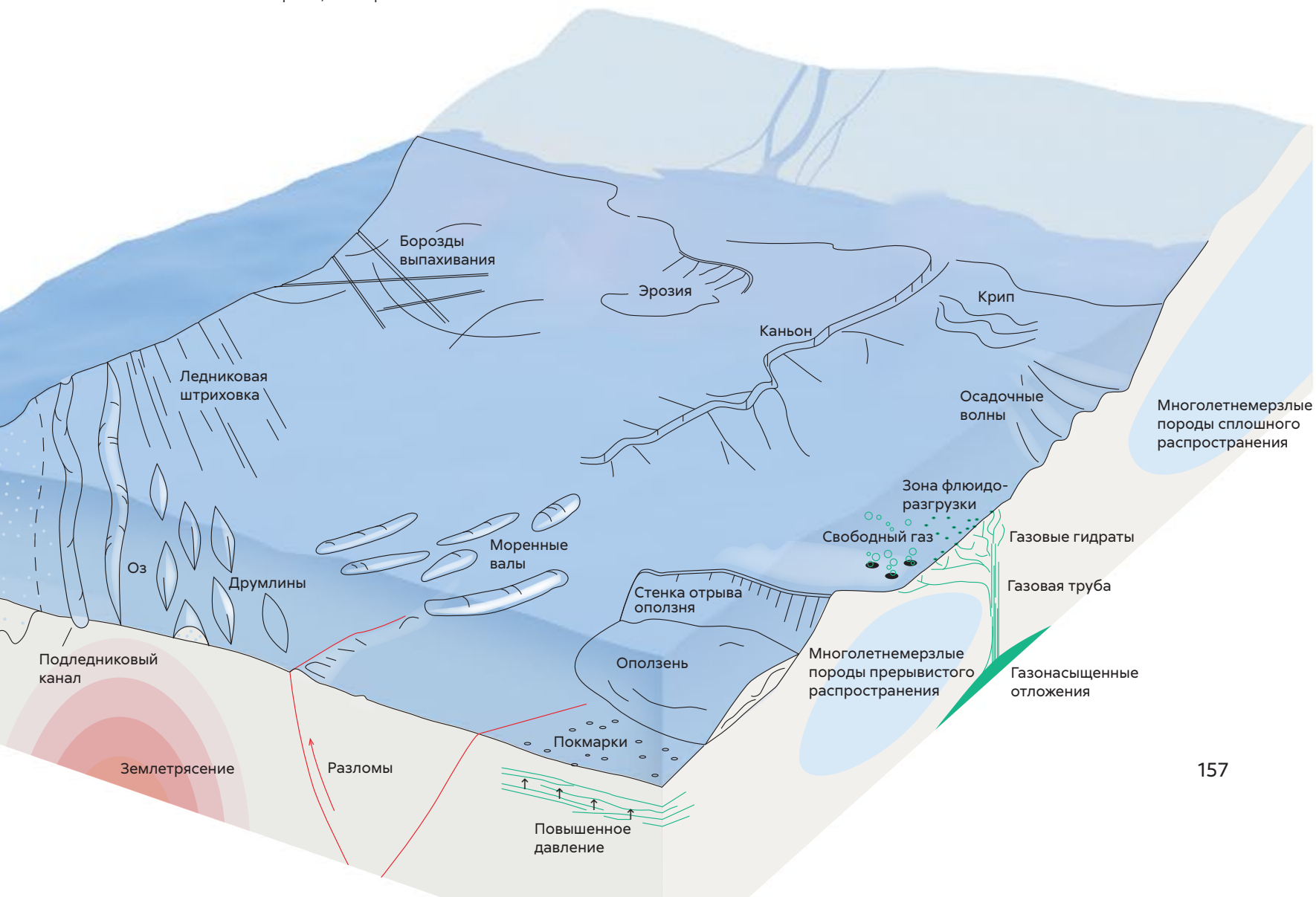
Палеоврезы представляют собой сохранившиеся древние долины, которые были вырезаны водотоком, а потом заполнены отложениями. Сегодня эти формы из геологического прошлого законсервированы в толще осадков. Найти погребенные долины помогают сейсмические методы. Области распространения палеоврезов стараются избегать по нескольким причинам. Палеодолины могут быть заполнены грунтами меньшей прочности, а значит, инженерные сооружения и буровые платформы на них будут оседать неравномерно. На дне древних врезов могут находиться грубообломочные отложения — галька, щебень и другие. Прохождение скважиной слоя с крупными обломками, вероятно, вызовет трудности. Часто сейсмическая запись указывает на наличие газа во врезках, и это чревато осложнениями.

### Газонасыщенные грунты

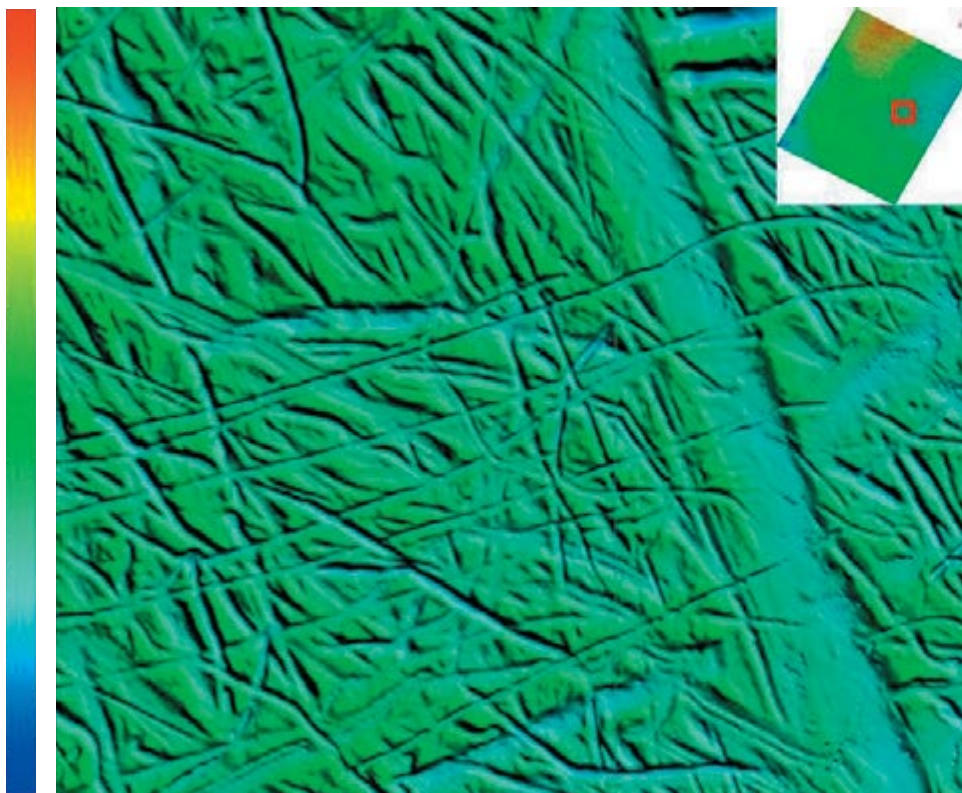
Отложения могут содержать газ в свободной и растворенной формах. Скопления газа могут возникать за счет преобразования местного органического вещества или при просачивании из нижележащих продуктивных толщ по разломам и ослабленным зонам. Там, где газ просачивается на поверхность, дно может быть испещрено покмарками. Они представляют собой воронки диаметром до нескольких сотен и глубиной до десятков метров. Утечки могут привести к падению пластового давления. Грунт проседает, нарушая устойчивость расположенных на нем сооружений.

### Многолетнемерзлые породы

Идентифицировать многолетнемерзлые породы непросто. На мелководном арктическом шельфе мерзлота распределена неравномерно, а сами породы неоднородны. Они могут быть пластично-мерзлыми или твердо-мерзлыми, и все это приводит к усложнению сейсмических образов. На помощь приходит количественный анализ, который опирается на бурение неглубоких скважин. Кроме того, в многолетнемерзлых породах увеличивается скорость распространения упругих волн, что можно определить при многоканальных сейсмических наблюдениях. Также кровля мерзлых грунтов обычно сильно изрезана, что на сейсмических данных может выглядеть как резкое латеральное прекращение границ и смена хаотической записью.



М  
190  
200  
210  
220  
230  
240  
243

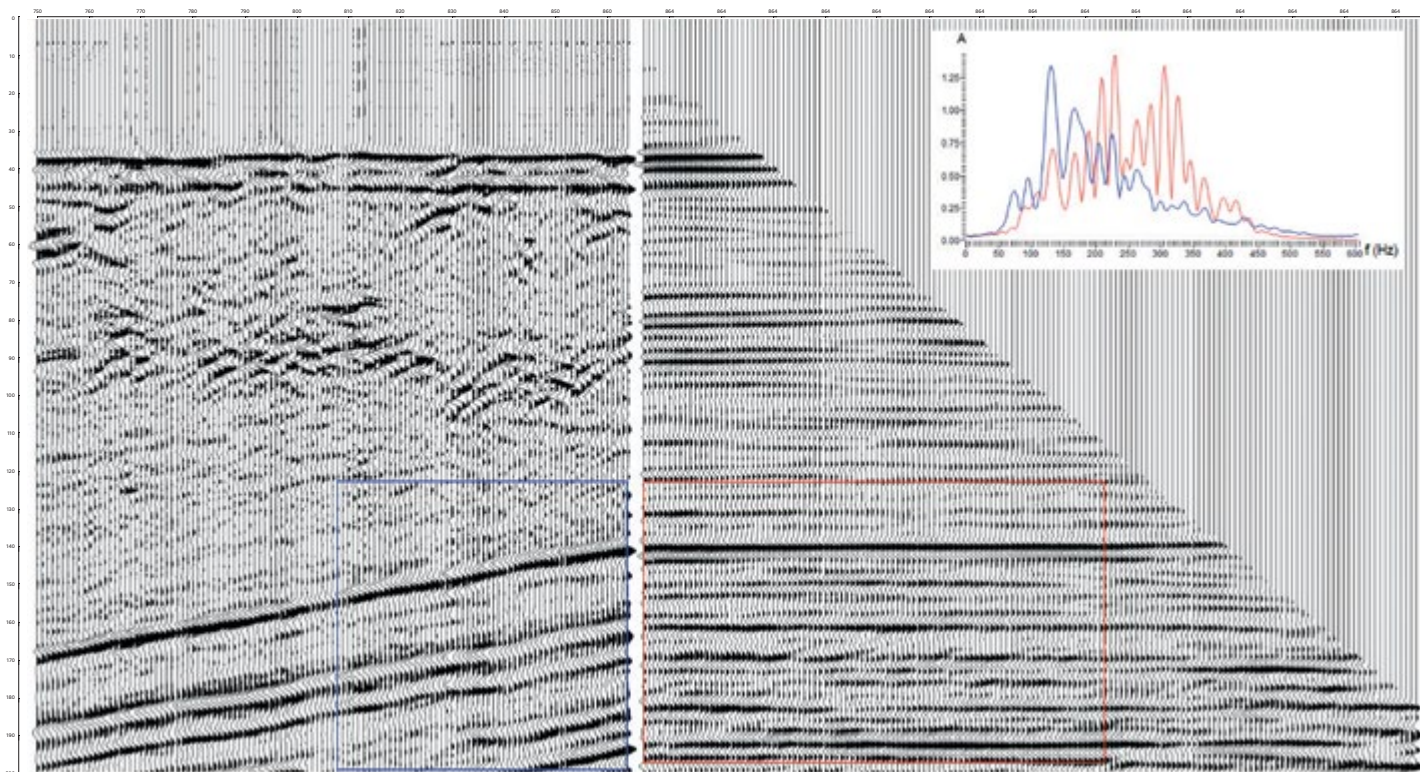


10,0°  
7,5°  
5,0°  
2,5°  
0°



**Гидроакустические исследования.** Фрагмент карты цифровой модели рельефа дна Баренцева моря, созданной по данным гидроакустической съемки. На карте видны борозды выпаживания — следы от айсбергов. Средняя ширина борозд варьируется от 10 до 60 м, глубина — от 2 до 15 м.

СОВРЕМЕННЫЕ ГЕОЛОГИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ



**Геофизические исследования.** Результаты сейморазведки высокого разрешения (слева) и вертикального сейсмического профилирования (ВСП, справа). Уникальное решение для термических, сейсмических и акустических наблюдений в малоглубинных морских скважинах — применение волоконно-оптических систем для распределенных акустических наблюдений. Они определяют не только структуру, но и свойства осадков, интервалы мерзлых грунтов, истинную глубину отражающих горизонтов.



# Как изучить строение разреза

Методика и технологии изучения геологических опасностей типичны для инженерно-геологических изысканий на шельфе, но отличаются большей детальностью. Применяются сложные методы математической обработки и интерпретации данных. Проводятся повторные наблюдения, позволяющие получать данные о динамике процессов и их развитии в пространстве.

## Виды исследований

**Гидроакустические.** Съёмка поверхности дна многолучевым эхолотом, гидролокация бокового обзора и акустическое профилирование.

**Геофизические.** Сейсморазведка высокого и сверхвысокого разрешения, электроразведка и морская магнитометрия.

**Геотехнические.** Бурение дна на глубину 50–100 м, статическое зондирование с измерением избыточного порового давления. Отбор колонок донных грунтов на глубину 5–10 м с помощью гидроударных, гравитационных и поршневых трубок. Отбор проб придонных грунтов ковшовыми и коробчатыми пробоотборниками.

**Лабораторные.** Исследование проб, камеральная обработка и интерпретация материалов.

Геотехнические исследования. Извлечение керна из керноприемной трубы

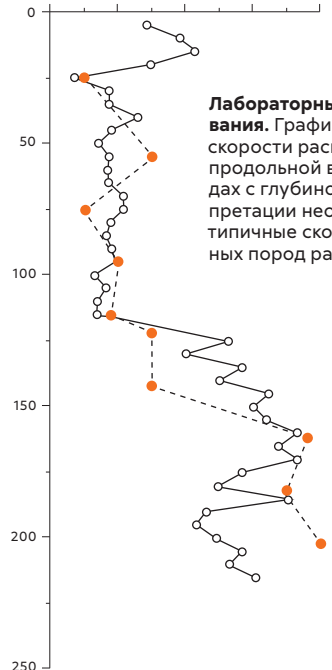


Недренированная прочность, кПа

2 4 6 8 10

Глубина, см

Скорость распространения продольной волны, м/с



**Лабораторные исследования.** График изменения скорости распространения продольной волны в породах с глубиной. Для интерпретации необходимо знать типичные скорости для горных пород разного состава.

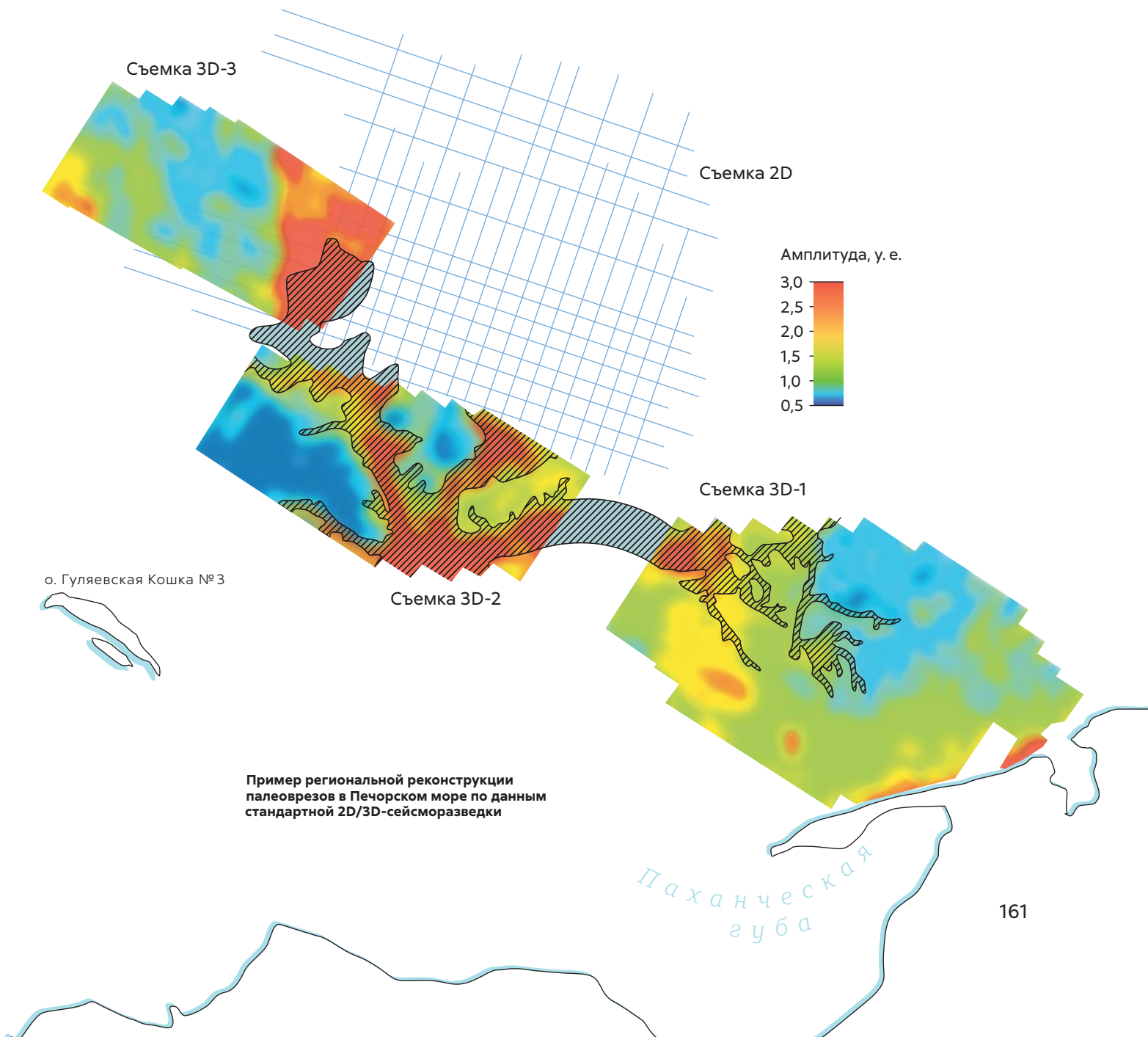


# Потенциал исследований

Арктический шельф все еще остается самым малоизученным и сложным для освоения регионом. Поэтому каждая экспедиция приносит уникальную информацию: о геологическом строении, об опасных процессах и явлениях, инженерно-геологических условиях и применимости технологий.

Имея на руках беспрецедентное количество данных, полмиллиона километров высокоинформативных геофизических исследований, «Роснефть» совместно с «Иннопрактикой» восстанавливает геологическую историю Баренцево-Карского региона. От частного к общему, от разрозненных фактических данных по палеогеографии и движению ледника — к региональным закономерностям. С этой информацией проектировщики способны минимизировать технологические риски при освоении шельфа. ↗

В 2008 году в практику компании вошла специализированная обработка данных стандартной 2D/3D-сейсморазведки, предложенная МГУ имени М. В. Ломоносова. Десятилетие спустя на шельфе Печорского моря эту технологию усовершенствовали и применили для обработки и интерпретации всех сейсмических данных с целью выявления опасных процессов и построения обобщенной модели инженерно-геологических условий, превышающей 25 000 км<sup>2</sup>.











An aerial photograph of a glacier, showing a network of white and light blue crevasses across its surface. In the lower-left corner, a dark, calm lake is visible, partially enclosed by the glacier's edge. The overall color palette is dominated by various shades of blue and white.

# Мониторинг ледовой обстановки

# Летние и зимние ледовые угрозы

→ с. 25 Лед в Арктике красив и опасен. Он может зажать судно, повредить объекты инфраструктуры, сорвать буйковую метеостанцию, помешать судоходству по [Северному морскому пути](#) и исследовательским работам на всей акватории арктических морей. Поэтому свойства льда и ледяных образований нужно изучать не только для развития грузового судоходства, но и для безопасного научного освоения региона.

В арктических морях лед присутствует круглый год, но виды его различаются в зависимости от сезона.

Зимой поверхность океана почти полностью замерзает и покрывается слоем льда средней толщиной больше метра. При этом ледовый покров не статичен, он похож на мозаику, состоящую из отдельных полей. Под действием температуры, ветров и течений ледовые поля двигаются, края их сжимаются, на стыках возникают области высокого давления. Так формируются торосы — нагромождения льда на границах ледовых полей.

Летом ледяной покров подтаивает и трескается, часть поверхности освобождается. Можно сказать, что Северный Ледовитый океан становится похож на остальные, за исключением плавающих ледовых полей небольшой толщины и айсбергов.

При работе на шельфе летом айсберг — самое опасное ледяное образование. Высока вероятность, что столкновение с айсбергом повредит стационарные сооружения, поэтому таких встреч нужно по возможности избегать, и для этого ученые разработали методику буксировки айсбергов.

Зимой же избежать контакта сооружений с ледяными образованиями невозможно, предотвратить дрейф ледяных полей и торосов нельзя. Поэтому важно определять физико-механические свойства льда, возможные зоны его распространения, а также параметры торосов, чтобы заранее определить нагрузки на конструкцию.

**Айсберг** — массивный свободно плавающий кусок льда, выступающий над уровнем моря более чем на 5 метров, как правило, отколовшийся от шельфового ледника.

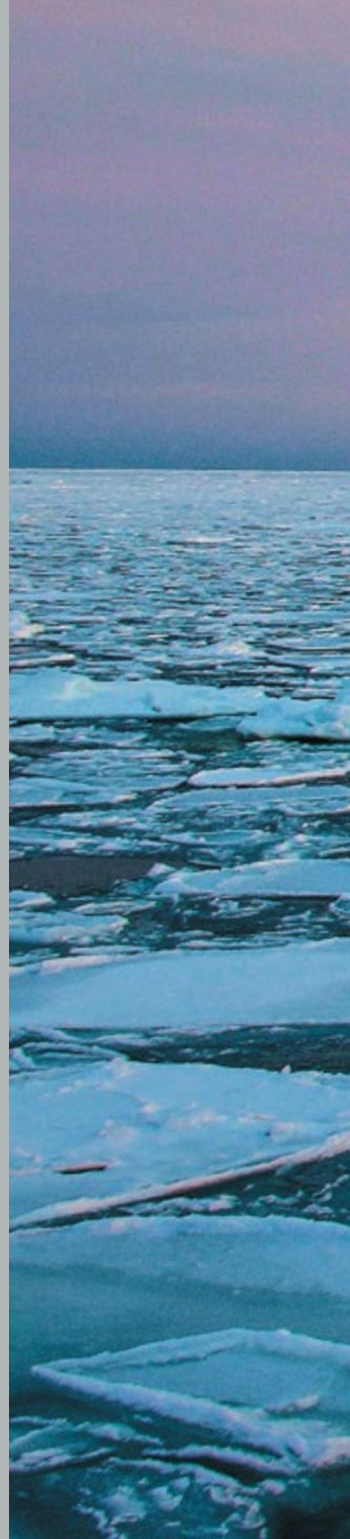
**Торос** — холмообразное нагромождение взломанного льда, образующееся при сдавливании льда на стыках ледовых полей.

**Стамуха** — торосистое образование, севшее на мель.

Лед зимний  
2–3 м под водой

Ледяной торос  
более 15 м  
под водой

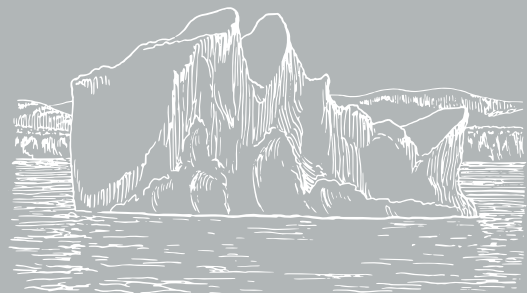
Стамуха еще глубже  
и вмержла в дно



Блинчатый лед, формирующийся  
в процессе осеннего льдообразования

Заторошенный айсберг в юго-западной  
части моря Лаптевых





# Айсберговая безопасность

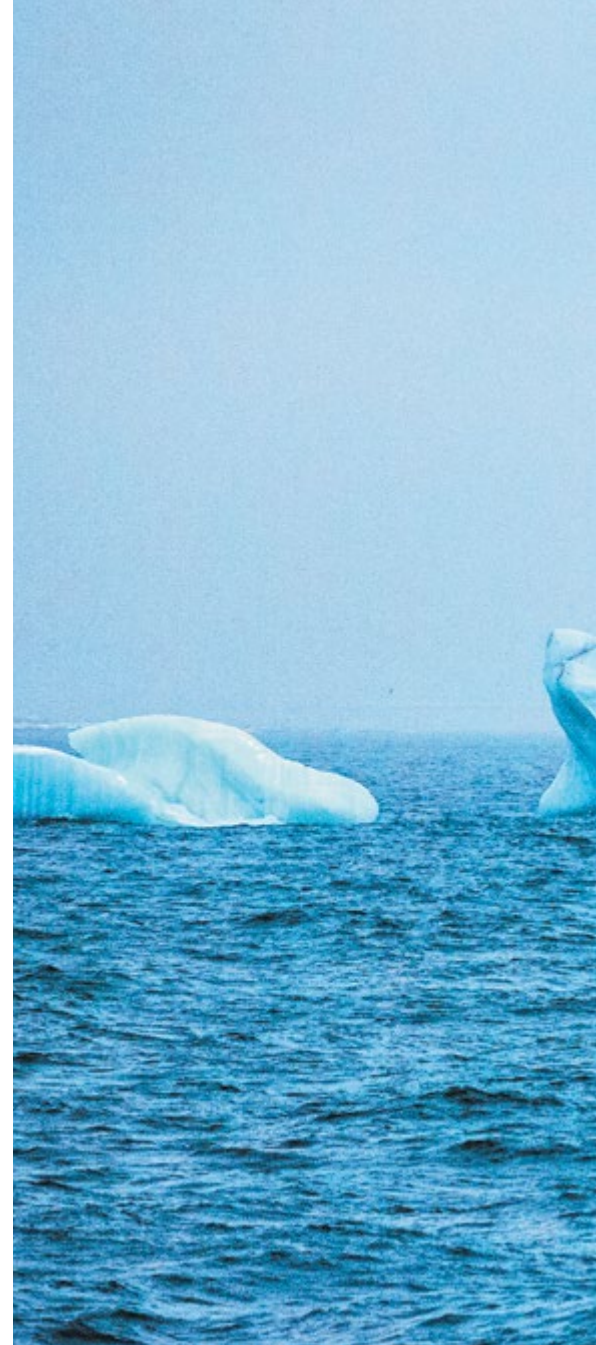
Ледники, покрывающие полярные архипелаги, летом начинают двигаться активнее, от них откалываются обломки и свободно дрейфуют на акватории. Такие обломки и называются айсбергами.

Отколотый лед принимает самые разные формы. Это могут быть обломки, столообразные блоки, пирамиды и целые небольшие острова. Визуально оценить размеры айсберга почти невозможно. Над водой находится только макушка, десятая часть айсберга, а основная масса скрыта под водой.

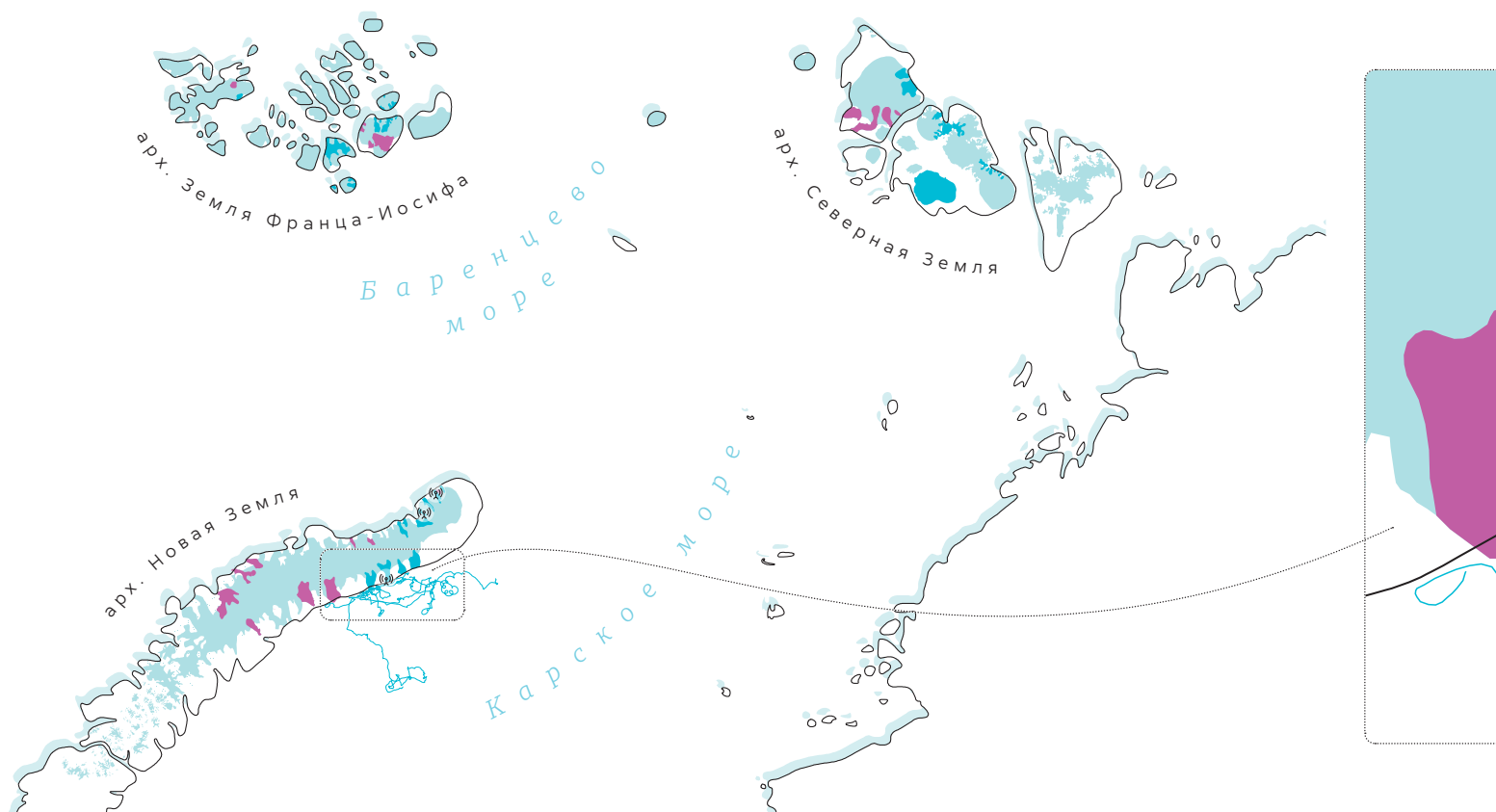
«Рекордсмен» по производству айсбергов — остров Шпицберген. Его выводные ледовые языки каждый год поставляют в арктические воды 5 км<sup>3</sup> льда. Большой вклад вносят ледники Земли Франца-Иосифа и Новой Земли — по 1,5 км<sup>3</sup> в год для Баренцева и Карского морей. Ледники архипелага Северная Земля производят айсберги как в Карское, так и в море Лаптевых. Хотя самая высокая концентрация айсбергов наблюдается вблизи мест образования, они могут дрейфовать на значительные расстояния.

Многие открытые месторождения углеводородов и перспективные геологические структуры находятся в непосредственной близости от очагов айсбергообразования. Например, для Карского моря среднее время дрейфа айсберга, образовавшегося у Новой Земли, до платформы поисково-разведочного бурения составляет около трех суток. Такая скорость дрейфа делает принципиально важным получение максимально полной и оперативной информации о состоянии продуцирующих айсберги ледников.

Для безопасного выполнения поисково-разведочных работ и потенциального освоения месторождений разработана система айсберговой защиты. Она учитывает условия образования и распространения айсбергов, содержит решения по обнаружению айсбергов и изменению траекторий их дрейфа.







Дрейфующий айсберг





**Карта ледников, продуцирующих  
айсберги в Российской Арктике**

-  Радиомаяк *Argos*
-  Траектория движения айсберга
-  Изучалось с помощью GP-радара
-  Планируемые к изучению

# Поиск дрейфующих угроз

## Наблюдение за ледником

Предваряет изучение айсбергов постоянный мониторинг и изучение ледников, в частности их толщины и скорости течения. Несмотря на общую массу и размеры, ледник движется — течет. Ледник, который одним своим краем выдается в море, называют выводным.

Информация о выводных ледниках необходима для оценки вероятности и построения сценария встречи с айсбергами — на основании данных можно построить модель движения ледника и «подсветить» зоны образования айсбергов.

**Толщина ледника.** Для измерения толщины ледников проводится радиолокационная аэросъемка. Вертолет с подвешенным радиолокатором движется над ледником со скоростью 100 км/ч. Маршруты полетов выбирают либо вдоль фронта ледника, либо с его пересечением, чтобы получить наиболее полную информацию о толщине льда по всей площади. Результаты толщиномерной съемки совмещаются с цифровой моделью рельефа, строятся карты подледного рельефа, толщины льда и расположения зон гидростатического всплытия участков ледника.

**Скорость ледника.** На интересующих ученых участках ледника выбирают место с теоретически самыми высокими скоростями течения и устанавливают на них автономные буи. Каждый буй снабжен GPS-приемником и передатчиком спутниковой системы сбора данных. Буи движутся вместе со льдом и позволяют точно измерить пройденное ледником расстояние. Батареи радиомаяка хватает больше чем на год, поэтому они служат надежным источником информации по сезонному изменению скорости ледника.

Наблюдать за смещением поверхности ледника можно и дистанционно. Для этого сопоставляют ряд сделанных в разное время спутниковых изображений: при обработке выделяют интересующий фрагмент и отслеживают его положение на всем наборе снимков.

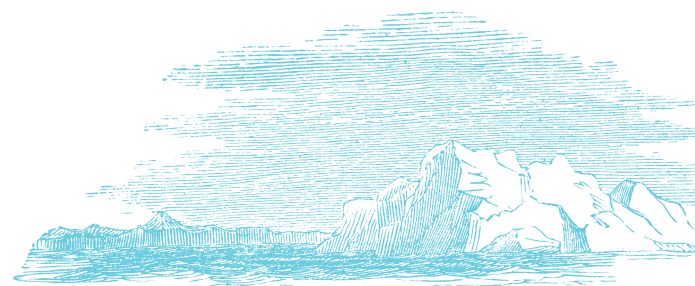




## Странствующий лед

→ с. 84 Обозначив предположительные места рождения айсбергов, исследователи концентрируются на изучении самих ледовых образований — их местоположения и размеров. Поиск айсбергов ведется либо при непосредственном наблюдении с борта судна, когда наблюдатель видит айсберг и наносит его на карту, либо с помощью судовой радиолокационной аппаратуры. Предельная дальность обнаружения зависит, с одной стороны, от конструкции судна — насколько высоко находится наблюдатель с биноклем. С другой стороны, она зависит от размеров и формы самого айсберга. Например, судовой радиолокатор способен обнаружить столбовый айсберг на дистанции до 27 км, а пирамидальный или наклонный — только до 12 км.

При планировании работ активно используются данные со спутников. Как и при мониторинге ледников, разглядеть интересующий фрагмент льда даже в условиях высокой облачности позволяют радиолокационные снимки. А при благоприятных погодных условиях исследователи работают со снимками высокого разрешения видимого диапазона.



**Процесс разрушения айсберга.**  
Существенный вклад в процесс деградации дрейфующего айсберга дает крошение его поверхности

# Айсберг в профиль

Морфометрические параметры айсберга определяются в два этапа. Для съемки скрытого под водой «фундамента» нужен многолучевой эхолот, а для надводной части — аэрофотосъемка. Аэрофотосъемку проводят с вертолета на малой высоте либо с беспилотного летательного аппарата.

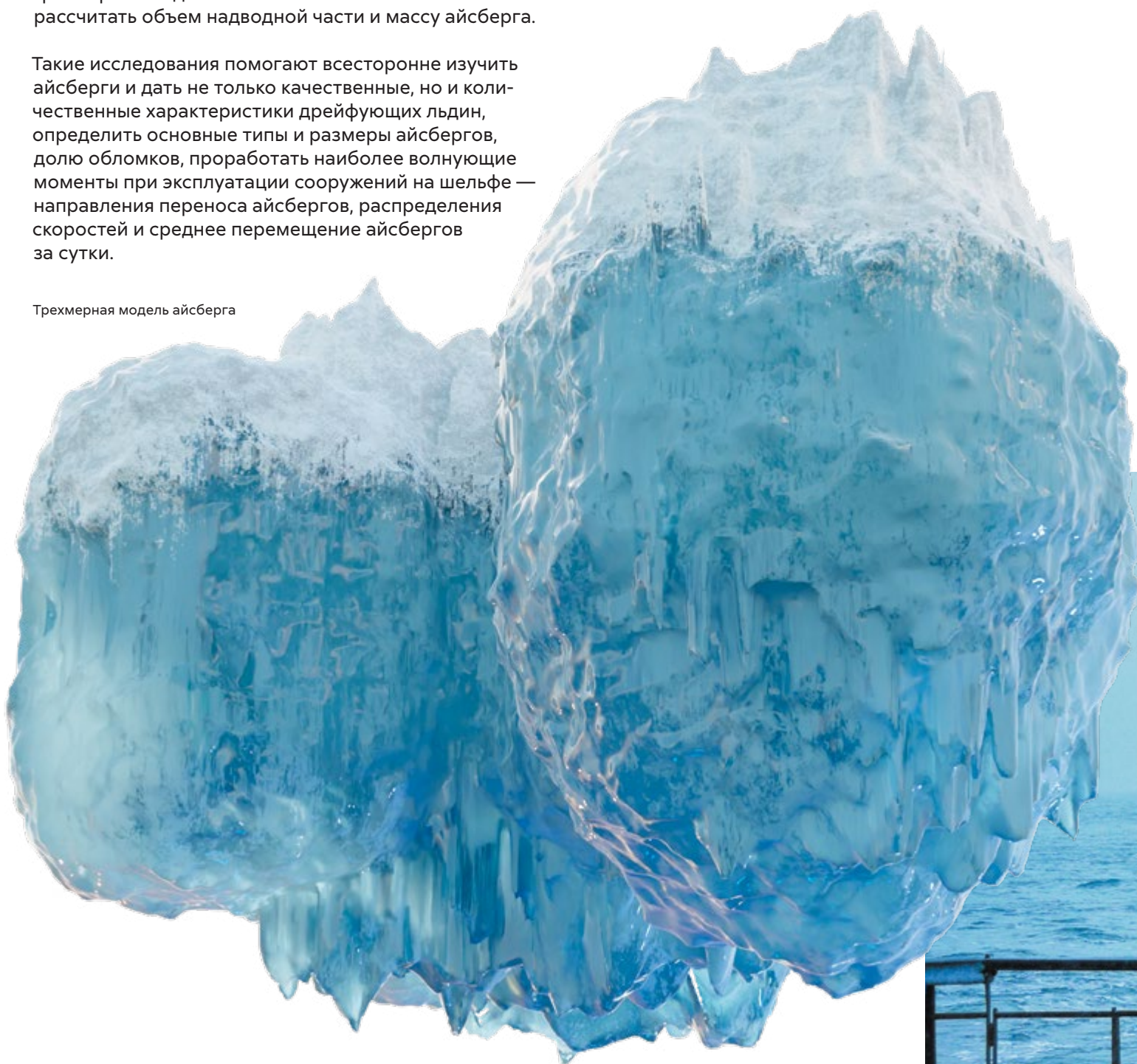
После обработки материалов съемки составляется трехмерная модель. По ней становится возможно рассчитать объем надводной части и массу айсберга.

Такие исследования помогают всесторонне изучить айсберги и дать не только качественные, но и количественные характеристики дрейфующих льдин, определить основные типы и размеры айсбергов, долю обломков, проработать наиболее волнующие моменты при эксплуатации сооружений на шельфе — направления переноса айсбергов, распределения скоростей и среднее перемещение айсбергов за сутки.

Трехмерная модель айсберга

Методы изучения айсбергов:

- наблюдения с борта судна;
- спутниковый мониторинг и аэрофотосъемка;
- установка на айсберги GPS-буев;
- эхолотирование подводной части;
- построение 3D-моделей.



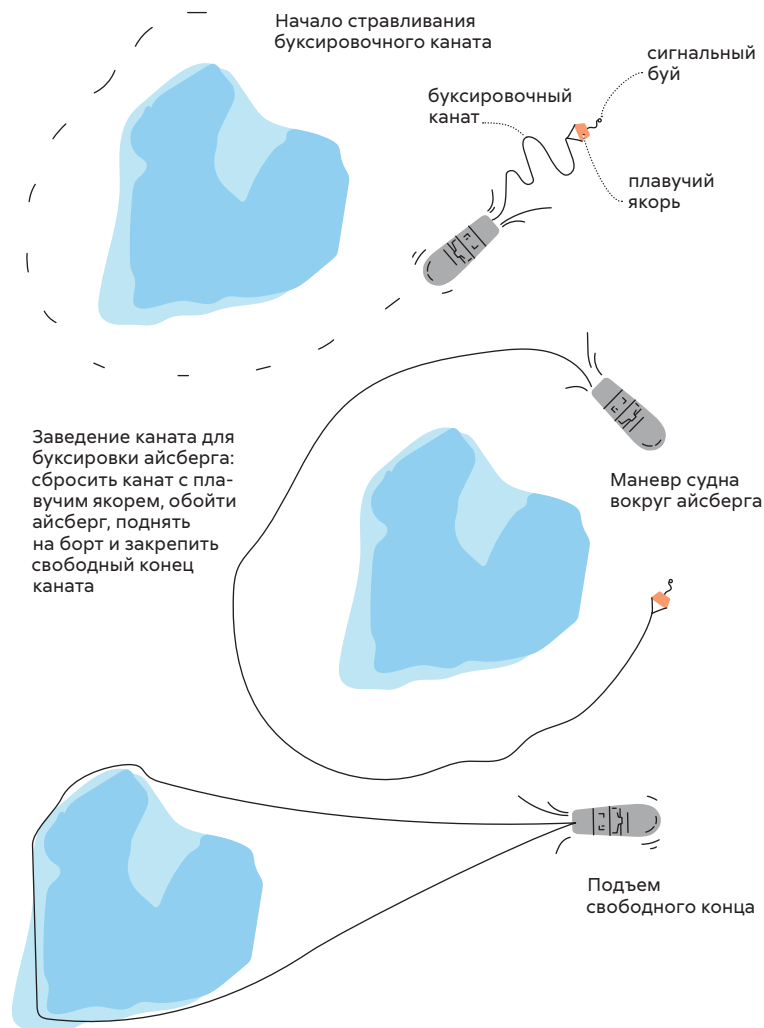
# Буксировка айсбергов

При настроенном мониторинге от начала образования айсберга до выхода в дрейф ученые видят направление и скорость его движения. Если айсберг начинает угрожать судоходству или работе на шельфе, может быть принято решение об изменении курса дрейфа и расчистке акватории.

→ с. 86 До исследований 2016–2017 годов в отечественной науке не существовало отработанной технологии физического воздействия на айсберги. Эксперименты и последующую отработку технологии «оттаскивания» айсбергов выполнили у побережья архипелагов Новая Земля, Северная Земля и Земля Франца-Иосифа. Айсберги буксировали в различных погодных условиях, разработали конструкцию буксировочной системы и последовательность действий экипажа судна-буксировщика.

В период полевых работ

Способ буксировки	Количество экспериментов
С помощью плавучего каната	29
С помощью ледовой сетки	6
Воздействие на айсберг направленной водяной струей от судового пожарного ствола	1
Посредством циркуляции судна вокруг него	1



Буксировка айсберга в октябре, вид с кормы судна



## Технологические результаты буксировок

Максимальная масса буксируемого айсберга	1 200 000 тонн
Минимальная масса буксируемого айсберга	3000 тонн
Максимальное перемещение айсберга за сутки	50 миль
Максимальная скорость буксировки	3,2 узла
Максимальное приложенное усилие	1040 кН (около 100 тонн)

Несколько буксировок выполнены во льду толщиной до 20 см

# Ледовая безопасность

→ с. 76 В зимний период исследователи смещают внимание с айсбергов на изучение свойств морского льда. Многокилометровые ледяные поля неоднородны: в одних местах они расширяются и трескаются, в других — сжимаются и начинают давить друг друга, создавая гряды ледяных обломков — торосов. В этих местах лед существенно утолщается, его масса и давление сильно превышают средние для ледовых полей показатели.

Отдельный вид торосов называется «стамуха». Это севший на мель торос, который врезается в дно и смерзается с грунтом, но в период очищения акватории всплывает и начинает дрейфовать подобно айсбергу. Но в отличие от айсбергов торосы и стамухи невозможно переместить — можно только научиться строить сооружения, которые выдерживают давление такого льда.

## Вглубь тороса

Методы исследования торосов и стамух:

- аэрофотосъемка;
- тахеометрическая съемка;
- термобурение;
- изучение физико-механических свойств льда.

Сконструировать достаточно прочные и безопасные сооружения возможно, только имея детальное представление о нагрузках, оказываемых льдом. Проектировщики защитных сооружений должны знать основные морфометрические параметры гряд торосов и стамух для конкретного района: длину гребня, высоту и ширину паруса, глубину и ширину киля, общую толщину, пористость, толщину консолидированного слоя.

В нужном районе выбирается относительно крупное ледяное образование. Перпендикулярно гребню прокладываются профили — от 2 до 5 в зависимости от размеров тороса или стамухи; типичное расстояние между профилями составляет 15–20 м.





Подготовка к термобурению тороса

Вдоль профиля намечаются точки термобурения. При обработке данных термобурения определяются величина надводной и подводной части ледяного образования, границы пустот и льда различной плотности в скважине.

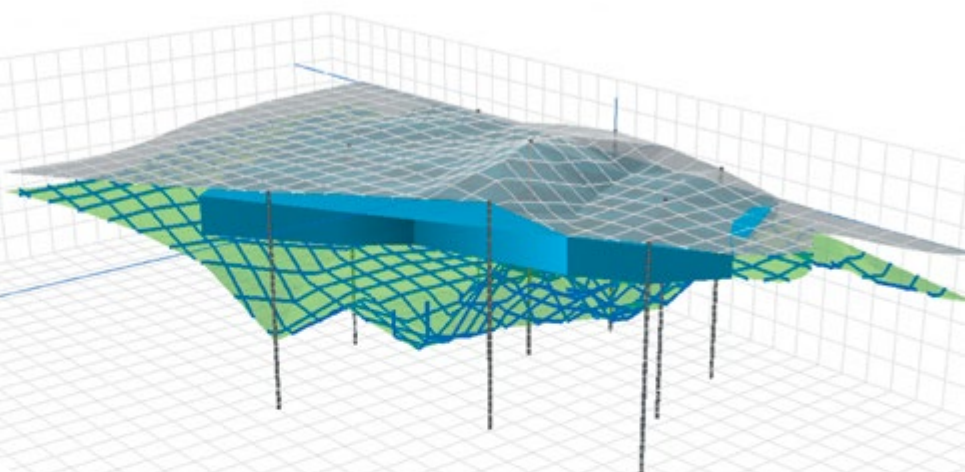
Одновременно с термобурением проводятся тахеометрическая и гидролокационная съемки соответственно надводной и подводной поверхностей гряды тороса. Результаты этих съемок с помощью специального программного обеспечения позволяют построить 3D-модели торосов/стамух, а также уточнить объемы ледяных образований.

→ с. 167

Такие исследования помогают определить:

- законы распределения размеров ледяных образований;
- внутреннюю структуру ледяных образований (пористость, консолидированный слой);
- корреляции между физическими (температура, соленость) и механическими (прочность) свойствами деформированного льда.

По результатам анализа предложены принципы единой классификации, объединяющей торосы и стамухи. Выявлена зависимость основного показателя их прочности от температурных условий зимы, а также определены характеристики дрейфа всех ледяных образований. На основе полученных данных разработаны технические условия, которые необходимы и инженерным сооружениям для работы на арктическом шельфе.



Трехмерная модель тороса

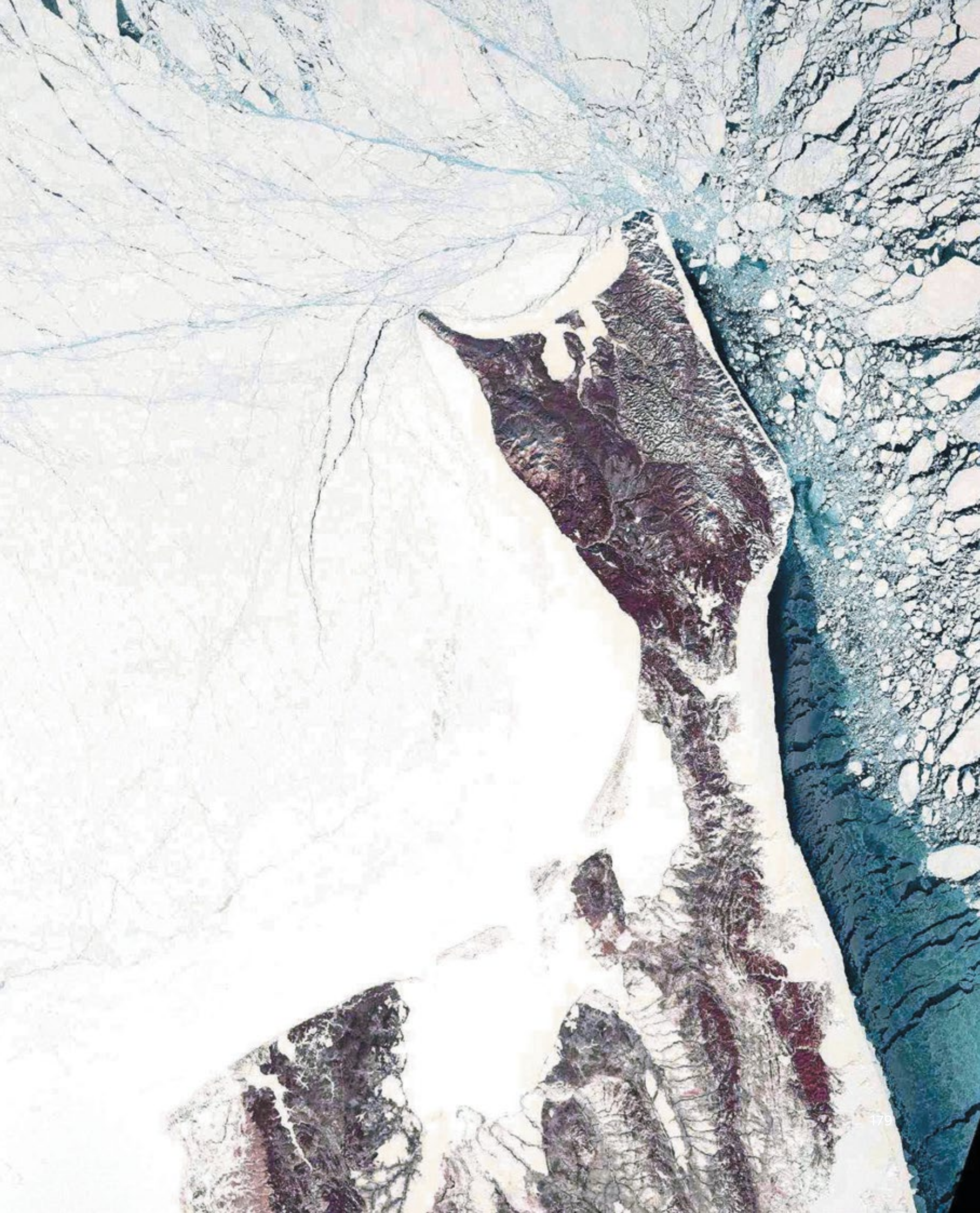


## Многогранный лед

Лед — удивительное вещество. Мало того что вода — единственное вещество, у которого твердая фаза менее плотная, чем жидкая, из-за чего лед всплывает, а не тонет, так еще и при большом давлении он получает новые свойства. Именно поэтому ледники «текут», приобретая под собственной тяжестью вязко-пластические свойства. Характеристики льда при образовании торосов и стамух описываются сложными математическими законами, без изучения которых нельзя спроектировать безопасные, круглогодично функционирующие гидротехнические сооружения на шельфе.

В течение 10 лет свойства ровного и деформированного льда изучали в экспедициях и в лабораториях. Сезон за сезоном на разных участках, но по одной и той же методике ученые получали полные, достоверные и сопоставимые между собой данные. Их анализ позволяет понять природу физических, химических и прочностных свойств льда, моделировать и прогнозировать их изменения.

Результаты этих исследований помогают не только проектировать сооружения для работы в арктических условиях, но и оценивать климатические изменения, затрагивающие регион.

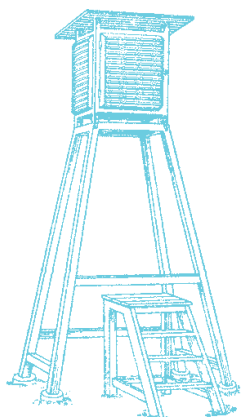




## Полевая база «Хастыр»

Наиболее полные данные о свойствах льда получены на базе «Хастыр». Она основана в августе 2016 года на побережье Хатангского залива моря Лаптевых. До ее постройки все зимние ледоисследовательские работы выполнялись с борта атомных ледоколов. Основные недостатки таких исследований при всей их ценности — в отсутствии длительных наблюдений и дороговизне. Полевая база успешно решала вопрос оптимизации затрат, но в первую очередь позволяла проводить круглогодичные наблюдения. Они крайне ценны: ученые могут исследовать лед от начала образования припая в сентябре – октябре до момента полного очищения акватории в мае – июне. В ряд наблюдений попадают данные о ровном и деформированном льде, торосистых образованиях и стамухах.

→ с. 176







В период активных исследований 2016–2018 годов на «Хастыре» одновременно работали не менее семи человек. Условия жизни персонала в целом спартанские, но для арктической базы достаточно комфортные. База состоит из нескольких строений — домиков для персонала, кают-компания, камбуза, генераторной и метеостанции, домика метеоролога и, конечно, ледоисследовательской лаборатории. Запасы провизии и топлива рассчитаны на год автономной работы, но обычно резерв восполняется чаще, при смене вахт и плановом завозе оборудования.

Соблюдены условия промышленной безопасности и охраны окружающей среды, есть соответствующее аварийно-спасательное оборудование и вертолетная площадка на случай крайней необходимости. В этом проявляется выгодное географическое положение базы: с одной стороны, она позволяет исследовать льды в течение всего их жизненного цикла, с другой — находится в радиусе полета вертолета от ближайшего населенного пункта, поселка Хатанга.

# Судостроительный комплекс «Звезда»

## Арктике нужны особые суда

Арктические маршруты — это долгий и тяжелый путь по северным морям сквозь непогоду и льды. Это разнообразные задачи — транспортные, хозяйственные и научные. Это необходимость обеспечивать быт и безопасность команды на протяжении месяцев.

→ с. 44 Для этих задач требуются подходящие суда. Не просто подходящие — специализированные: с достаточной грузоподъемностью, ледопродолжительностью, спускоподъемным и навигационным оборудованием. Они не просто редкие или дорогостоящие. Их может вообще не существовать, а значит, их нужно построить.

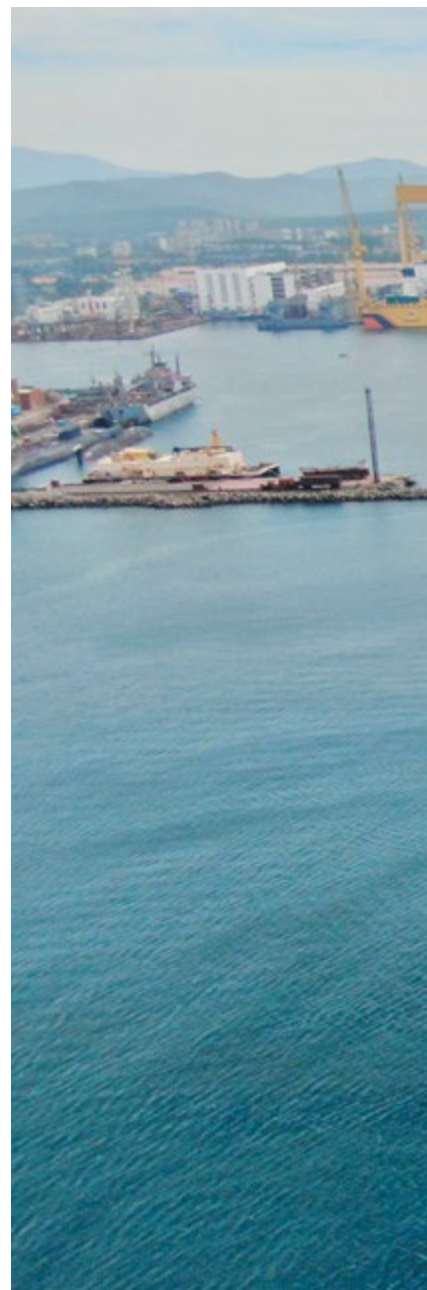
Для строительства подобного судна целиком нужны огромные цеха и соответствующая инфраструктура. В России около 150 государственных и частных верфей, но только одна специализируется на крупнотоннажных судах, подходящих для сложных арктических задач, — базирующийся в городе Большой Камень Приморского края, в 120 км от Владивостока, судостроительный комплекс «Звезда».

На судовой верфи строят по-настоящему огромные суда, среди них:

- **атомный ледокол «Россия»** — головное судно проекта «Лидер» — самый большой в мире атомный ледокол, который будет способен проводить крупнотоннажные суда во льдах толщиной четыре метра;
- **танкеры-газовозы ледового класса ARC 7**, способные преодолевать льды толщиной до двух метров, выдерживать 12-балльный шторм и находиться в автономном плавании до 90 суток. Они работают на сжиженном газе и отличаются высокой экологической безопасностью.



Многофункциональное судно снабжения «Катерина Великая»



## Как устроена «Звезда»

Судоверфь «Звезда» — молодая, ее торжественный запуск состоялся 1 сентября 2016 года. За 6 лет введены в строй все ключевые функции комплекса: работают цеха по изготовлению, окраске и насыщению секций и блоков судов судовыми системами и другим оборудованием, функционирует открытый тяжелый достроечный стапель с несколькими дорожками для постройки судов, транспортно-передаточный плавучий док для спуска их на воду. В конце 2021 года введен в эксплуатацию один из крупнейших в мире сухой док.

«Звезда» — это высокотехнологичное производство. На верфи впервые в России внедрены технологии крупноблочного судостроения. Это означает, что сначала разные части судна изготавливаются отдельно, из них собираются секции, из секций

собираются блоки, а из блоков — крупные блоки, которые потом стыкуются друг с другом с миллиметровой точностью. При таком подходе можно, к примеру, создавать надстройку корабля, не дожидаясь окончательного формирования корпуса. За счет такого принципа производства не только экономится колоссальное количество времени, но и обеспечивается автономность сборки каждого блока, потому что в цех сборки блоки попадают уже оснащенными трубопроводами и необходимым судовым оборудованием.

На судоверфи сегодня работают около 5 тысяч человек и открываются новые вакансии. Для сотрудников действуют программы переобучения, социальной поддержки, строятся целые жилые микрорайоны.





Многофункциональное судно снабжения на стапеле

**Основные объекты и оборудование верфи**

**Блок корпусных производств.** В нем происходит раскрой, обработка и сварка металла, изготовление деталей и секций судов массой до 300 т и размерами до 23 × 13 × 12 м.

**Окрасочные камеры** для очистки, окраски и сушки судовых корпусных конструкций. Рассчитаны на секции размерами до 23 × 27 × 10 м и массой до 400 т.

**Цех сборки блоков,** где осуществляется сборка крупногабаритных блоков судов с высокой степенью предварительного насыщения внутренними судовыми системами массой до 2700 т и габаритами 46 × 23 × 20 м.

**Открытый тяжелый достроечный стапель** размерами 485 × 230 м имеет три технологические линии для сборки судов из секций и блоков, оборудован мощным крановым хозяйством, состоящим из семи кранов грузоподъемностью от 100 до 1200 т, в том числе уникальным краном «Голиаф» с высотой подъема 98 м, длиной поперечной балки 230 м и грузоподъемностью 1200 т. Для перемещения блоков корпуса и судов применяется судовозная транспортная система на рельсовом ходу, состоящая из 216 ведущих и ведомых гидравлических тележек грузоподъемностью 250 т каждая. Общая грузоподъемность судовозной транспортной системы обеспечивает транспортировку судна массой 40 000 т.

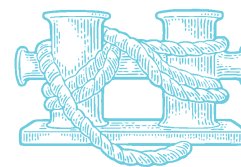
**Сухой док** размерами 485 × 114 м и глубиной 14 м — одно из крупнейших в мире гидротехнических сооружений. Позволяет строить суда водоизмещением до 350 000 т. Сухой док оснащен внутренним технологическим затвором, позволяющим строить одновременно несколько судов, а также батопортом — плавучим водонепроницаемым затвором длиной 114 м и высотой 13,5 м. На площадке сухого дока смонтирован второй кран-гигант «Голиаф» грузоподъемностью 1200 т. Его высота — 120 м, ширина — 189 м. Также док оснащен четырьмя башенными кранами грузоподъемностью 60 т.

**Крановое оборудование.** На верфи смонтировано 40 единиц кранового оборудования, в том числе два козловых крана типа «Голиаф» грузоподъемностью 1200 т каждый.

**Транспортно-передаточный плавучий док** грузоподъемностью 40 000 т. Он предназначен для проведения работ по спуску со стапеля на воду крупногабаритных судов длиной 300 м и шириной более 50 м со спусковой массой до 40 000 т и дедевей-том до 350 000 т.

**Стапель**

Стапель представляет собой сложное гидротехническое сооружение площадью 12 гектаров. Передаточный причал стапеля самый мощный в стране, он позволяет производить перегрузку со стапеля на транспортный передаточный док суда и другие тяжелые грузы весом до 40 000 т.



## Суда для «Роснефти»

Задача судостроительного комплекса «Звезда» — постройка крупнотоннажных судов преимущественно ледового класса, элементов морских платформ, специальных судов и других видов морской техники, в портфеле заказов «Звезды» больше 60 судов.

«Роснефть» — один из главных заказчиков судостроительного комплекса «Звезда», уже заключены контракты на постройку 28 судов:

- четырех многофункциональных судов снабжения усиленного ледового класса;
- 12 танкеров типа «Афрамекс»;
- 10 арктических танкеров-челноков ледового класса ARC 7 дедвейтом 120 000 т;
- одного арктического танкера-челнока дедвейтом 69 000 т;
- одного бурового судна.

Два «Афрамекса» уже переданы «Роснефти». Один из них, танкер «Владимир Мономах», стал первым судном, спущенным на воду судостроительным комплексом «Звезда». В активной стадии строительства и другие ключевые суда. Спущено на воду многофункциональное судно снабжения усиленного ледового класса «Катерина Великая».

**Дедвейт** — разница между полным и порожним водоизмещением судна, то есть масса полезного груза, топлива, технологических жидкостей, питьевой воды, команды, багажа и продовольствия.

**«Афрамекс»** — нефтеналивные танкеры, предназначенные для неограниченного района плавания. Главная и вспомогательная энергетические установки судна могут работать как на традиционном, так и на экологически чистом топливе — сжиженном природном газе, что соответствует новым правилам по ограничению выбросов оксидов серы и парниковых газов в северных морях.

Многофункциональное судно снабжения «Катерина Великая»



# Винторулевая колонка

→ с. 25 При движении по арктическому маршруту судну приходится преодолевать ледовые поля и перемычки, быстро менять режимы движения и маневрировать в узких проходах между льдами. Современные суда довольно легко справляются с этими задачами благодаря схеме управления с винторулевой колонкой.

## Как было раньше

Традиционная схема управления судном состоит из дизельного двигателя, от которого к винту идет гребной вал. С развитием судоходства корабли становились все больше и длиннее, а двигатели — мощнее и тяжелее. Из-за веса размещать двигатель нужно было в центральной части корпуса, поэтому размер гребного вала тоже рос и мог достигать 30 м в длину и метра в диаметре. Это привело к двум основным проблемам:

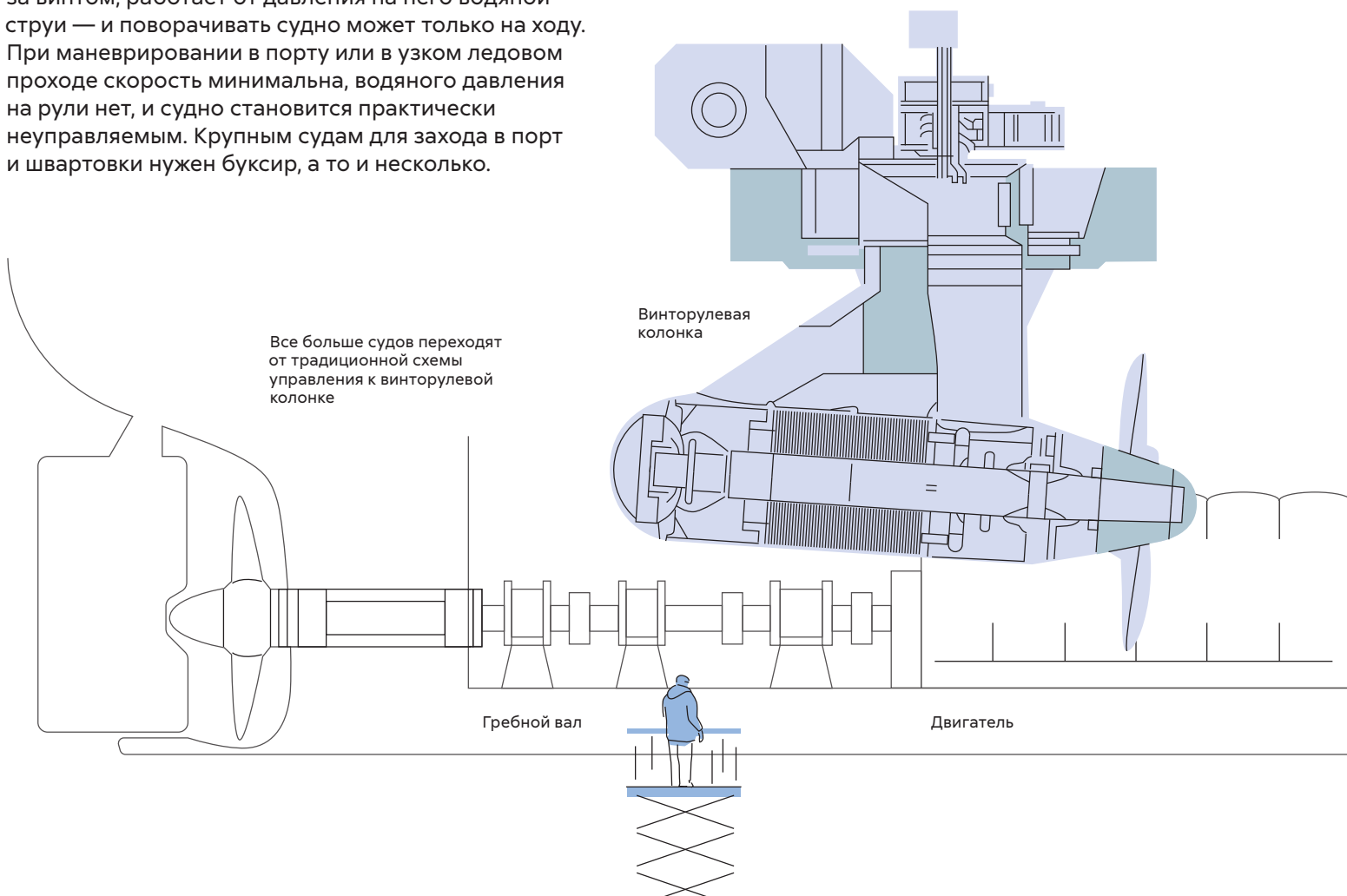
- гребной вал проходил через несколько отсеков, и требовался сложный механизм их герметизации;
- при движении во льдах лед давал сильную и неравномерно распределенную нагрузку на корпус — вся огромная конструкция с гребным валом подвергалась ударам и вибрациям.

Кроме того, при такой конструкции винта судно не слишком маневренно. Руль, расположенный за винтом, работает от давления на него водяной струи — и поворачивать судно может только на ходу. При маневрировании в порту или в узком ледовом проходе скорость минимальна, водяного давления на рули нет, и судно становится практически неуправляемым. Крупным судам для захода в порт и швартовки нужен буксир, а то и несколько.

## От гребного вала — к электродвижению

Проблемы решались в несколько этапов, и первый из них — переход с механической передачи энергии винту на электрическую. Дизельный двигатель работает по-прежнему, но теперь не вращает гребной вал напрямую, а производит энергию для компактного и менее инертного электродвигателя.

Такой подход давал сразу два преимущества. Электродвигатель позволял избавиться от длинного гребного вала, потому что размещался ближе к кормовой части судна и непосредственно к винтам. Но главное — электропривод намного быстрее меняет режимы работы и реагирует на нагрузки. Это важно при движении во льдах, когда нужно за доли секунды менять момент и скорость вращения винта.





### Azipod

Специалисты привычно называют винторулевую колонку *Azipod* — по названию первой и самой известной торговой марки. Первая такая колонка была установлена на судно в 1990 г. В России винторулевые установки типа *Azipod* производят на судовой верфи «Звездочка» и новом судостроительном комплексе «Звезда».

Эксплуатация Северного морского пути в части доставки углеводородов вообще стала возможна только благодаря винторулевой колонке. Танкеры могут преодолевать льды без поддержки ледоколов, заходить в порты и швартоваться без буксиров, что дает колоссальную экономию времени и технических мощностей.

### Поворот винта

На следующем шаге еще больше сблизился винт и двигатель. Винт крепился на коротком гребном валу. Вал вместе с электродвигателем поместили в водонепроницаемую гондолу под корпусом судна. Вся эта конструкция целиком могла вращаться на 360°. Так и появилась винторулевая колонка.

Винторулевая колонка полностью решает проблему маневренности. Она становится активным рулем — судно может двигаться в любом направлении и поворачивать на самом малом ходу. Если добавить к этому систему динамического позиционирования, когда судно без помощи штурмана способно удерживать неподвижное положение, автоматически включая винт и подруливая им, винторулевая колонка становится незаменимым инструментом. Даже крупные суда, намного крупнее исследовательских, могут самостоятельно заходить в порты, маневрировать и швартоваться.


### Ледопроходимость

Еще капитаны ледоколов с традиционной схемой винта заметили, что, когда судно выходит из тяжелых льдов задним ходом, ледопроходимость у него выше. Винты начинают фрезеровать лед, тем самым помогая продвижению судна.

В случае с винторулевой колонкой этот эффект используют по максимуму. Для арктических судов изготавливают винты с острыми кромками, которые более эффективно режут лед, и судно таким образом может преодолевать ледовые переемы, которые не прошло бы при движении носом. Этот эффект более выражен для крупнотоннажных судов, но и для научно-исследовательских он тоже присутствует. ✎





An aerial photograph showing a dense green forest covering most of the landscape. In the lower-left and lower-center, there is a small settlement or industrial site with several buildings, some with blue roofs, and a parking area. A dark blue lake is visible in the bottom right corner, with a rocky shoreline. The text is overlaid in the center of the image.

**Микробный  
препарат  
для очистки  
морских  
систем**

# Риски при загрязнении морей

Нефть попадает в морскую среду разными способами: с плохо очищенными сточными водами с суши и судов, из-за утечек при добыче и транспортировке, а также естественным путем, при просачивании из нефтеносного слоя.

Попав в воду, нефть негативно влияет на всех морских обитателей. Животные, птицы и рыбы могут отравиться, умереть от удушья и голода. Нефтяная пленка препятствует фотосинтезу, нарушаются цепи питания. Особенно страдают организмы, обитающие в прибрежной зоне, как на поверхности воды, так и на дне.

**Механический.** Сбор нефти с поверхности вручную и машинными способами. Нефтяное пятно ограничивают с помощью плавучих заграждений (бонов) и откачивают специальными насосами.



**Термический.** Сжигание слоя нефти при его достаточной толщине. При образовании тонкой пленки горение прекращается из-за теплоотвода в толщу воды. Поэтому разлив локализируют, утолщая слой до нескольких сантиметров, а затем сжигают его.



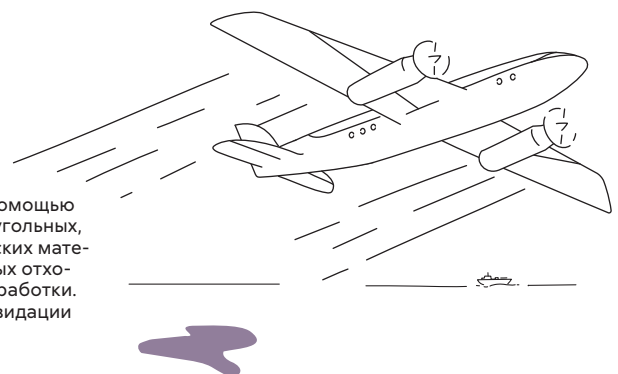
**Химический.** Очистка с помощью различных сорбентов — угольных, синтетических, органических материалов или промышленных отходов, например, деревообработки. Подходит только для ликвидации плавающего слоя нефти.

## Биотехнологии в очистке загрязнений

Выбор способа и технологии очистки зависит от характера загрязнений. Виды загрязнений можно условно разделить на две большие группы — аварийные и хронические. По статистике, доля аварийных разливов нефти довольно низкая. Гораздо больший «вклад» вносят хронические, локальные загрязнения при эксплуатации морского транспорта.

Механические, термические и химические методы очистки подходят в первую очередь для ликвидации аварий, то есть при значительной площади разлива и большой толщине нефтяной пленки, когда нужно быстро устранить основные последствия.

Когда нужно добиться полного очищения, используются препараты, разработанные микробиологами с применением штаммов углеводородокисляющих микробов. Биопрепараты применяют при небольших хронических загрязнениях, на последних стадиях ликвидации аварий, в случаях сложного рельефа местности — в заболоченных местах или на участках с изрезанной береговой линией. Но как вышло, что ученые вообще решили использовать микробы?



# Основа биопрепарата



Мир микробов разнообразен и сильно отличается от нашего. Бактерии практически никогда не живут в идеальных условиях и используют для питания даже те вещества, которые для других организмов не представляют ценности. Отличный пример — углеводородокисляющие микробы.

Расщеплять углеводороды могут далеко не все бактерии, но некоторые виды смогли приспособиться использовать нефтепродукты в качестве основного источника энергии. Чаще всего те, которые изначально обитали в местах высачиваний нефти и газа.

Биопрепарат — это не микробы в чистом виде, а смесь из микробов и питательных веществ, заключенная в технологическую форму.

## Идея биопрепарата не нова

Идея использовать препараты на основе микроорганизмов для деструкции нефтяных загрязнений возникла в середине прошлого века, и с тех пор на рынке появились десятки такие препаратов. Вот только предназначены они были для теплого климата, ведь чем выше температура, тем выше скорость химических реакций.

## Экологические биотехнологии

Биотехнологии в целом сконцентрированы на том, чтобы использовать полезные и иногда неожиданные свойства живых систем в интересах человека. А экологические биотехнологии фокусируются на утилизации загрязнений, и одно из таких применений — биопрепараты для утилизации нефтяных загрязнений.

# Микробы в Арктике

Человек активно осваивает Арктику — строятся порты, нефтяные терминалы, увеличивается грузопоток и количество судов, идущих через Северный морской путь. Чем более бурно развивается хозяйственная деятельность, тем выше риск ущерба для морских и прибрежных экосистем.

Задача исследователей — разработать технологию, которая будет эффективна в специфических условиях Арктики. Биологический метод очистки подходит по своим особенностям, но есть серьезное ограничение — низкие температуры. Значит, нужны микроорганизмы, которым холод не страшен.

-4...+8 °C — температура воды в арктических морях и та температура, при которой придется применять препарат.

## Какие микробы подходят для препарата

Штаммы микробов для биопрепарата, который будет использоваться в Арктике, должны обладать несколькими важными свойствами. Они должны быть приспособлены к низким температурам и выделены преимущественно там, где планируется применять препарат (аборигенные штаммы). Должны выдерживать сушку и гранулирование, то есть перевод в технологическую форму, и быть способны долго храниться в высушенном состоянии. И, конечно, доказанная эффективность утилизации углеводов — главный критерий.

### Алгоритм разработки биопрепарата

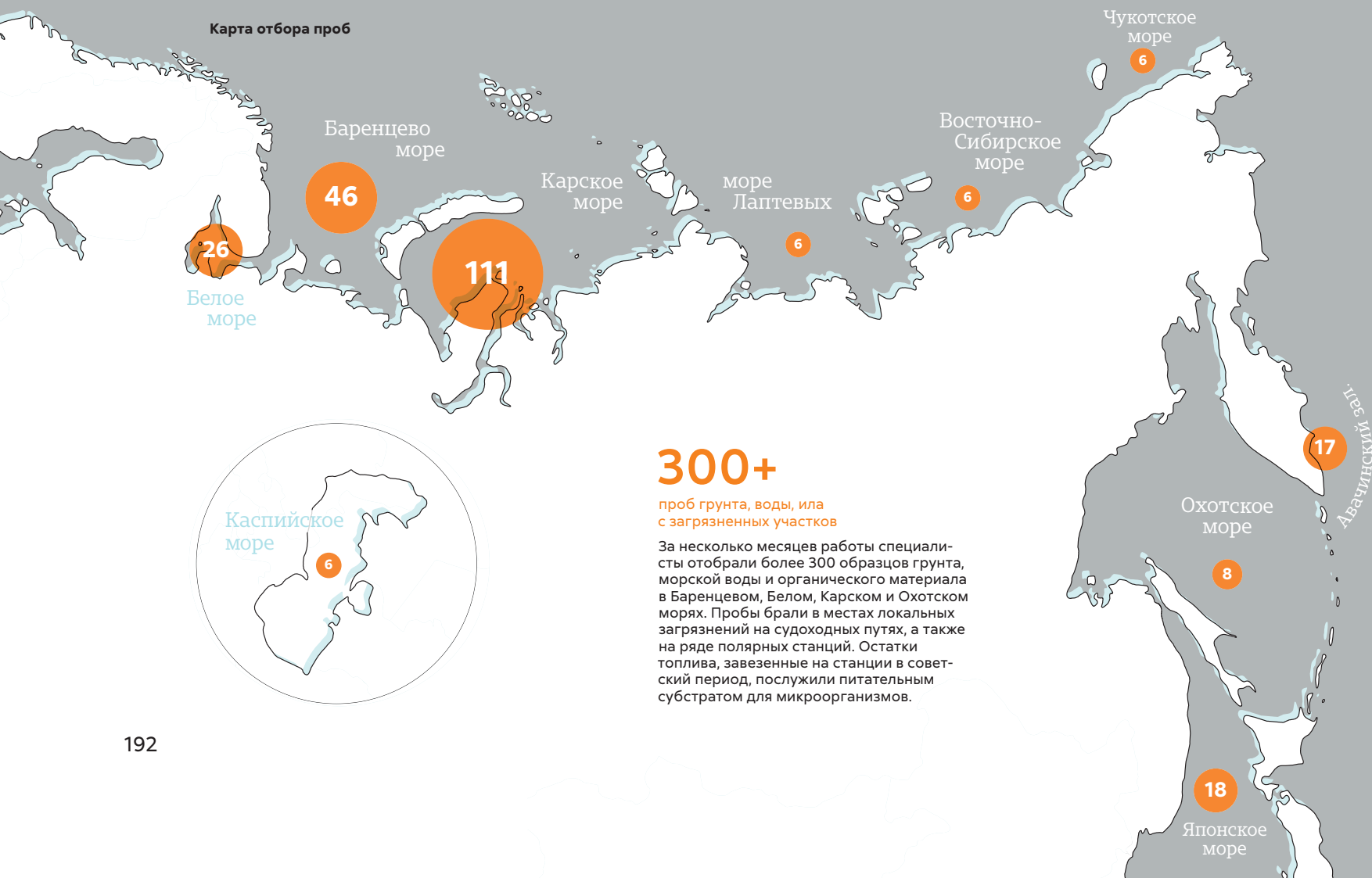
Найти подходящие штаммы → Выбрать самые перспективные виды микроорганизмов → Определить состав будущего препарата → Придать препарату технологическую форму → Масштабировать производство → Протестировать в лаборатории → Проверить в условиях реального моря

## Экспедиция за штаммами

В природе есть микробы на все случаи жизни, и проблема скорее в их разнообразии, чем в недостатке. Задача исследователей на первом этапе — найти подходящие штаммы микроорганизмов и отобрать наиболее активные из них. Поиск штаммов начинается с экспедиции.

В 2014 году научная группа из сотрудников Арктического научного центра «Роснефти», компании «Иннопрактика» и биологического факультета МГУ имени М. В. Ломоносова впервые отправилась в арктические экспедиции на поиск подходящих микроорганизмов. Шанс найти наиболее активные штаммы был выше именно в Арктике, поскольку аборигенные микроорганизмы уже приспособлены к низким температурам.

→ с. 81



224 проб

# Отбор штаммов в лабораторных условиях

## 1. Культивирование

После передачи проб в лабораторию из них выделяют микроорганизмы, отвечающие заданным требованиям. В колбах создают условия для роста штаммов — селективную питательную среду с высокой соленостью и единственным источником энергии в виде углеводов. Цикл культивирования холодолюбивых (психрофильных) организмов длительный — каждый эксперимент занимает от 10 до 60 суток. К тому же ученым пришлось доработать лабораторное оборудование для поддержания низких и отрицательных температур.

66 активных микроорганизмов

## 2. Выделение чистых культур

Микробиологи проводят рассев образцов на чашки Петри так, чтобы микроорганизмы росли внутри одной чашки Петри отдельными колониями. Это помогает разделить сообщество на отдельные чистые культуры. Нужно провести не менее пяти пассажей (пересевов), чтобы убедиться в чистоте выделенной культуры. Из-за низкой температуры культивирования каждый пересев может занять до недели. После этого возможно определить активность конкретных штаммов и идентифицировать их.

## 3. Экспресс-оценка эффективности

Перед детальной оценкой специалисты выполняют дополнительный этап визуальной оценки активности отобранных штаммов. На чашки Петри с культурой микроорганизмов наносят смоченный нефтью бумажный фильтр, по «осветлению» которого можно сделать первичный вывод об эффективности отобранных культур. Такой простой на первый взгляд этап занимает до 3 дней, в отличие от полноценной работы длиной не менее 10 дней.



38 штаммов

## 4. Идентификация

Позволяет определить видовую принадлежность отобранных микроорганизмов. Для этого выделяют ДНК бактерий и проводят секвенирование, то есть прочтение последовательности нуклеотидов определенных ее участков. Обычно 1500 прочитанных нуклеотидов достаточно для установления вида микроорганизма. Из образцов были выделены микроорганизмы родов *Psychrobacter*, *Arthrobacter*, *Pseudoalteromonas*, *Leucobacter*, *Rhodococcus* — суммарно более 60 видов, для которых характерна эффективная утилизация углеводов.

29 штаммов

## 5. Оценка убыли углеводов

Определяется активность каждого микроорганизма и его пищевые предпочтения. Метод газожидкостной хроматографии позволяет детально проанализировать, насколько эффективно выбранные микроорганизмы справляются с утилизацией нефти. Оказалось, что некоторые штаммы способны в лабораторных условиях утилизировать до 80 % нефтепродуктов в течение 30 суток.

## 6. Формирование коллекции

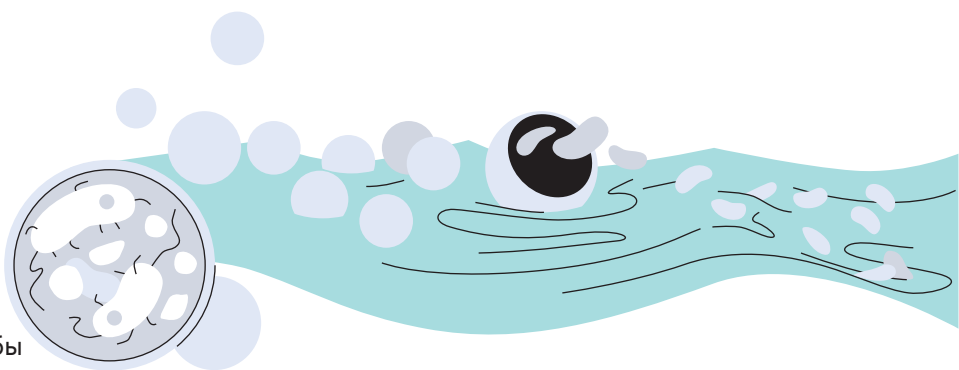
Чтобы закрепить за собой право на найденные микроорганизмы, недостаточно просто выделить и сохранить в лаборатории нужные штаммы. Для оформления патентов нужно передать штаммы в специализированную коллекцию, например Всероссийскую коллекцию промышленных микроорганизмов. В подобных центрах микроорганизмы дополнительно проверяют на принадлежность к указанному виду и сохраняют в течение десятков лет.

### Как хранят коллекцию микроорганизмов

Для длительного хранения биомассу микроорганизмов чаще всего высушивают способом распылительной или лиофильной сушки. В лабораторных условиях штаммы также хранят в замороженном виде в низкотемпературном холодильнике при  $-80^{\circ}\text{C}$  — так их удобнее всего восстанавливать для экспериментальной работы.

# Технологическая форма препарата

Отобранный учеными микроорганизм, каким бы эффективным он ни был, — это еще не биопрепарат. Препаратом он становится после придания ему технологической формы, то есть такого состояния, в котором можно его долго хранить и транспортировать. А еще — применять именно там, где требуется. Не всегда возможно доставить препарат к месту загрязнения, например, на труднодоступный участок береговой линии в условиях шторма. Это значит, что компоненты препарата должны будут долго находиться в воде, прежде чем начнут контактировать с углеводородными загрязнениями.



Концепция биопрепарата предполагает получение гранулированной формы, покрытой тонкой гидрофобной оболочкой.

Гранула содержит высушенные клетки микроорганизмов и питательные вещества, необходимые для начала их активного роста.

Гидрофобная оболочка, покрывающая гранулу, растворима в углеводородах нефти и слабо растворима в водной среде.

Гранулы плавучи. Когда они попадают в морскую воду, то распределяются по поверхности, а оболочка при контакте с нефтью начинает растворяться. Клетки микроорганизмов активизируются, а питательные вещества в составе гранулы стимулируют их рост и размножение.

Активация происходит только в зоне загрязнения — так обеспечивается наиболее эффективный расход препарата.

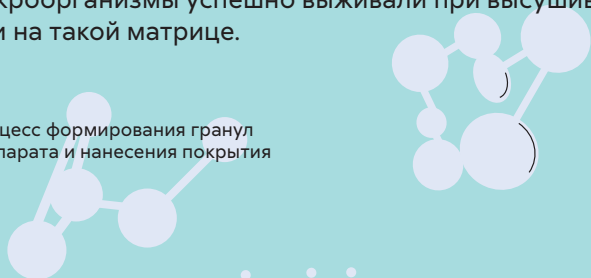
## Алгоритм разработки технологической формы

Тестирование премиксов → Высушивание и грануляция биомассы → Создание гидрофобной оболочки → Отработка технологии производства → Тестирование в лабораторных и реальных условиях

### Тестирование премиксов

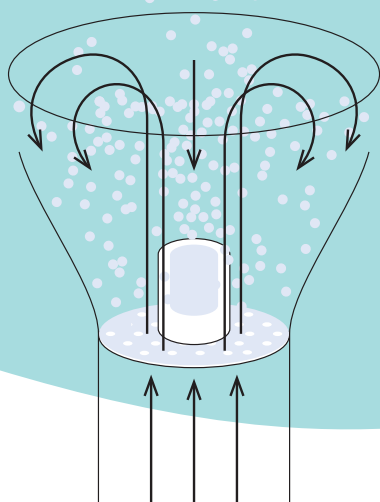
Премикс — питательные добавки для стимуляции микробного роста на первом этапе работы микроорганизмов, когда гидрофобная оболочка начала растворяться. В качестве премикса биопрепарата используется комбинация соевой и пшеничной муки. Эти вещества оказались удобно использовать в качестве не только питания, но и носителя — микроорганизмы успешно выживали при высушивании на такой матрице.

Процесс формирования гранул препарата и нанесения покрытия



### Высушивание и грануляция биомассы

Смесь премикса и микробной биомассы гранулируется распылением в псевдооживленном слое. Специальная установка с помощью форсунок распыляет жидкость с содержанием твердой фазы. Вода смачивает твердые частицы и испаряется, а вокруг частиц слой за слоем образуются гранулы. Средний размер гранул от 0,75 до 2 мм — такие гранулы обеспечивают оптимальную выживаемость микробных клеток и сохраняют положительную плавучесть в морской воде. Гранулированный препарат стабилен при длительном хранении, его удобно упаковывать и перевозить.



# Тестирование в аквариальной системе

Моделирование нефтяных загрязнений в реальном море невозможно с экологической точки зрения. Одним из вариантов тестирования стало применение проточных аквариальных систем на базе Беломорской биологической станции. За счет постоянного притока в них свежей морской воды были полностью смоделированы условия морской среды. Обычно подобные системы применяют для исследований морских беспозвоночных, но они оказались удобны и для микробиологических работ.

В ходе тестирования исследователи отсекали ряд штаммов, эффективных в лабораторных условиях, но в условиях реальной морской воды окисляющих углеводороды значительно хуже.

Изначально в испытания взяли более 80 штаммов и их комбинаций. После аквариальной системы отобрали 29. Также эксперименты показали, что нижний порог рабочей температуры +4 °С может быть снижен до -2,5 °С, при которых в морской воде начинает формироваться лед. Даже при наличии льда некоторые штаммы продемонстрировали суммарную убыль нефтепродуктов до 62 % в течение 60 суток. Таких штаммов оказалось 15 из 29.

## Гидрофобная оболочка

Ключевое свойство биопрепарата — способность к активации непосредственно в зоне углеводородного загрязнения. Она достигается путем нанесения на каждую гранулу оболочки. На готовые гранулы напыляется раствор, а после испарения растворителя он образует оболочку. В качестве материала используются органические воски и парафины, при этом подбираются компоненты, которые полностью утилизируются микроорганизмами.

Для того чтобы окончательно убедиться в эффективности препарата, придется покинуть лабораторные стены. Нужна проверка активности микроорганизмов в условиях, максимально приближенных к реальным.

## Новый корпус аквариальных систем на Беломорской биологической станции МГУ

В процессе разработки микробного препарата ученые выяснили, что аквариальная система не только успешно отсекает не самые эффективные штаммы, но и позволяет провести более глубокие исследования, в том числе количественную оценку убыли нефтепродуктов в ледовых условиях.

Корпус проточных аквариальных систем на ББС модернизировали и сделали полигоном для круглогодичных испытаний микробного препарата. Здесь проводятся финальные испытания технологической формы препарата: оценки эффективности, нормирования расхода препарата, моделирования его распределения при различных погодных условиях.



## Беломорская биостанция им. Н. А. Перцова

Беломорская биологическая станция им. Н. А. Перцова Биологического факультета МГУ была основана в 1938 г. по инициативе академика Льва Александровича Зенкевича, который руководил в те годы кафедрой зоологии беспозвоночных. От университета требовалось выпускать специалистов, хорошо знакомых с методами работы на море, морской флорой и фауной, а для этого необходим морской стационар — Кандалакшский залив Белого моря оказался удачным местом для создания такой площадки.

Биостанция расположена на территории заказника «Полярный Круг», таким образом, все практические курсы и научные исследования на ББС идут в условиях нетронутой заповедной северной природы. Биостанция представляет собой изолированный поселок, включающий около 50 различных зданий.

Огромная заслуга в его строительстве и в создании биостанции в ее современном виде принадлежит директору станции с 1951 по 1987 г. Николаю Андреевичу Перцову — сегодня биостанция носит его имя.

66°34' N,  
33°08' E

Географические  
координаты  
биостанции



# Отработка технологии

В лабораторных условиях можно получить ограниченное количество препарата — 1–2 кг. Чтобы получать препарат в промышленных количествах, нужно отработать все процессы в большом объеме и учесть несколько нюансов.

1. В больших объемах питательной среды микробы растут не так, как на чашках Петри, — отличаются скорость роста и динамика потребления питательных веществ. Технологи последовательно выращивают бактерии в объемах от 10 л до нескольких кубометров, чтобы подготовить регламент наработки — самые оптимальные параметры для большого объема.
2. Добавляется этап концентрирования биомассы, потому что крайне неудобно работать с жидкостью в больших объемах, в лаборатории такой проблемы нет.
3. При крупном масштабе сушки и грануляции могут отличаться параметры процесса — температура сушки, размер частиц, размер гранул, толщина оболочки. Компонентный состав препарата тоже может поменяться — например, добавятся какие-либо вещества для меньшей слипаемости гранул при псевдооживлении или формирования более крупных гранул.

В итоге исследователи получают технологический регламент: на каком оборудовании и как можно получить партию препарата, которая отвечает заданным свойствам. С регламентом технолог сможет на любой площадке со схожим оборудованием и штаммами микроорганизмов организовать производство препарата.

## Распылительная сушка

В этом аппарате при высокой температуре жидкая биомасса распределяется на очень мелкие капли, которые мгновенно высыхают в потоке горячего воздуха. На выходе получается очень мелкий порошок высушенных клеток, который можно долго хранить, а также применять для изготовления более удобных форм препарата.

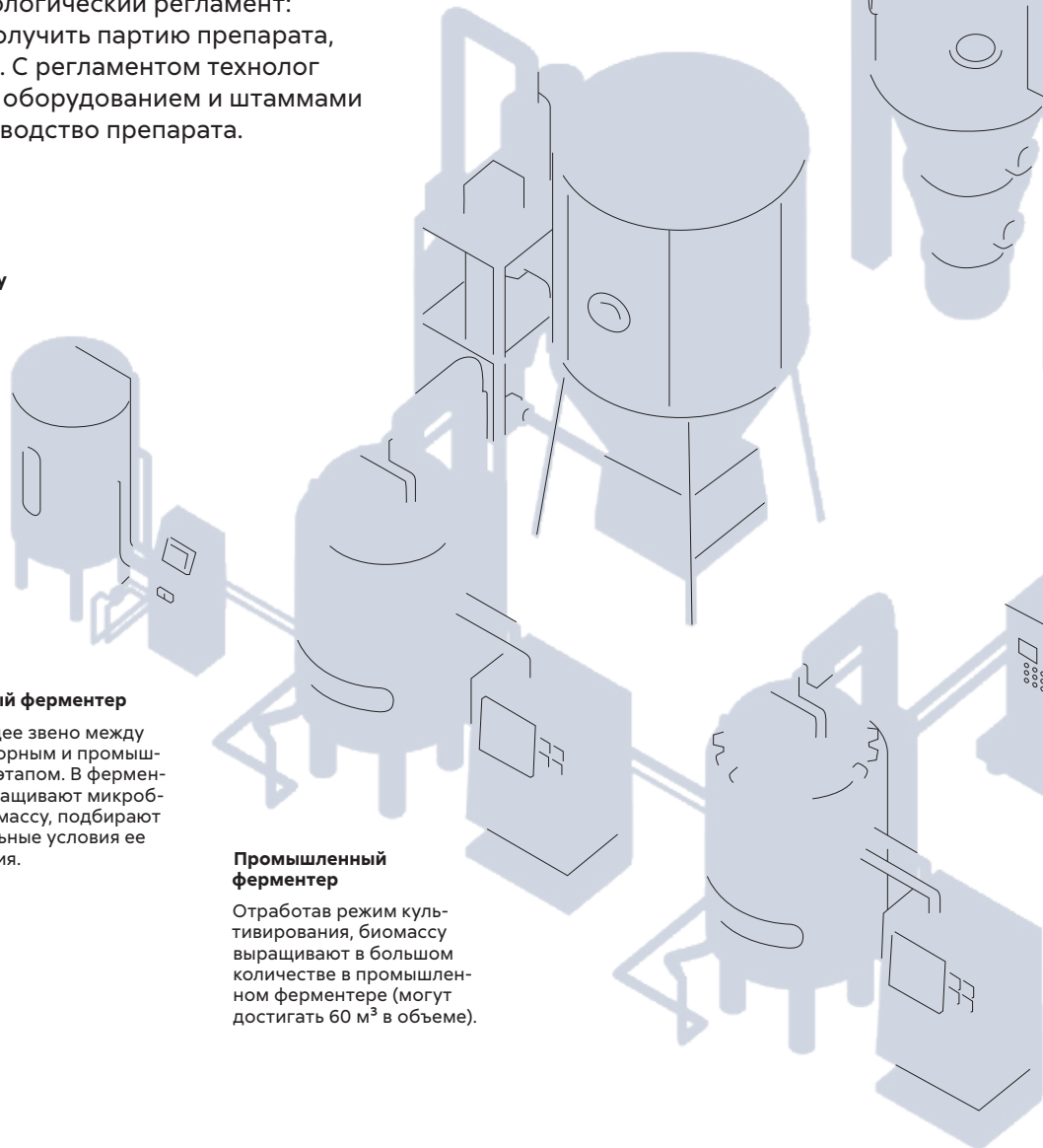
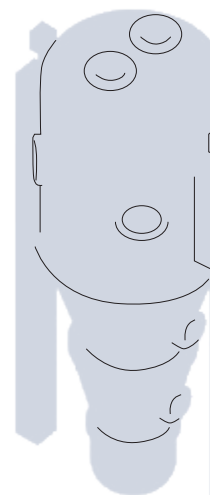
## Технологический комплекс по производству биопрепарата

### Пилотный ферментер

Связующее звено между лабораторным и промышленным этапом. В ферментере выращивают микробную биомассу, подбирают оптимальные условия ее получения.

### Промышленный ферментер

Отработав режим культивирования, биомассу выращивают в большом количестве в промышленном ферментере (могут достигать 60 м<sup>3</sup> в объеме).





# Результаты испытаний микробного препарата

В результате исследований удалось перейти от фундаментальной науки и знаний к практической реализации проекта:

- разработать технологическую форму препарата, которая обеспечивает целевую доставку компонентов в зону загрязнения;
- разработать такую технологическую цепочку, которая позволяет получить препарат в промышленных количествах;
- убедиться в безопасности штаммов микроорганизмов для человека и теплокровных животных — все выбранные штаммы не патогенны и не аллергенны, а значит, могут использоваться при производстве препарата.

## Аппарат псевдооживленного слоя

Задача этого аппарата — получение гранулированной формы препарата. В восходящем потоке воздуха сухая биомасса смешивается с питательным премиксом, и за счет смачивания жидкостью происходит формирование гранул. Процесс называют грануляцией в псевдооживленном (кипящем) слое — частицы непрерывно находятся в движении, как бы подвешены в потоке воздуха — процесс их перемешивания напоминает кипение жидкости.

После формирования гранул на них в этом же аппарате наносится материал покрытия — он наносится в виде раствора непосредственно на движущиеся гранулы. За счет этого их можно покрыть тонкой и равномерной оболочкой.

Модернизирован корпус проточных аквариальных систем для испытаний препарата. Все конечные формы препарата будут испытаны дополнительно, что подтвердит их эффективность в условиях Арктики. Кроме того, на базе корпуса могут проводиться исследования экосистем северных морей, которые также вносят вклад в фундаментальную и прикладную науку.

## Фасовочная линия

Финальная стадия — упаковка продукта. Важно сохранить полученный препарат, чтобы клетки микроорганизмов как можно дольше сохранили жизнеспособность, а препарат — свою эффективность.

## Проточная центрифуга

Чтобы с биомассой было удобно работать, необходимо уменьшить ее объем без потери клеток, то есть сконцентрировать. Объем уменьшается в несколько раз, для этого могут применять различные технологии (проточное центрифугирование, вакуум-выпарное или мембранное концентрирование).

224

пробы из четырех арктических морей

66

активных микроорганизмов выделены в виде чистых культур

38

штаммов прошли этап видовой идентификации

29

штаммов детально проанализированы аналитическими методами

Из них

14 способны утилизировать углеводороды при температуре +4 °C

15 при температуре -2,5 °C

3

формы биопрепарата планируется зарегистрировать для использования в различных температурных диапазонах: до +4 °C; до +1 °C ±0,5; до -2 °C ±0,5 при наличии ледовых условий

# Чистая Арктика

Активное освоение Арктики началось с первых десятилетий XX века, большая работа по исследованию региона была проделана в советский период. Со времен «покорения природы» здесь остались многочисленные следы хозяйственной деятельности, в том числе разливы горюче-смазочных материалов, которые в больших объемах завозились для работы научных, метеорологических баз и военных объектов.

В последние годы ответственное отношение к природным ресурсам стало одним из приоритетов освоения региона: хрупкие северные экосистемы требуют бережного к себе отношения. Важным аспектом работы исследователей становится не только разработка ответственных подходов к изучению Арктики, но и минимизация накопленного за долгие годы экологического ущерба.



Пробы грунта были взяты на острове Земля Александры

## Старт проекта

Чтобы оценить масштабы загрязнения при освоении Арктики во времена СССР, был начат совместный комплексный проект ПАО «НК «Роснефть» и национального парка «Русская Арктика» — «Чистая Арктика». Проект стартовал в 2019 году с инициативой восстановления экосистемы самых северных территорий России и заповедного архипелага Земля Франца-Иосифа, входящего в состав национального парка. Проект продолжает работы 2012–2017 годов по ликвидации накопленного экологического ущерба на островах архипелага Земля Франца-Иосифа и на Новой Земле в границах национального парка.

В задачи ученых входят:

- определение границ участков накопленного экологического ущерба;
- анализ динамики содержания горюче-смазочных материалов в почве;
- оценка воздействия исторического наследия на экосистемы островов особо охраняемой природной территории.

Рекомендации ученых должны помочь определить необходимый объем работ по ликвидации загрязнений и рекультивации арктических грунтов.

## 2019

На первом этапе работ специалисты Института географии РАН и научные сотрудники национального парка «Русская Арктика» провели исследовательские работы на острове Земля Александры. Он находится в архипелаге Земля Франца-Иосифа, в Северном кластере национального парка. На острове провели масштабную уборку территории от накопленного мусора, однако почвы не были очищены. Ученые выяснили, что арктические мерзлотные почвы способны к естественной биоремедиации за счет микроорганизмов, утилизирующих нефтепродукты и другие загрязняющие вещества.

### Национальный парк «Русская Арктика»

Самая северная и одна из самых крупных особо охраняемых природных территорий России. Площадь национального парка — 8,8 млн гектаров. Парк расположен на двух полярных архипелагах в Архангельской области: северная часть Новой Земли и арх. Земля Франца-Иосифа. Постоянно проживающего населения на территории нет, зато здесь обитают семь видов животных, занесенных в Красную книгу, в том числе белый медведь, атлантический морж, кит нарвал и гренландский кит.



## 2020

Новые данные ученые получили в ходе экспедиции на остров Хейса архипелага Земли Франца-Иосифа. Были обнаружены нефтепродукты, которые оказались «законсервированы» в мерзлых породах — при наступлении полярного лета они вытаивают и поступают в воды Баренцева моря. В Институте физики Земли РАН изготовили специальное оборудование для бурения, с помощью которого отобрали керны для определения глубины проникновения загрязнения.

Ученые проекта «Чистая Арктика» определили механизм миграции нефтепродуктов: при сезонном оттаивании грунта нефтепродукты вместе с талыми водами переносятся поверхностным стоком, достигая морской акватории в незначительных концентрациях за счет разбавления водой. Летом временные водотоки превращаются в цепочки изолированных водоемов, по берегам и на дне которых осаждаются нефтепродукты из поверхностных пленок. Год от года эти водоемы приближаются к береговой линии и попадают в Северный Ледовитый океан.

С помощью квадрокоптеров на острове Хейса проводились аэровизуальные наблюдения изменений экологического состояния загрязненных участков. Они позволяют сравнить современное состояние загрязненных участков с данными аэрофотосъемки, выполненной в том же месте три года назад. Это поможет проследить изменения арктических ландшафтов после «большой арктической уборки». Лабораторные исследования отобранных проб позволяют определить содержание нефтепродуктов и видовой состав микробных сообществ в грунтах и почвах острова Хейса. Камеральные работы ведутся как в самом национальном парке, так и в лабораториях Института географии РАН, Почвенного института им. Докучаева РАН, Института микробиологии им. С. Н. Виноградского РАН, Геологического факультета МГУ имени М. В. Ломоносова.

## 2021

ПАО «НК «Роснефть» и национальный парк «Русская Арктика» приступили к реализации третьего, завершающего этапа проекта по изучению влияния хозяйственной деятельности на арктические экосистемы. В экспедиции специалисты отобрали пробы грунта на островах Земля Александры и Хейса, чтобы с помощью микробиологических исследований проанализировать динамику и характер изменений, происходящих на загрязненных территориях. По результатам мониторинга уже сегодня можно сделать выводы о способности арктических экосистем к самоочищению. По итогам исследований будет составлен комплексный план, который утвердит способы, состав и объем необходимых работ по устранению вторичных загрязнений и рекультивации арктических грунтов на участках архипелага. 📍

### «Закалка» микроорганизмов

Нефтепродукты, попадая в грунт, не только уменьшают численность микроорганизмов, но и изменяют соотношение различных групп внутри микробного сообщества. В загрязненных грунтах получают преимущество те виды, которые способны утилизировать находящиеся там вещества. В то же время за счет такой перестройки может увеличиться интенсивность биоремедиации — на загрязненных почвах бактерии начинают активно потреблять нефтепродукты, используя их как питательный субстрат и разрушая их в результате своей жизнедеятельности.



Картогра

An underwater photograph showing a purple seagrass plant on the left side, with its long, thin leaves extending towards the right. The bottom is a sandy and silty substrate. The background is dark, suggesting a deep or dimly lit environment. The text is overlaid in white, bold, sans-serif font.

**фирование  
донных  
сообществ**

# Самые чуткие биоиндикаторы живут на дне

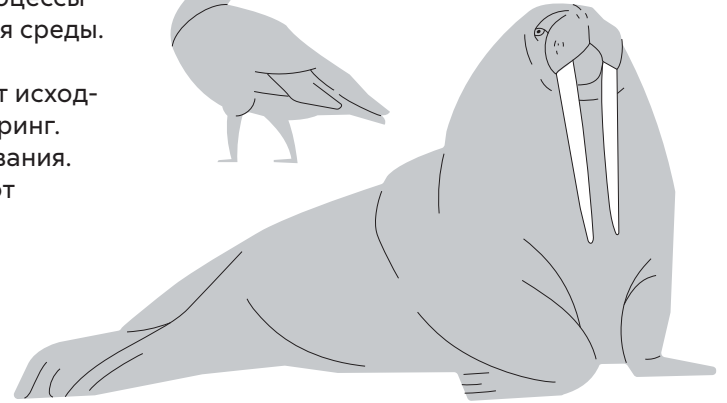
Любая деятельность человека влияет на экосистему. Задача исследователей — научиться измерять это воздействие и найти способы свести его к минимуму. Один из способов контролировать процессы в экосистеме — следить за видами — индикаторами состояния среды.

Сначала ученые проводят фоновую съемку, то есть оценивают исходное состояние экосистемы, а затем ведут регулярный мониторинг. Фоновая съемка — обязательный и длительный этап исследования. Исходные данные собирают в течение 3–4 лет до начала работ на участке.



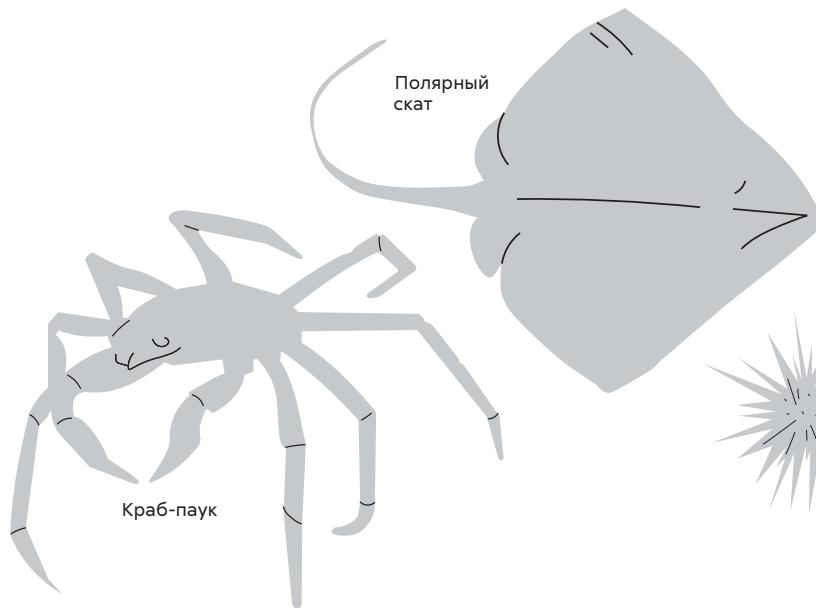
Белошекая казарка

Морж



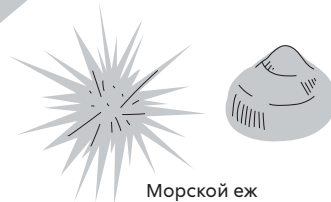
## Биоиндикаторы

Виды и группы видов, которые отражают экологическое состояние региона. Это могут быть птицы, сухопутные и морские млекопитающие, различные виды рыб и беспозвоночных животных. → с. 98



Краб-паук

Полярный скат



Морской еж

Серрипес

Более

**3800**

общее видовое богатство морских донных сообществ Арктики

**90 %**

видов беспозвоночных животных Арктики — представители донной фауны

Морские исследования, бурение и сейсморазведка влияют в первую очередь на грунт и на живущие в нем организмы, формирующие донные сообщества.

У донных сообществ довольно длительный жизненный цикл, они в нужном нам временном масштабе реагируют на стресс-факторы: во время работ грунт перерывается, ил движется, оседают потревоженные породы, и формируется «пораженная» зона.

За счет малого размера и не слишком быстрого передвижения донные организмы удобно исследовать. Гораздо удобнее, например, чем обездвиживать белых медведей и следить за изменением гормонов у них в крови. → с. 102





Многочетинковый червь *Serpula uschakovi* живет в жесткой известковой трубке. Снаружи от нее находится только венчик щупалец, при помощи которых полихета дышит и питается.

#### Донные сообщества

Сообщества живых организмов, обитающих на дне или в его верхних слоях. Важный элемент пищевой сети Арктики, кормовая база для других животных, а еще — механизм фильтрации морских вод.

Как правило, они состоят из десятков видов беспозвоночных животных, относящихся к разным группам: ракообразные, моллюски, многощетинковые черви, иглокожие.

Самое богатое по видовому разнообразию море Российской Арктики — Баренцево, но нужно учитывать, что количество описанных видов зависит от степени изученности акватории.



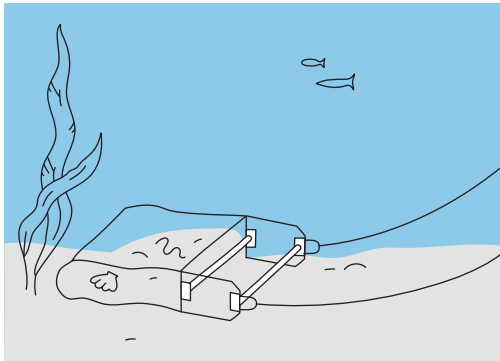
Морской паук *Nymphon grossipes* не имеет никакого отношения к наземным паукам. Это малоизученная и немногочисленная группа морских членистоногих. Встречаются на разных типах субстратов, часто на камнях и их обрастаниях, из-за чего редко попадают в дночерпатель.

Голожаберный моллюск *Coryphella verrucosa* питается гидроидными полипами и способен использовать их стрекательные клетки для собственной защиты. Типичный вид для арктических морей.

# Методы исследования донных сообществ

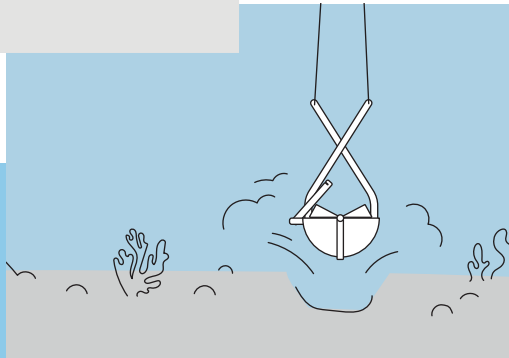
## Траление

Качественный метод исследования, который используется, когда нужно выяснить, какая вообще фауна обитает в регионе. Утяжеленный трал, похожий на рыболовный, скользит по дну и захватывает фрагменты грунта.



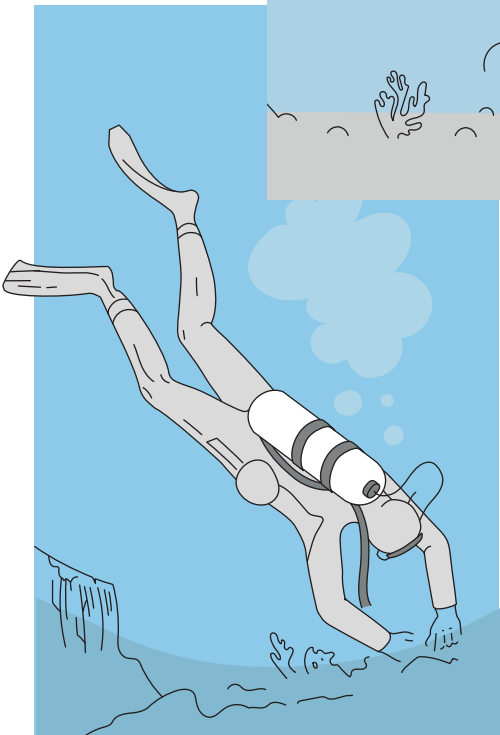
## Дночерпательная съемка

Количественный метод, при котором пробы грунта сначала извлекают → с. 207 специальным ковшом — дночерпателем, а затем исследуют состав и качество организмов в них: видовое разнообразие, численность и биомассу отдельных видов.



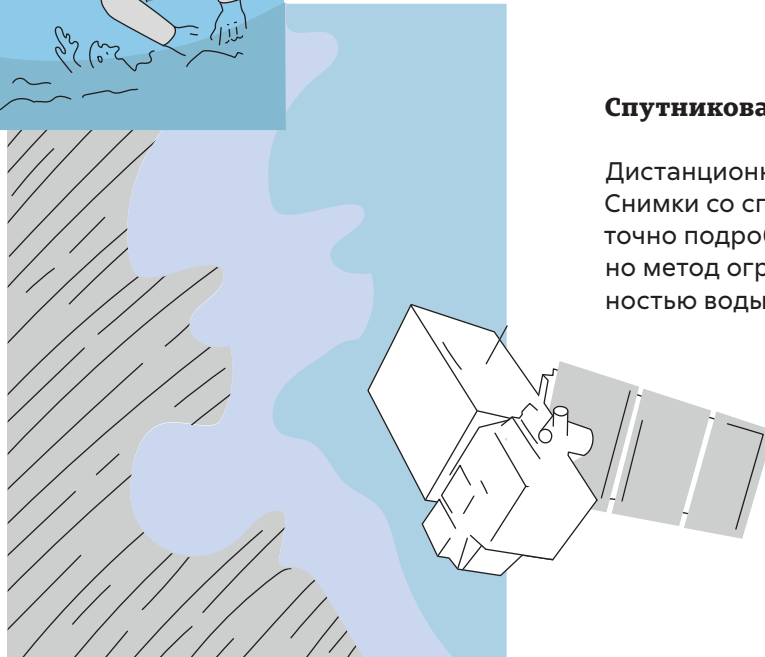
## Водолазные работы

Визуальный метод, пригодный для прибрежных исследований. Водолаз проводит фото- и видеосъемку поверхности дна либо сам берет пробы. В коммерческих масштабах этот способ не применяют из-за трудоемкости погружения на большие глубины.



## Спутниковая съемка

Дистанционный метод исследования. Снимки со спутника позволяют достаточно подробно разглядеть рельеф дна, но метод ограничен глубиной и прозрачностью воды в месте исследования.







Снимок в натуральной цветопередаче, полученный съемочной системой *Sentinel-2/MSI* от 05.03.2021 г. Западная часть острова Ром-Кей (Багамские острова). *Modified Copernicus Sentinel data 2021/Sentinel Hub, www.sentinel-hub.com, Sinergise Ltd*



Снимок в натуральной цветопередаче, полученный съемочной системой *Sentinel-2/MSI* от 02.07.2020 г. Острова Литке и Нгонярцо, Байдарацкая губа Карского моря. *Modified Copernicus Sentinel data 2020/Sentinel Hub, www.sentinel-hub.com, Sinergise Ltd*

# Подготовка к исследованию

Традиционный способ исследования донных сообществ — дночерпательная съемка. Можно назвать его историческим, потому что принцип не изменился за много лет: нужно захватить фрагмент дна, поднять его из глубины и изучить.

## Алгоритм дночерпательной съемки

Определить места фоновой съемки → Собрать пробы дночерпателем →  
Передать пробы в лабораторию → Промыть и исследовать состав организмов →  
Зафиксировать данные и нанести их на карту

Фоновая съемка проводится на всем участке, но особенно подробно — в тех местах, которые кажутся перспективными для исследования.

Лицензионный участок размечается сеткой станций — географических координат, в которых ученые будут проводить фоновую съемку и отбирать пробы. Точки определяют исходя из общих знаний об акватории, о рельефе и течениях. Сначала сетка станций редкая, но по мере нахождения перспективных участков масштаб увеличивается, а расстояние между станциями уменьшается.

### Периодичность съемки

На каждой станции нужно снимать данные регулярно, минимум раз в год

Море	Количество станций
Баренцево (в том числе Печорское)	234
Карское	123
Лаптевых	58
Восточно-Сибирское	64
Чукотское	12

**2500 км<sup>2</sup>**

самый маленький участок, в Баренцевом море

**170 000 км<sup>2</sup>**

самый крупный участок, в Карском море

Вот этот серый квадрат на развороте соответствует реальному размеру фрагмента дна, который выкусывает дночерпатель

**30 × 30 см**

Распределение станций на участке менее 100 км<sup>2</sup> — одна станция на 3–5 км<sup>2</sup>

Распределение станций на участке более 10 000 км<sup>2</sup> — одна станция на 1000–1500 км<sup>2</sup>

# Дночерпательная съёмка: плюсы, минусы, подводные камни

Для отбора проб на станцию выходит исследовательское судно, с борта судна биологи опускают дночерпатель — ковш, который выкусывает фрагмент дна фиксированной площади. Например, 0,1 м<sup>2</sup>. Пробу поднимают на палубу, а затем передают в лабораторию для исследования.

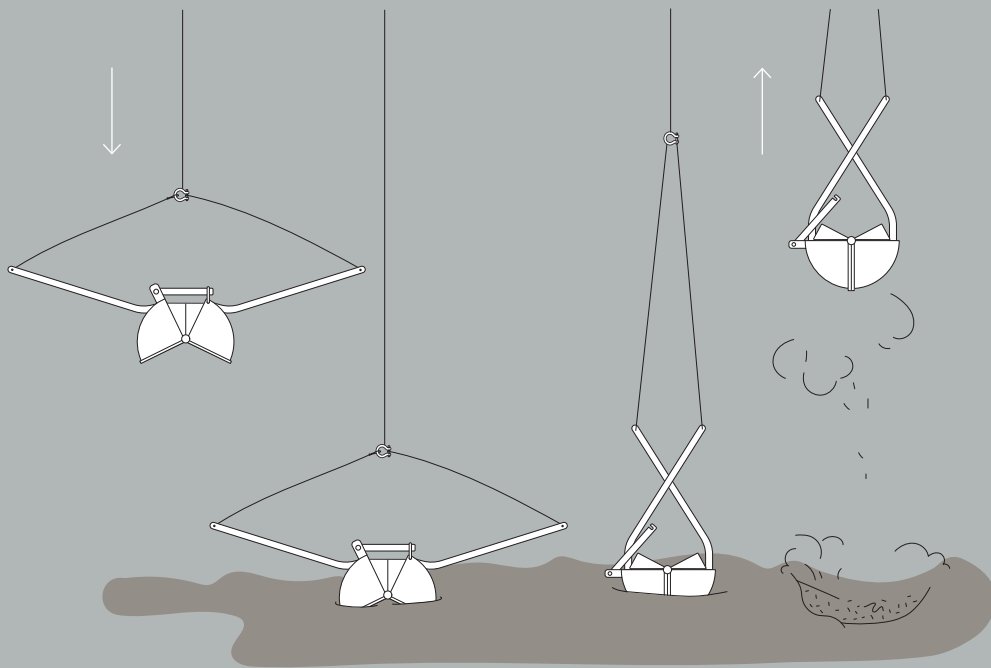
При исследовании повторных проб биологическое разнообразие сравнивают с результатами фоновой съёмки по средней биомассе, количеству видов и преобладанию одних над другими.

Результат сравнения	Вывод
Средняя биомасса пробы и видовой состав значительно не меняются	✔ Влияние на экосистему в пределах нормы
Преобладают виды, характерные для водоемов с высоким содержанием органики. Биомасса существенно выросла при упавшем видовом разнообразии	⚠ Возможен сброс органических отходов
Видовое разнообразие резко сократилось (с 50 до 3 видов), остались самые устойчивые к изменениям	❌ Значительные нарушения в экосистеме

Дночерпательная съёмка сталкивается с несколькими проблемами. Провести ее можно только на мягких и относительно ровных грунтах. На каменистом дне или на рифе дночерпатель не сможет захватить пробу. Если дночерпатель трижды приходит пустой, исследователи говорят, что пробу на этом месте взять нельзя.

Кроме того, донные сообщества расположены мозаично, неравномерно. Биологи опускают дночерпатель 1–5 раз на каждой станции, но этого все равно может быть недостаточно. Чтобы существенно повысить точность метода, нужно 25–30 проб. А это значительно повышает и срок работ на станции, и длительность лабораторных исследований.

Задача исследователей — улучшить качество съёмки, то есть повысить ее точность и ускорить исследование. Можно ли превратить точечные биологические исследования в площадные? Можно.



Среди донных организмов встречаются и крупные. Если посмотреть на дно и увидеть десяток морских звезд, пусть даже по одной на квадратный метр, — будет очевидно: здесь живут морские звезды. Но вероятность того, что звезда попадет в ковш дночерпателя, почти нулевая. Это провоцирует недоучет крупных и редких организмов.

## Сколько времени занимает исследование

Сроки работ с использованием дночерпательной съёмки складываются из трех частей:

- переходы судна между станциями. Не дольше суток;
- работа на станции. Около 3 ч при глубине до 30 м и не более пяти погружений дночерпателя;
- лабораторные исследования. Самая кропотливая часть работы — 3–4 дня на одну пробу.

## Алгоритм изучения пробы



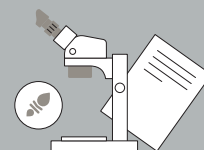
1. Изначально непромытая проба выглядит как большая горсть песка или ила.



2. Ее промывают через сито, оставляя только сами организмы. Их фиксируют формалином или спиртом.



3. Выбранные животные делятся на группы и передаются специалистам-биологам.



4. Биологи оценивают численность и биомассу организмов в пробе, по возможности определяя всех животных до вида.

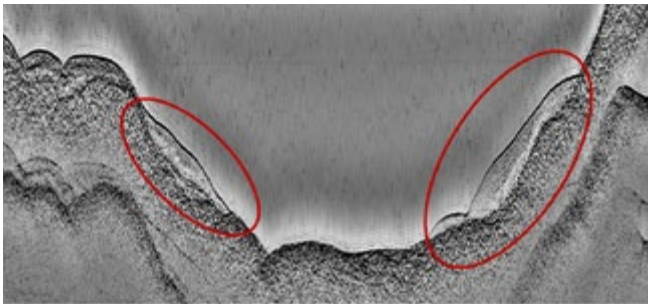
## От точечных данных к площадным

Биологические исследования — точечные. Если и можно экстраполировать данные, к примеру, дночерпательной съемки, то только на узкую область. И точность при этом будет невелика.

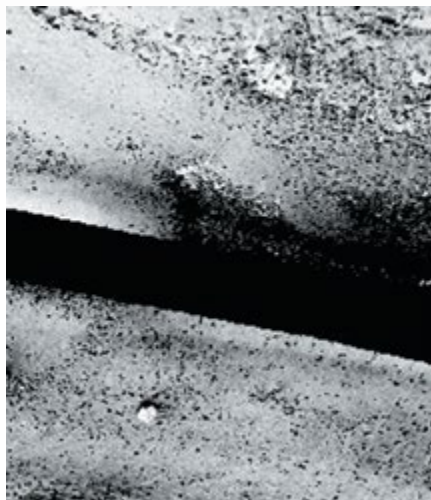
Чтобы повысить точность съемки, нужно правильно ее запланировать, то есть получить достоверные данные о состоянии дна. А для этого нужно обратиться к площадным исследованиям.

Спутниковая съемка, о которой говорилось ранее, работает только на малых глубинах и в прозрачной воде. Чтобы получить данные о состоянии дна на глубине, нужны результаты геофизических исследований.

Так видит дно высокочастотный профилограф. На иллюстрации красным отмечены оползневые тела



Так видит дно многолучевой эхолот. На рисунке приведена схема рельефа дна Белого моря в районе Беломорской биологической станции МГУ



## Инструменты площадных исследований

Три метода площадных исследований, по сути, представляют собой эхолотирование. Его принцип заключается в послании импульсов звуковых волн сквозь толщу воды. Когда импульс достигает дна, объектов на дне или растительности, он отражается от них на поверхность. Эхолот измеряет время, за которое звуковая волна достигла объекта и вернулась, и позволяет вычислить глубину. Он также измеряет силу возвращенного импульса — чем сильнее обратный импульс, тем от более твердого объекта он отразился.

### Донный профилограф

Благодаря низким частотам излучения и значительной мощности обеспечивает проникновение акустического сигнала глубоко в донный грунт, чтобы получить картину вертикальной структуры донных отложений. Позволяет получать информацию о десятках сантиметров осадка на поверхности дна. Иногда вместо донного профилографа для целей картографирования донных сообществ ученые используют сейсморазведку высокого и сверхвысокого разрешения. Этот метод дает результаты, сравнимые с данными профилографа.

→ с. 65

### Многолучевой эхолот (МЛЭ)

Выполняет площадную съемку и строит высокоточную карту рельефа дна. В отличие от однолучевого эхолота прибор передает веерообразный акустический импульс в сторону дна и фиксирует отраженный сигнал.

### Гидролокатор бокового обзора (ГЛБО)

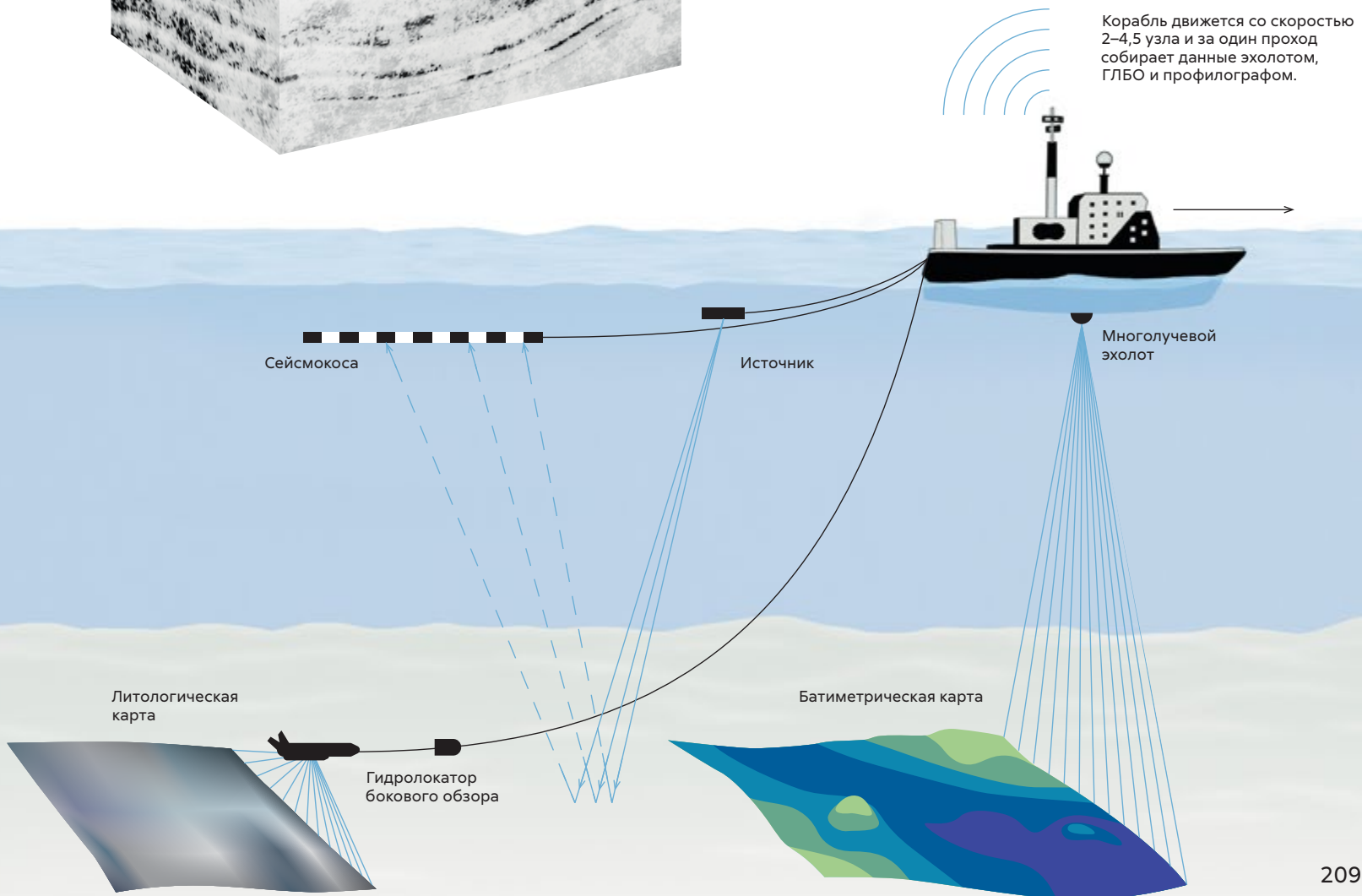
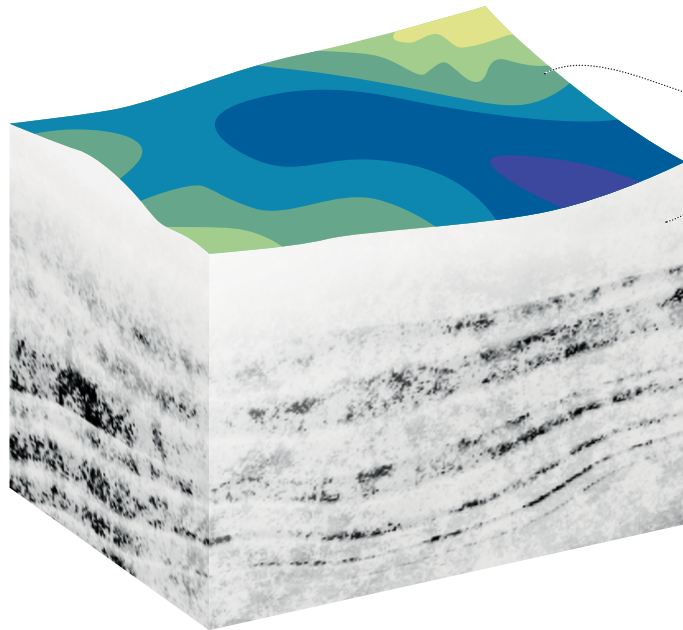
Позволяет получить достоверную площадную информацию о гранулометрическом составе донных осадков в первую очередь. Изначально разработан для поиска затонувших объектов, сейчас применяется в инженерных исследованиях, изучении рельефа, поиске археологических объектов и для экологического мониторинга.

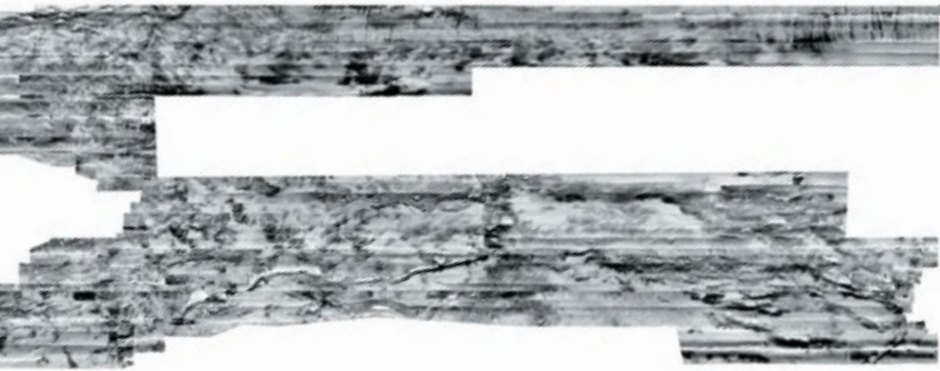
Так видит дно гидролокатор бокового обзора. На рисунке фрагмент профиля с выделяющимися объектами — валунами на дне

# Сбор геофизических данных

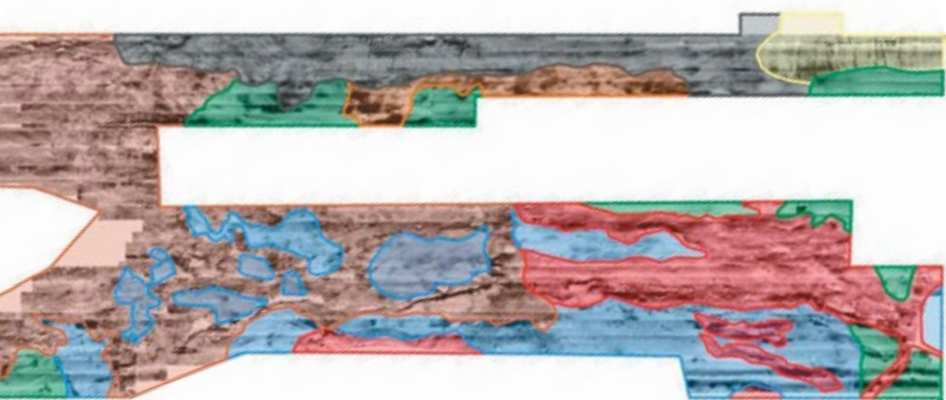
## Алгоритм применения комплексных методов

Пройти по дну эхолотом, гидролокатором и профилографом → Собрать данные о глубине, рельефе, составе грунта и течениях → Выбрать оптимальные точки биологических исследований → Провести исследования → Совместить результаты геофизики и биологии согласно критериям → Экстраполировать результаты исследований сразу на большую площадь акватории





Мозаика гидролокации бокового обзора и однородные области разных типов грунтов, выделенные на ней



#### Использование ГЛБО для картографирования донных сообществ

Основано на следующих закономерностях:

- имеется достаточно тесная связь между типом осадков и составом донного населения;
- на сонограммах могут быть надежно определены границы между донными осадками различного типа;
- отраженный акустический сигнал характеризует не только тип осадков, но и состав донных сообществ — различные виды живых организмов и результаты их жизнедеятельности существенно влияют на микро-рельеф поверхности дна, изменяя и его акустические характеристики.

## Для чего составлять карты

Многие донные биотопы являются критически важными местами обитания, в том числе для редких и краснокнижных видов. Также ряд биотопов сам по себе может быть уязвимым — например, рифы из губок или холодноводные коралловые рифы, восстановление которых происходит крайне медленно.

Кроме того, многие подводные биотопы важны в качестве кормовой базы рыб или зон питания моржа. Арктические моря (за исключением Баренцева) остаются относительно малоизученными, и многие из критически важных мест обитания, имеющих в этих морях, до сих пор не обнаружены. Комплексное картографирование подводных ландшафтов может помочь обнаружить уязвимые места обитания. Использование комплексных карт биотопов позволит корректно планировать хозяйственные работы, чтобы минимизировать или исключить вред особо уязвимым местам обитания.

Для анализа, интерпретации данных и построения карт распределения донных сообществ на всей площади исследователи используют биологические и геолого-геофизические характеристики.

#### Геолого-геофизические характеристики

- отражающая способность грунта (илы обладают низкой отражающей способностью, в то время как гравий, галька, валуны — высокой отражающей способностью);
- однородность осадка (дисперсия): высокие показатели дисперсии характерны для плохо сортированных осадков, т. е. содержащих разные гранулометрические фракции в равных долях;
- сортированность грунта: преобладание мелкодисперсных частиц, таких как алеврит и пелит или грубообломочного материала;
- монотипность грунта (мера преобладания доминирующей фракции грунта) и другие характеристики.

#### Биологические характеристики

- биомассы и численности доминирующих видов;
- результаты классификации донных сообществ.

Видовое разнообразие животных, населяющих твердые субстраты, намного выше разнообразия донного населения мягких грунтов. Но жители каменистых грунтов редко попадают в пробу, отбираемую дночерпателем. Чтобы получить достоверную информацию о донных сообществах, приуроченных к валунам, каменным россыпям, рифам, нужно применять комплексный подход, включающий не только отбор проб, но и геофизические и визуальные методы наблюдений



# Тестирование методики на Беломорской биостанции

В 2016 году «Роснефть» разрабатывала методику картографирования донных сообществ с помощью комплекса методов. Он включал традиционную дночерпательную бентосную съемку, геофизические наблюдения с помощью ГЛБО, МЛЭ и профилографа, а также визуальные наблюдения с телеуправляемого подводного аппарата (ТНПА), который погружается с борта судна, управляется оператором и в режиме реального времени передает картинку морского дна.

Исследования для разработки методики проводили на тестовом полигоне, расположенном в проливе Великая Салма в Белом море рядом с Беломорской биологической станцией МГУ им. М. В. Ломоносова — ББС МГУ. Акватория вокруг ББС МГУ — одна из наиболее изученных за полярным кругом.

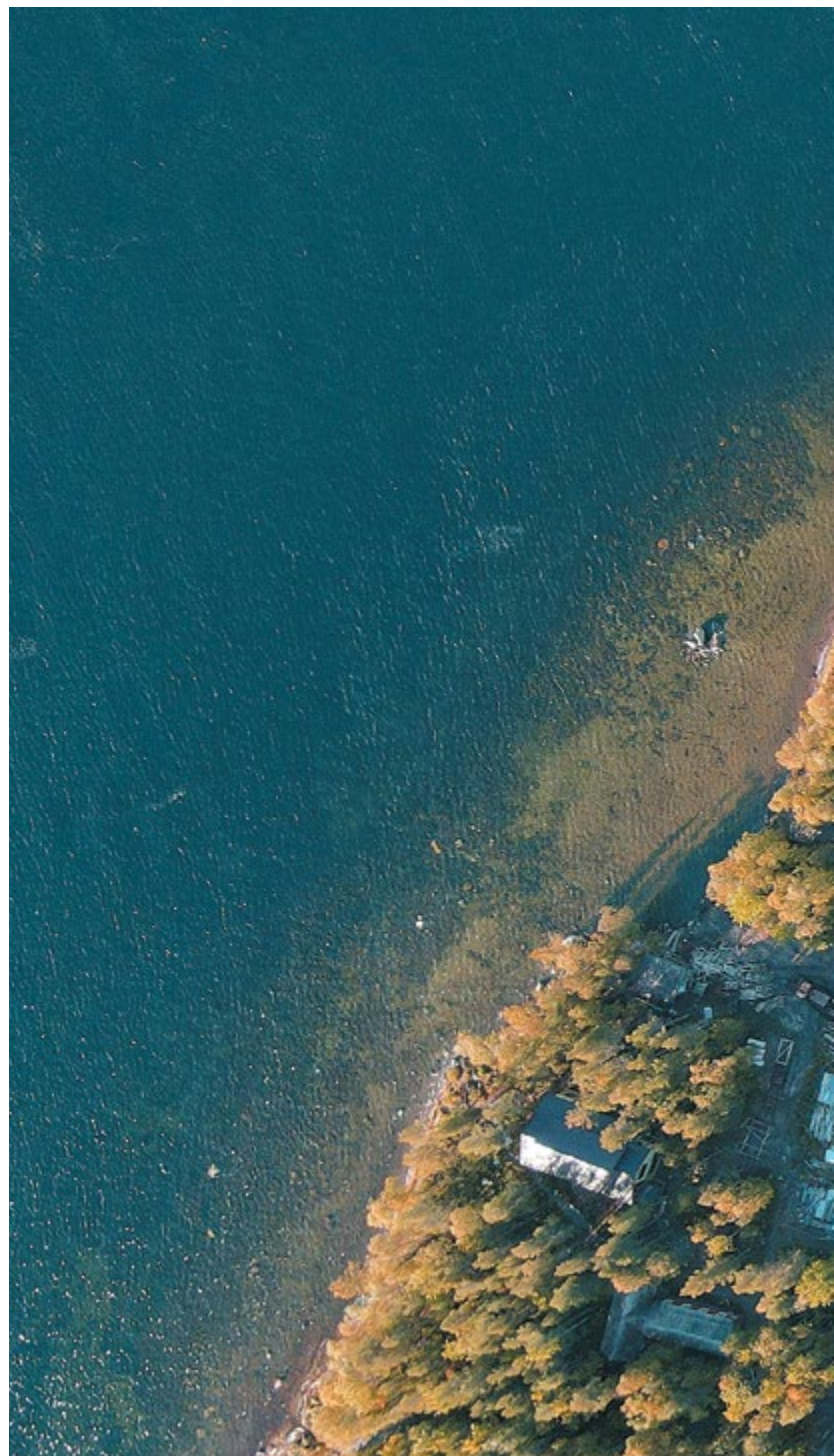
→ с. 195

Полученные на станциях бентосных исследований данные экстраполированы на участки дна, для которых известны литологические характеристики и подводный рельеф, полученные при съемке гидролокатором бокового обзора и многолучевым эхолотом.

Комплексный анализ данных ГЛБО и МЛЭ позволил выделить участки дна, однородные по рельефу и осадкам. Данные ТНПА позволили визуально интерпретировать и дополнительно охарактеризовать полученные выделы и дополнить описание информацией о количественных характеристиках бентоса.

Сочетание всех трех методов (ГЛБО, ТНПА, МЛЭ) позволяет не только рационально и с меньшими затратами спланировать сетку станций, но и более полно характеризовать фауну донных сообществ и эффективно картографировать высоко мозаичные донные сообщества.

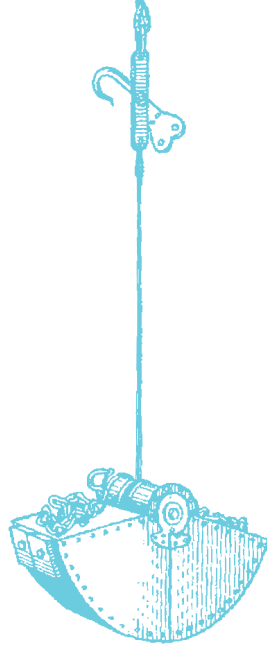
Дистанционные акустические методы применялись, как рекомендовано, перед прямым отбором проб, поскольку акустическое дифференцирование грунтов и выделение подводных структур мезорельефа дают возможность выбрать наиболее подходящие точки для верификации дистанционных данных и обнаружить районы, в которых условия отличны от однородных.



Беломорская биологическая станция МГУ, аэрофотоснимок







## Прогресс результатов картографирования

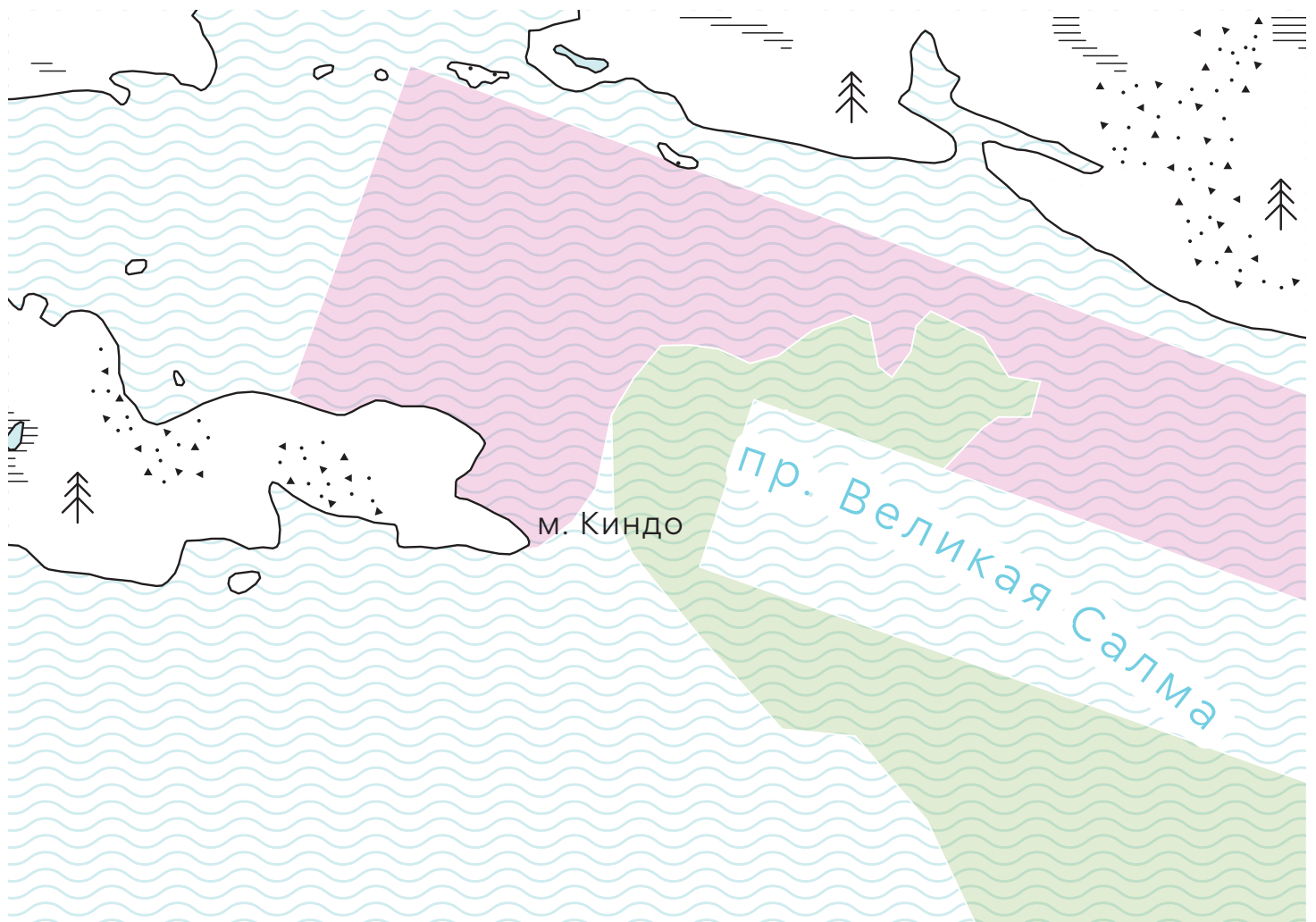
→ с. 204

На фрагменте карты выделены два комплекса донных сообществ. Материал для карты собирался в 1953–1960 годах с помощью качественных (трал и драга) и количественных (дночерпатель) методов. Ученые отметили «крайнюю ненадежность» результатов съемки дночерпателем на участках с сильным течением и твердыми грунтами. Для описания фауны таких участков в 1960 году привлекли аквалангистов-любителей.

Карта опубликована в работе В. А. Броцкой, Н. Н. Ждановой и Н. Л. Семеновской «Донная фауна Великой Салмы и прилежащих районов Кандалакшского залива Белого моря».

Карта распределения донных сообществ по результатам дночерпательной съемки 1963 года

- Astarte elliptica* — *Galathowenia oculata*
- Сообщества эпифауны

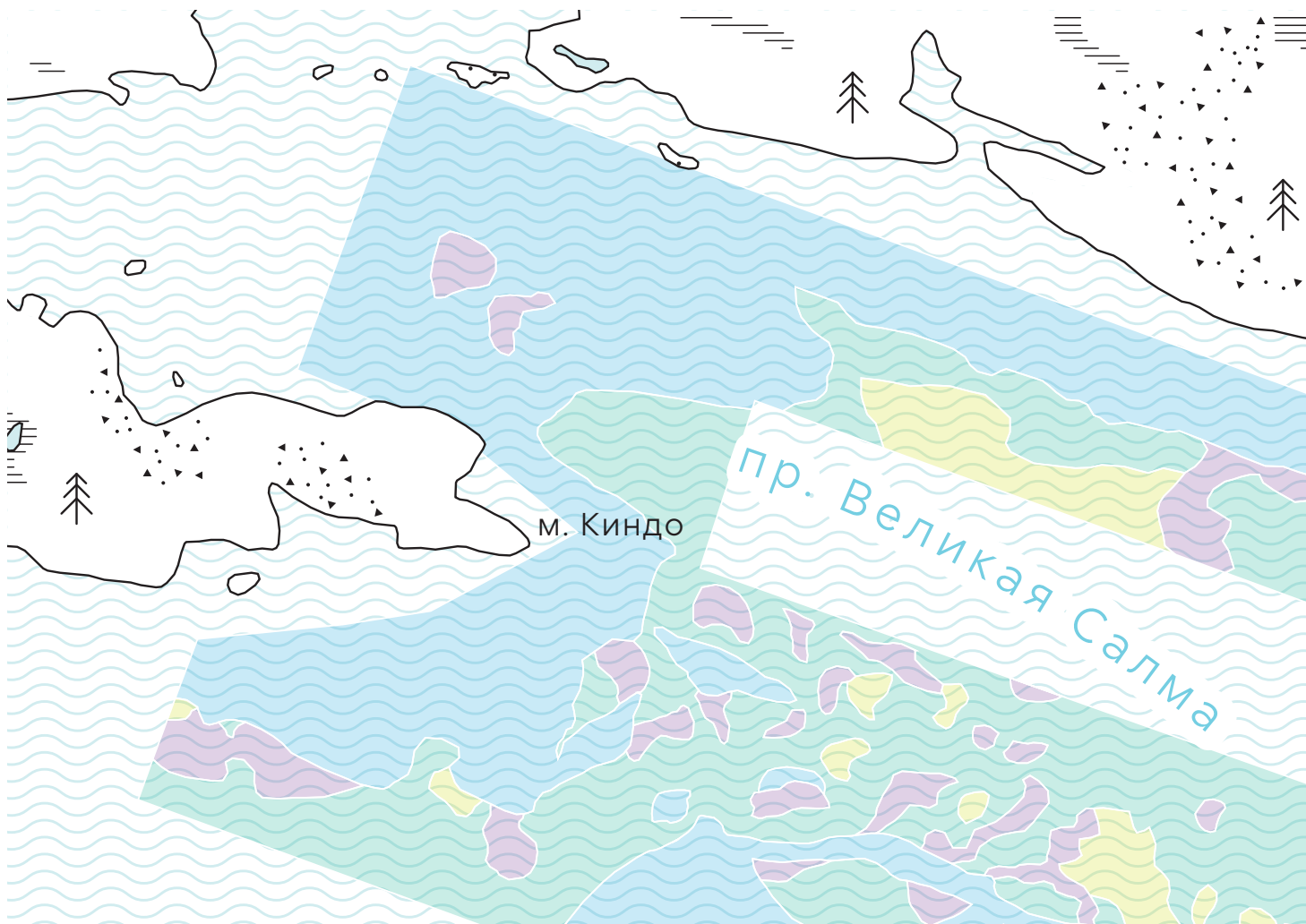


В результате разработки методики построения карт с использованием данных традиционных биологических исследований и дистанционных геофизических данных на тестовом полигоне на Белом море в 2016 году была построена карта, предсказывающая распределение донных сообществ.

На исследуемой акватории выделено четыре типа сообществ. Для сравнения использованы данные съемки полувековой давности, выполненной традиционными методами. Применение разработанной методики позволило надежно выделить на карте границы сообществ, относящихся в том числе и к каменистым грунтам.

Карта распределения донных сообществ, по результатам комплексной съемки 2016 года

- Galathowenia oculata* — *Chaetozone setosa*
- Macoma calcarea* — *Scoloplos acutus*
- Каменистые грунты, фауна которых представлена обрастателями
- Сообщества *Galathowenia oculata* — *Chaetozone setosa*, для которых предполагаются тенденции перехода в сообщество *Portlandia arctica*



An aerial photograph of a rugged coastline. The foreground is dominated by deep blue, slightly rippled water. In the middle ground, a series of steep, rocky cliffs rise from the water's edge. The cliffs are a mix of brown and tan colors, with patches of white snow or ice clinging to their upper slopes and crevices. The background shows a flat, snow-covered plain extending to the horizon under a clear, light blue sky with a few wispy clouds.

**ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ**



**Оценка  
чувствительности  
берегов**



## Оценка экологической чувствительности берегов

Берега неоднородны — на них встречаются скалы, отмели, пологие болотистые участки. Каждый из типов берега по-разному реагирует на присутствие человека и его хозяйственную деятельность.

### Что такое экологическая чувствительность

Экологическая чувствительность — это степень уязвимости морских побережий к последствиям хозяйственной деятельности человека. В 1978 году ученые предложили индекс чувствительности окружающей среды — ESI (*Environmental Sensitivity Index*). На основе натурных исследований выделили 10 уровней экологической чувствительности и 25 типов береговых линий — от тундровых и арктических до мангровых зарослей.

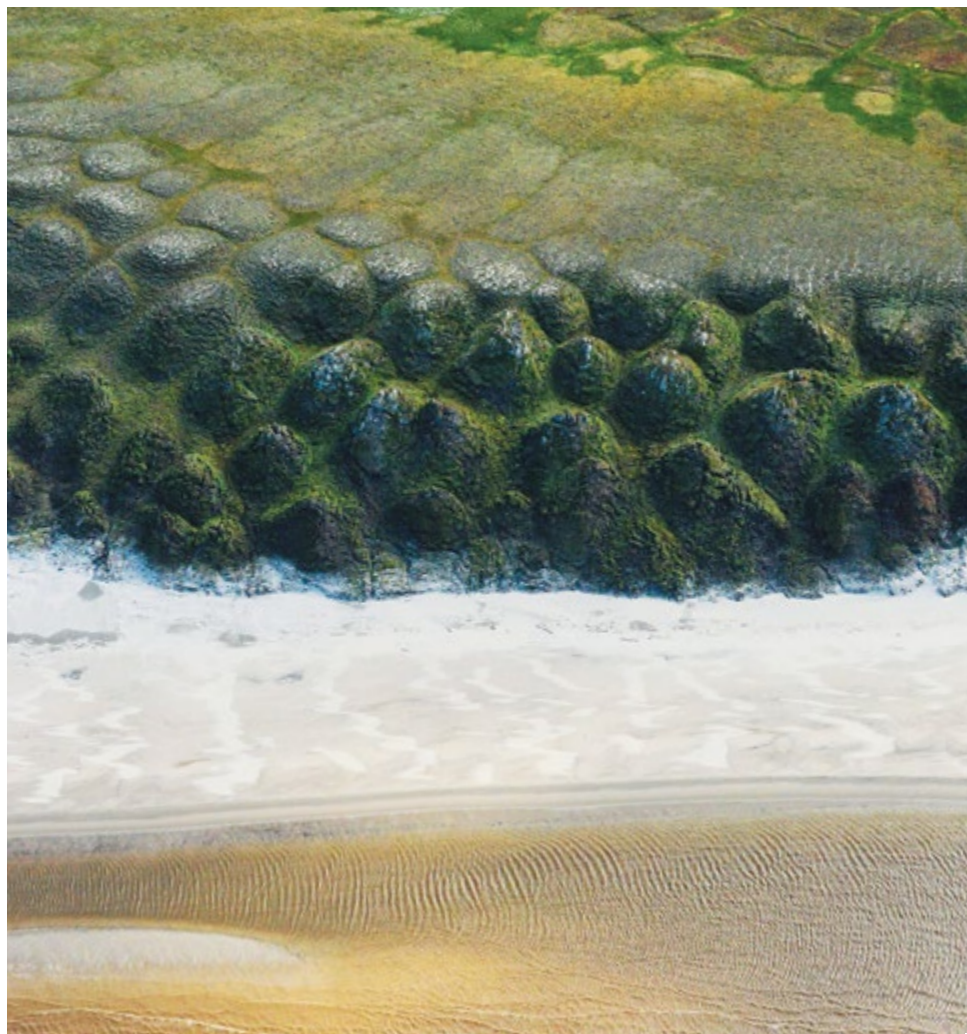
Какую бы экспедицию или работу ни готовили исследователи — она всегда начинается и заканчивается на берегу. Помимо того что берег является границей двух сред и служит преградой на пути любых загрязнений, в прибрежной зоне выше разнообразие видов животных и птиц. Поэтому берега изучают не менее пристально, чем акваторию.


Нужно знать, какие участки требуют первоочередного внимания, как разместить пункты с необходимым оборудованием и материалами и распределить усилия в случае непредвиденных ситуаций. Чтобы спланировать все это, нужна карта экологической чувствительности берегов.



Остров Зверобой, Пясинский залив, западное побережье полуострова Таймыр

Район устья реки Ядарейяха, западный берег полуострова Явай, Гыданский полуостров





## Карта экологической чувствительности

Для построения карты нужны актуальные данные о состоянии береговой зоны и ее геоморфологических характеристиках. Источником таких данных могут быть спутниковая и аэрофотосъемка, полевые изыскания и накопленные результаты исследований в регионе.

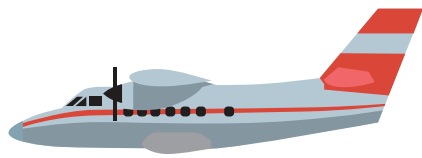
Чем более масштабные хозяйственные и научные работы планируются в море, тем подробнее должна быть карта. В процессе исследований Арктики компания «Роснефть» составляла карты экологической чувствительности для Баренцева, Карского морей и моря Лаптевых.

Для побережья Карского моря в 2013–2014 годах составлялись самые детальные карты — в масштабе 1:200 000. Использовались снимки со спутника, материалы полевых исследований на берегах Ямала и Югорского полуострова, литературные и фондовые данные. Но основным инструментом картографирования стала аэрофотосъемка.

**Геоморфология** — наука о рельефе — неровностях земной поверхности — его внешнем облике, происхождении, истории развития, современных процессах в нем и закономерностях его распространения

Северный берег острова Песцовый, Плавниковые острова, западное побережье полуострова Таймыр

# Лаборатория в воздухе



**Самолет-лаборатория Л-410 «Норд» используется для проведения исследований в сложных условиях арктического региона**

Дальность полета — 1800 км

Продолжительность полета — 6 ч

Высота полета — 100–4000 м

Скорость — 230–300 км/ч

Количество мест для бортнаблюдателей — 5 блистеров

Для аэрофотосъемки выбрали самолет Л-410 «Норд», подходящий для работы в сложных условиях арктического региона. Важны были высокая дальность полета, возможность установить все необходимое съемочное оборудование и обеспечить места, с которых ученые смогут вести ручную съемку.

## Алгоритм аэрофотосъемки

*Выбор подходящего самолета → Оснащение съемочным оборудованием → Составление плана полетов → Полет по маршруту и сбор данных → Фильтрация полученных данных → Камеральный этап: обработка данных и построение карт.*

Самолет на скорости 230–300 км/ч движется вдоль береговой линии, а съемка ведется одновременно с автоматических камер и вручную бортнаблюдателями через специальные выпуклые иллюминаторы — блистеры. В полете работают шесть систем сбора информации.

ОЦЕНКА ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ ЧУВСТВИТЕЛЬНОСТИ БЕРЕГОВ

### Комплекс визуальных наблюдений

Визуальные наблюдения ведут геоморфолог и биолог. Геоморфолог надиктовывает в диктофон форму рельефа берега, наличие вмешательства человека и степень загрязненности. Отмечаются характер побережья (скалы, пляжи, дельты) и тип субстрата (коренная порода, песок, галька, валуны, болота). Особо отмечаются скопления плавника и крупнообломочного материала, наличие кос, банок, баров, рифов. Биолог учитывает морских млекопитающих и птиц, определяя встреченных особей до вида.

### Комплекс регистрации пространственного положения

Собирается навигационная информация с GPS о скорости, высоте, крене и тангаже, что помогает точно рассчитать положение самолета и привязать снимки к координатам.

### Прицельная фотосъемка для фиксации отдельных объектов

Операторы с помощью камер с телеобъективами ведут съемку отдельных животных или загрязнений из свободных иллюминаторов и блистеров.

### Автоматизированная система управления авиасъемочной аппаратурой

Система отвечает за сбор и синхронизацию всей поступающей информации.

### Перспективная непрерывная съемка берегов

В блистере на правом борту установлен впередсмотрящий фотоаппарат, который делает снимок каждые 3–5 секунд.

### Комплекс авиасъемки фиксированными камерами

Фотоаппарат, тепловизор и обзорная видеокамера установлены в нижнем люке. Комплекс используется для фоновой съемки вблизи берега. Фотоаппарат делает снимки каждые 5–15 секунд, тепловизор снимает постоянно с углом обзора около 30 градусов.



По данным  
с 23.09 по 4.10.2014 г.

В воздухе

**9 48 ч**  
полетов общее полетное время

**12 945 км**  
общая протяженность полетов

**5170 км**  
в режиме исследования

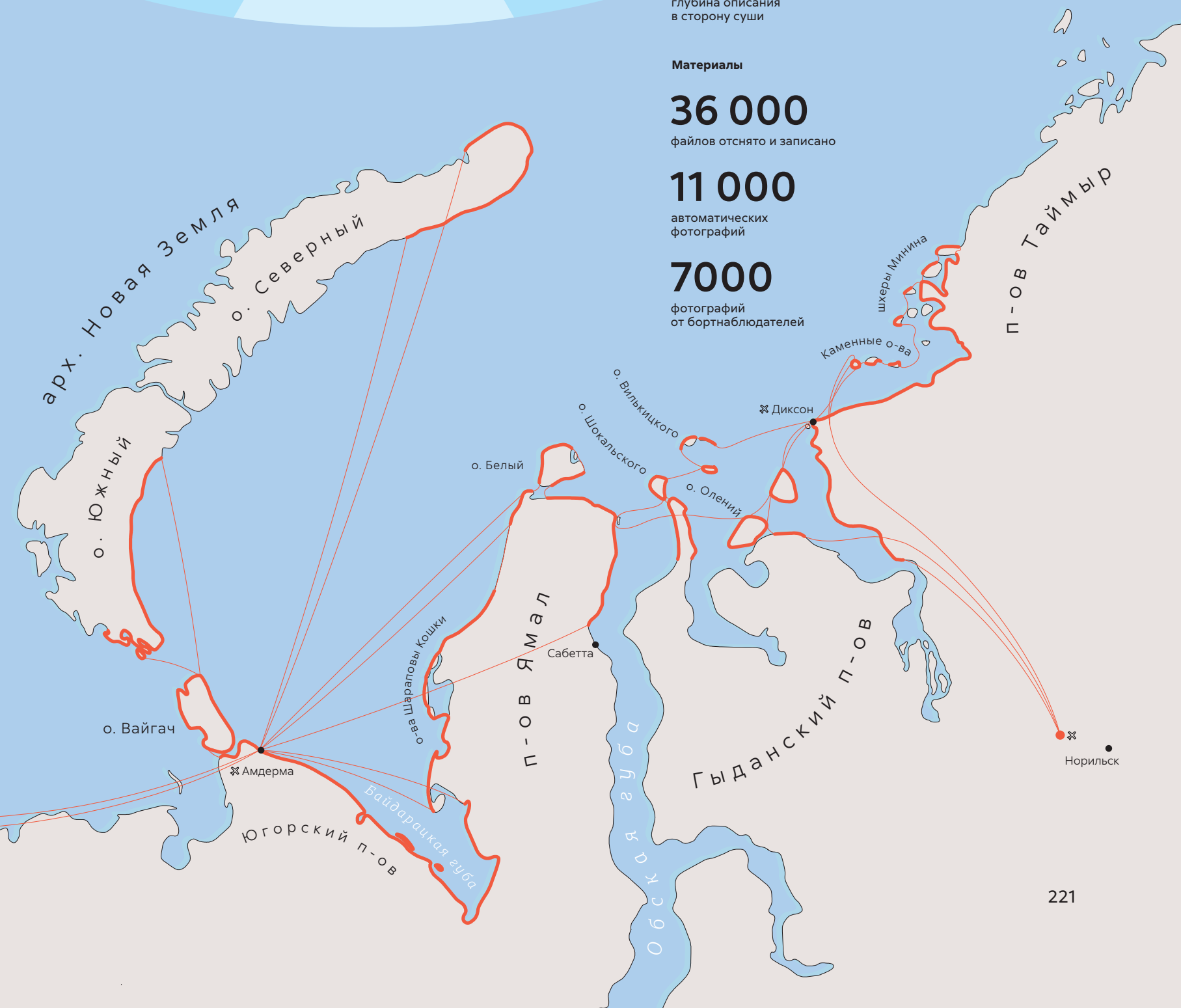
**300 м**  
глубина описания  
в сторону суши

Материалы

**36 000**  
файлов отснято и записано

**11 000**  
автоматических  
фотографий

**7000**  
фотографий  
от бортнаблюдателей



# Результаты авиасъемки Карского моря в 2014 году

Для того чтобы получить исходные данные для карт экологической чувствительности, нужно было расшифровать собранные материалы. Обработать навигационные данные и построить авиасъемочные маршруты, дешифровать изображения и аудиозаписи, описать распределение животных, загрязнений и других событий по маршруту полета.

## Критерии отбора фотографий

Основной источник информации для построения карт — фото- и видеоматериалы. Исследователи обработали больше 60 тыс. изображений — данные 2013 и 2014 годов, — руководствуясь тремя критериями.



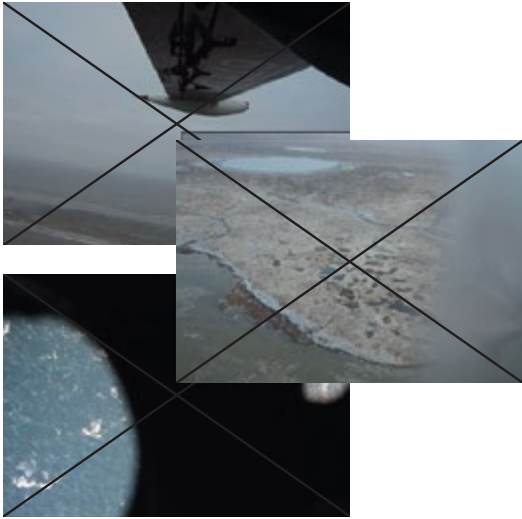
1. **Репрезентативность.** Фотографии должны отображать берег. Фото, на которых запечатлена только водная поверхность, отсеиваются.

На фото — Западный остров арх. Большие Оранские острова.

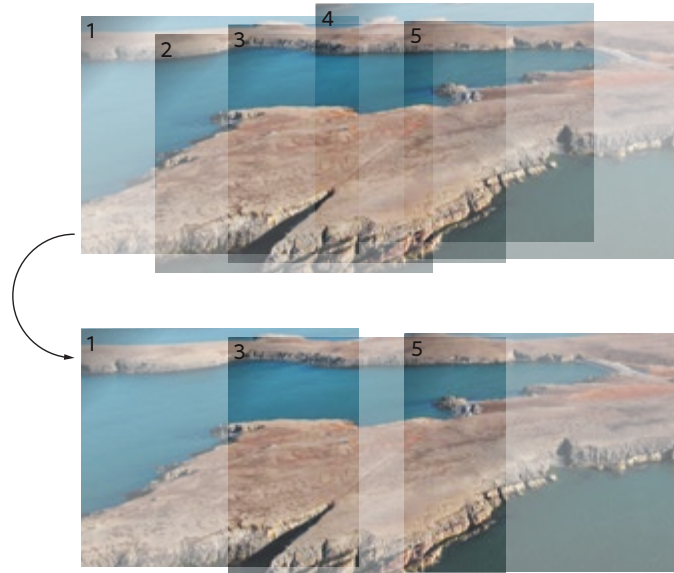
Были открыты в 1594 г. Виллемом Баренцем и названы им в честь принца Морица Оранского (1567–1625), правителя Голландии.

Эти острова привлекают внимание моржей, здесь самки выхаживают своих детенышей: морское дно вокруг богато моллюсками, а сами острова труднодоступны и безопасны.

В 2020 г. здесь исследовали популяцию атлантического под- → с. 106  
вида моржа.



2. **Качество.** Размытые, нерезкие, с нарушенным балансом белого фотографии отсеиваются. И те, на которых высокая облачность мешает разглядеть рельеф, — тоже.



3. **Достаточность.** Фото не должны повторять друг друга. Маневры самолета, особенности рельефа и высокая частота снимков приводят к наложению рамок серии фотографий друг на друга. Серии обрабатываются вручную, и дублирующие снимки отсеиваются.



# Типы берегов Карского моря

По опыту международной системы индексов ESI, классификация берегов учитывает открытость побережья, характер пород, которые слагают берег, гидродинамическое воздействие волн и приливов. Для Карского моря ученые использовали специально адаптированный подход, который учитывает свойственные региону геоэкологические процессы — наличие и глубину залегания мерзлоты.

## Международная система индексов экологической чувствительности берегов (Environmental Sensitivity Index system)

Индекс ESI и цветовой код	Оригинальное наименование	Тип берега
1A	Exposed rocky shore	Открытый скалистый берег
1B	Exposed, solid man-made structures	Открытый берег с прочными техногенными сооружениями
1C	Exposed rocky cliffs with boulder talus base	Открытые скалистые обрывы с валунно-глыбовой отмосткой
2A	Exposed wave-cut platforms in bedrock, mud or clay	Открытые волноприбойные платформы (бенчи), выработанные в коренных породах, глинистых и илистых отложениях
2B	Exposed scarps and steep slopes in clay	Открытые уступы и крутые склоны в глинистых отложениях
3A	Fine- to medium-grained sand beaches	Пляжи, сложенные мелко- и среднезернистым песком
3B	Scarps and steep slopes in sand	Уступы и крутые склоны в песчаных отложениях
4	Coarse grained sand beaches	Пляжи, сложенные крупнозернистым песком
5	Mixed sand and gravel beaches	Пляжи, сложенные смешанными песчано-гравийными отложениями
6A	Gravel beaches (granules and pebbles)	Галечные пляжи (гравий и галька)
6B	Riprap structures and gravel beaches (cobbles and boulders)	Искусственные каменные наброски и галечные пляжи (глыбы и валуны)
7	Exposed tidal flats (large sandy area often covered at high tide)	Открытые приливные отмели (большие песчаные площади, часто затопляемые при высоких приливах)
8A	Sheltered scarps in bedrock, mud or clay and sheltered rocky shore	Защищенные уступы в коренных породах, глинистых и илистых отложениях и защищенные скалистые берега
8B	Sheltered solid man-made structures (permeable)	Защищенные прочные техногенные сооружения (проницаемые)
8C	Sheltered riprap	Защищенные искусственные каменные наброски
8D	Sheltered rocky rubble shores	Защищенные скалистые крупно-обломочные берега
8E	Peat shorelines	Торфяные берега
9A	Sheltered tidal flats	Защищенные приливные отмели
9B	Vegetated low banks	Покрытые растительностью банки
9C	Hypersaline tidal flats	Гипергалинные приливные отмели
10A	Salt and brackish water marshes	Соленые и опресненные марши
10B	Freshwater marshes	Пресноводные марши
10C	Swamp	Болота
10D	Mangroves	Мангровые заросли
10E	Inundated low-lying tundra	Пойменные (затапливаемые) низинные тундры



Отвесные скалистые уступы полуострова Пиритовый, остров Южный, арх. Новая Земля



Абразионный уступ с валунно-глыбовой отмосткой в районе мыса Перовского, остров Южный, арх. Новая Земля



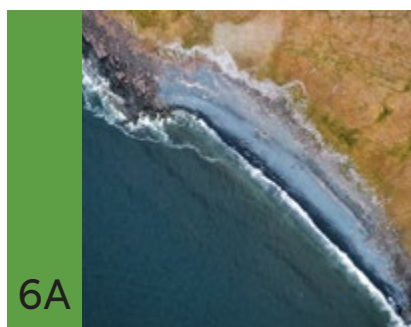
Абразионная платформа, выработанная в коренных породах, арх. Большие Оранские острова

На первом этапе построения карт выполняется морфодинамическое районирование берегов. Береговую зону делят на участки, а затем каждому из участков присваивается индекс экологической чувствительности по системе ESI и с учетом взаимодействия нефти с различными типами осадков, слагающих берега.

Всего выделили 12 типов берегов и адаптировали оригинальные названия из международной системы к региональным условиям. Индексы в таблице следуют по возрастанию чувствительности — от 1 до 10.



**3A**  
Выровненный берег с пляжем и приливной осушкой на западном берегу полуострова Ямал



**6A**  
Абразионный берег с галечным пляжем в бухте Западное Голомно, Берег Петра Чичагова



**8E**  
Термоденудационный берег, восточное побережье полуострова Явай



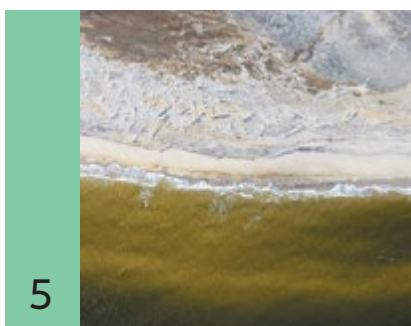
**3B**  
Абразионно-термоденудационный берег с отмирающим уступом в песчаных отложениях, восточный берег Югорского полуострова



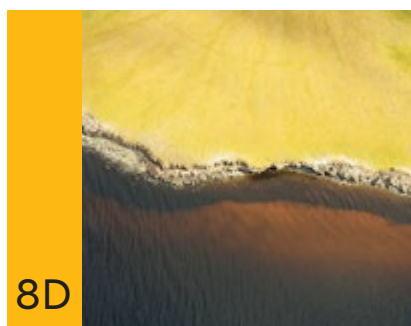
**8A**  
Низкий термоденудационный берег, остров Вилькицкого



**9A**  
Защищенный отмелый берег с обширными осушками, восточный берег острова Шокальского



**5**  
Аккумулятивный берег с пляжем на западном берегу острова Большой, острова Арктического института



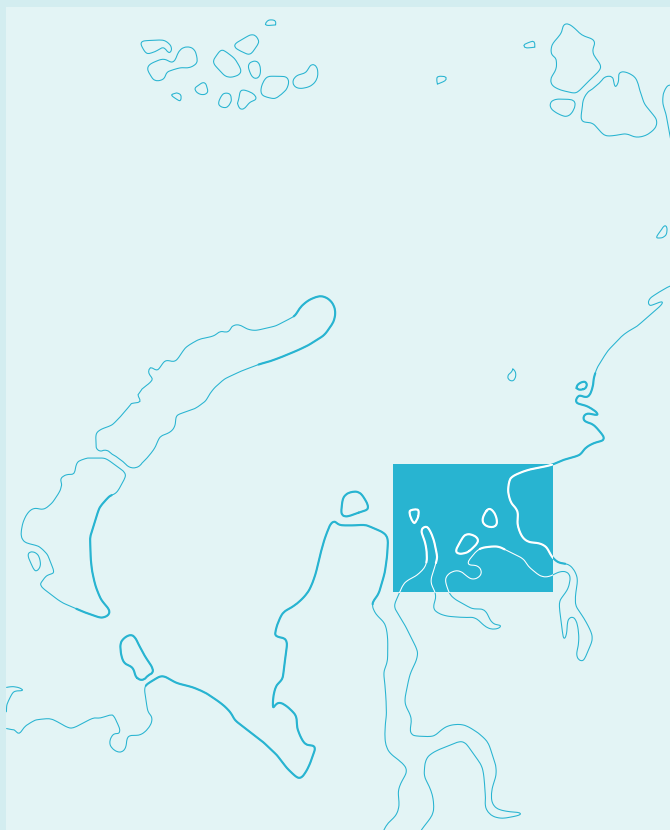
**8D**  
Абразионно-денудационный уступ в районе мыса Кузнецовский, восточный берег Енисейской губы



**10A**  
Поверхность лайды на отмелом берегу, залив Преображения, полуостров Ямал

# Карта экологической чувствительности

В результате для юго-западной части Карского моря на основании прямых визуальных наблюдений были построены карты экологической чувствительности берегов.



о. Вилькицкого



о. Шокальского

**10А**  
**Соленые и опресненные марши, или лайды,** — заболоченные луга с солеустойчивой растительностью на прибрежных низменных равнинах, затопляемые во время морских приливов и обсыхающие при отливах. Широко распространены на южном и юго-западном побережьях Карского моря. Формируются под воздействием приливно-отливных и нагонных явлений.

**3В**  
 Для южной и юго-западной частей Карского моря характерны **уступы и крутые склоны в песчаных отложениях.** Они образуются при разрушении многолетнемерзлых пород, из которых сложен берег. Разрушение происходит при их оттаивании и размыве под воздействием волн. Средняя скорость разрушения и отступления таких берегов — от 0,5 до 2–4 м в год.



Карское море

берег Петра Чичагова  
Таймыр

о. Диксон  
Диксон

о. Неупокоева  
о. Сибирякова

о. Олений

Юрацкая губа

Мамонов

Гыданская губа

Енисейский залив

1C

6A

1A

3B

8A

8A

8D

3B

3A

3A

3B

5

3B

8D

**Защищенные скалистые берега** развиваются в условиях низкого воздействия волнения. Из-за этого обломочный материал не сортирован и крайне неоднороден по своему составу.

**1A**  
**Открытые скалистые берега** характеризуются резким подводным склоном и отсутствием пляжа, таким образом, волны воздействуют непосредственно на береговой уступ, проводя основную работу по откалыванию глыб и его дальнейшему разрушению.

**5**  
**Песчано-гравийные пляжи** могут образовываться на абразионных и аккумулятивных формах рельефа, т. е. источником слагающих его осадков может быть разрушающийся клиф, или же осадки приносятся волновыми и приливно-отливными явлениями.



РЕЙСКИЙ РАЙОН

Нижняя Тунгуска

Учамы

Подкаменная Тунгуска

Стура

Ниж. Тунг.

Падом

Тамыза

Тунга

Мирный

Чожа

Вилойское вдхр.

110°



РОСНЕФТ





ФТЬ

# Накопление научного знания

# Атласы

Атлас — вопреки бытовым представлениям — не просто набор карт, описаний животных или растений, не механическое объединение их в альбом. Это систематическое, программное собрание материалов, которое выполнено как целостное произведение.

Ученые используют атласы в качестве обзорного справочного материала, где в одном месте собрана информация о разнообразных характеристиках одного объекта. Например, для составления раздела по макрозообентосу Баренцева моря было использовано 226 источников, в том числе атласов, изданных с 1804 по 2020 года.

→ с. 37 Для «Роснефти» создание атласов — вклад в накопление и систематизацию научного знания, обеспечение открытого доступа к материалам экологических исследований компании.

## Взаимосвязь проектов

→ с. 222 В 2014 году «Роснефть» выполняла проект по картографированию береговой зоны Карского моря и определению экологической чувствительности берегов. Камеральная обработка материалов не ограничилась результатами авиасъемки берегов. Исследователи привлекли фондовые данные по гидрометеорологии, гидрохимии, составе донных осадков, описания флоры и фауны Карского моря от микроводорослей и наземных растений до рыб и морских млекопитающих. Оказалось, объем проделанной аналитической работы настолько велик, что закрывает пробелы в систематизированных данных о современном состоянии арктических морей. Тогда-то и возникла идея создать серию экологических атласов.

Первый экологический атлас «Роснефти», изданный совместно с «Иннопрактикой», вышел в 2016 году и был посвящен Карскому морю. В его основе лежат данные о состоянии морских экосистем, полученные из научных публикаций и монографий, а также собственные данные «Роснефти»: результаты авиасъемки, комплексных научных экспедиций и экологических исследований на лицензионных участках.

На следующий год после издания экологического атласа Карского моря аналогичная работа была выполнена и для моря Лаптевых. Второй атлас придерживался тех же принципов структурирования материала, что и первая книга. К этому моменту появились планы подготовить издания для всех морей Российской Арктики, которые попадают в зону исследовательских интересов компании.

### Структура атласов 2016–2017 гг.

1. История исследования акватории.
2. Физико-географическая и океанографическая характеристика моря.
3. Описание биологического разнообразия флоры и фауны.
4. Антропогенная нагрузка на акватории с прибрежными зонами.
5. Оценка экологической чувствительности берегов.



Экологический атлас. Баренцево море



Экологический атлас. Черное и Азовское моря



Виды — биологические индикаторы состояния морских арктических экосистем



# Не только атласы морей

→ с. 68

С 2014 года «Роснефть» в ходе комплексных научных экспедиций и сопровождения геологоразведочных работ круглосуточно наблюдает за морскими птицами и млекопитающими. К 2016 году накоплено больше 900 суток наблюдений, зафиксировано десять тысяч морских млекопитающих и собран существенный объем данных о популяции белого медведя и моржа в акватории морей Российской Арктики.

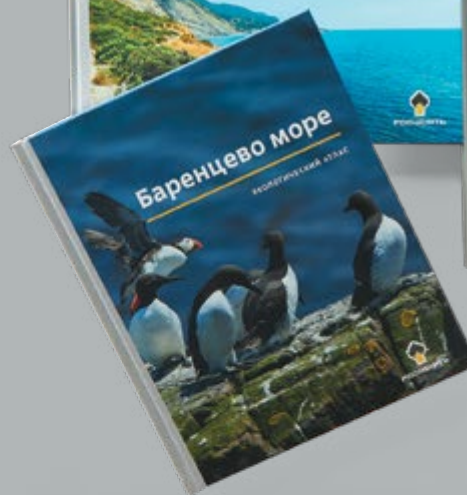
С накоплением данных возникает потребность и возможность их обобщения, и в 2017 году «Роснефть» подготовила и издала атлас «Морские млекопитающие Российской Арктики и Дальнего Востока». Это издание структурировано принципиально иначе, нежели экологические атласы морей. Оно представляет собой каталог видов морских млекопитающих, которых можно встретить в арктических и дальневосточных морях России. Каждому виду посвящен отдельный очерк. В нем описан внешний вид животного, представлены современные данные о популяционной структуре, миграциях и численности вида, актуальный природоохранный статус и карта распространения вида (ареал). Перед видовыми описаниями приведена характеристика арктических и дальневосточных морей как среды обитания этих животных. Большое внимание уделяется биологической иллюстрации — она не только сопровождает текст, но и поясняет определительные признаки упомянутых видов.

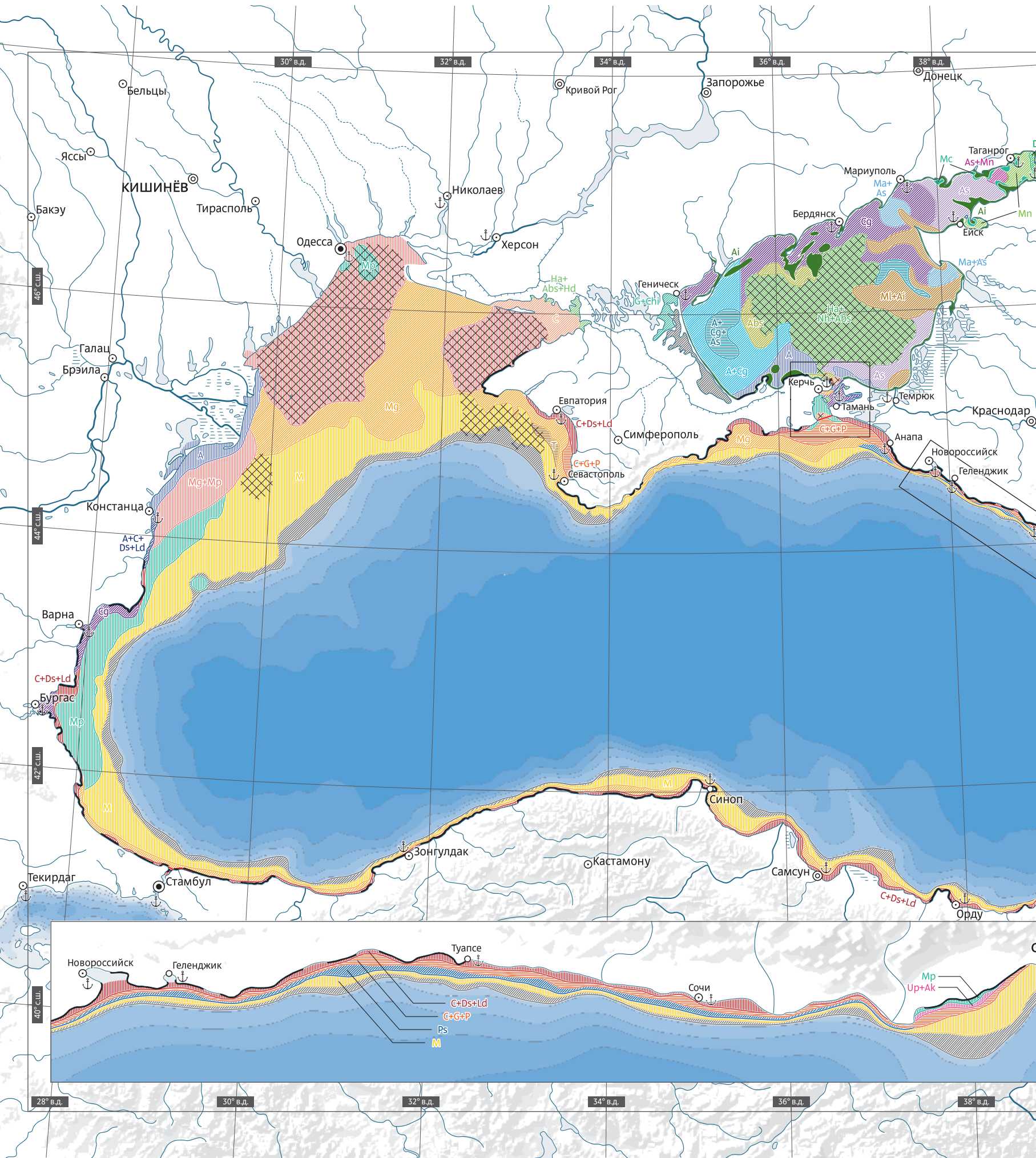
По мере накопления новой информации формат таких изданий продолжился в 2020 году атласом биологических индикаторов. Следующее издание, посвященное фауне, — атлас морских птиц Российской Арктики.

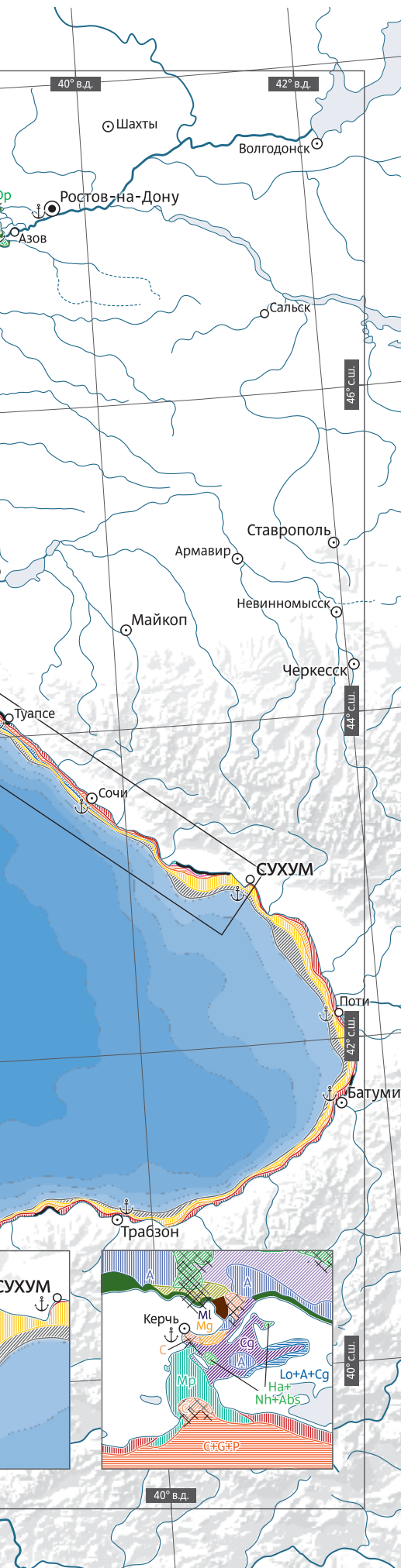
→ с. 72

По итогам гидрометеорологических экспедиций в 2015 году Арктический Научный Центр выпустил атлас гидрометеорологических и ледовых условий морей Российской Арктики. Он содержит обобщение фондовых материалов и экспедиционных исследований, выполненных в 2012–2014 годах.

В 2019 году совместно с «Иннопрактикой» издан атлас «Российская Арктика. Пространство, время, ресурсы». Это издание — результат многолетней работы более чем 140 авторов, картографов и иллюстраторов. Центральное место в книге занимает описание природной среды и ресурсов Арктики, но также освещены история, культура, этнография, экономика, социальная сфера, инфраструктура и перспективы развития полярных регионов.







## Не только Арктика

В 2019 году география публикаций расширилась. «Роснефть» издала экологический атлас Черного и Азовского морей, а серию книг переименовали из «Атласов морей Российской Арктики» в «Экологические атласы морей России». Новый атлас во многом уникален для издаваемой серии, и не только из-за географического охвата. Над книгой работал самый многочисленный коллектив — более 50 ученых-специалистов, картографов и сотрудников издательства. Также он содержит одну из самых сложных карт всей серии — карту донных сообществ Черного моря.

→ с. 203

### Донные сообщества Черного моря

Из-за резко очерченной котловины и слоя воды с повышенным содержанием ядовитого сероводорода, начинающегося с глубины 50 м, лишь узкая часть берега Черного моря на Кавказском побережье обитаема для донных сообществ. На карте же эта полоса представляет собой всего несколько миллиметров, на которых нужно было наглядно показать границы отдельных сообществ.

## Экологическая чувствительность без авиасъемки

Финальная глава каждого из экологических атласов морей содержит описание берегов и карты экологической чувствительности. Чуть ранее мы говорили, что для атласа Карского моря использовались данные авиасъемки — большой объем фотографий и видео. Для следующих изданий таких материалов по типизации берегов не было, но построить карты все равно удалось.

→ с. 222

→ с. 230

В случае с хорошо изученными берегами Черного и Азовского морей использовались многочисленные фотографии берега и результаты съемки с беспилотного летательного аппарата. Для значительно менее доступных арктических морей Лаптевых и Баренцева для типизации берегов использовались картографические, спутниковые и литературные данные, привлекались фото- и видеоматериалы научных и туристических экспедиций разных лет.

Карта распределения донных сообществ из экологического атласа Черного и Азовского морей (2019 г.)

# Современная биологическая иллюстрация



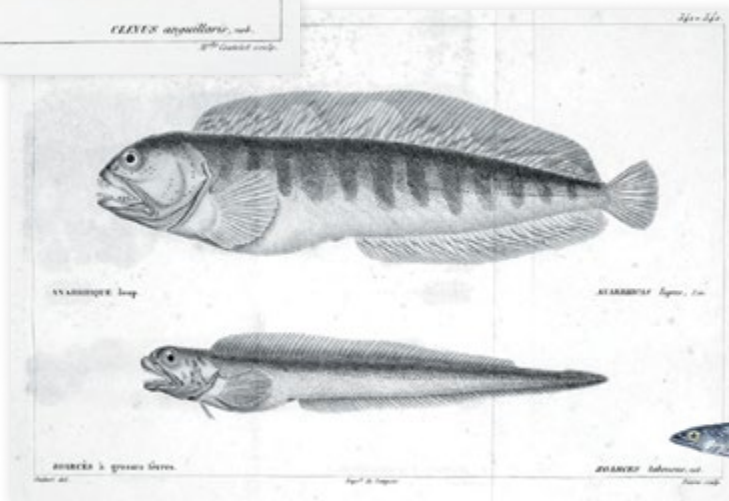
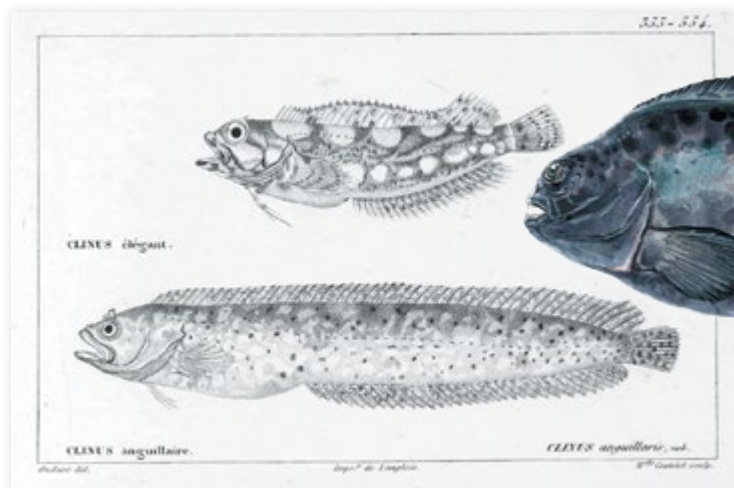
## Биологическая иллюстрация

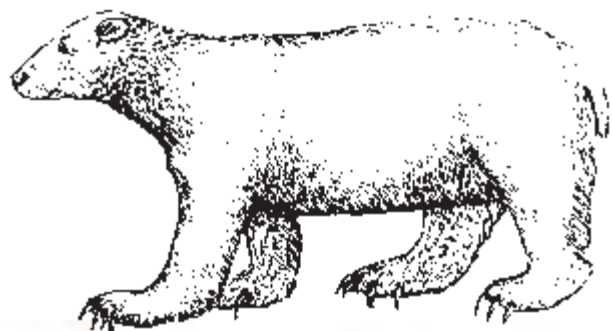
Специфический жанр, цель которого не только изобразить внешний вид животного, растения или отдельной структуры, иногда на клеточном уровне, но и сместить фокус этого рисунка на то, чтобы выделить наиболее значимые детали.



Для изданий, посвященных флоре и фауне, биологический рисунок исторически был единственным способом визуализации материала. Одной из первых известных иллюстрированных рукописей с биологическим рисунком был труд древнегреческого врача, фармаколога и натуралиста Диаскорида «О лекарственных веществах». Наиболее известное из «переизданий» манускрипта — «Венский Диаскорид» VI века, — содержит больше 400 иллюстраций растений и животных, которые служили в практическом определении видов.

Для традиционной биологической иллюстрации используются тушь и акварель. Это скрупулезно подготовленные рисунки, и работу над каждым художник может вести несколько недель, а иногда месяцев. При подготовке иллюстраций для экологических атласов «Роснефти» используются современные инструменты и материалы: линеры, спиртовые маркеры для создания цвета, белые чернила для передачи бликов и оттенков. В результате получаются яркие, запоминающиеся иллюстрации, которые совмещают оригинальный подход с канонами классической научной иллюстрации.





## Бумажная картография в мире цифровой

Атласная картография в печатном виде — традиционное средство сбора и систематизации данных. При этом большинство карт, которые используют ученые для прикладных исследований сейчас, — цифровые. У цифровых источников в сравнении с бумажными атласами есть преимущество мобильности, но есть и ограничения — для использования геоинформационных систем и цифровых карт нужно обладать знаниями и навыком, чтобы с ходу интерпретировать изображение.

Атлас в этом плане гораздо демократичнее, а значит, пригоден для более широкой читательской аудитории. Все материалы атласов «Роснефти» дополнены описаниями, интуитивно понятными средствами визуализации, готовятся по самым актуальным на момент публикации цифровым картам.

Эти книги несут не только научно-прикладную, но и справочную и просветительскую функцию. Они полезны студентам и профильным специалистам, интересующимся изучением и практическим использованием природных ресурсов морей России. Ученым — в интересах научных исследований. Руководителям — для подготовки управленческих решений в области рационального использования природных ресурсов с сохранением живой природы региона. ♡









## Заключение

За десять лет в Арктике компании «Роснефть» удалось совместить фундаментальные научные исследования с прикладными проектами по освоению шельфа. Возможно, десять лет — не слишком большой срок для науки, но тем ценнее то, что успели сделать ученые за это время:

- исследовать геологическое строение Западной и Восточной Арктики;
- собрать данные о ключевых видах-биоиндикаторах;
- провести многолетние и круглогодичные гидрометеорологические и ледовые исследования;
- реконструировать с помощью математического моделирования значения параметров гидрометеорологических условий в арктических морях за последние 50 лет;
- построить площадные карты шельфа арктических морей для обеспечения безопасности при бурении;
- разработать микробный препарат для очистки морских систем и технологическую форму для его эффективного применения;
- построить карты экологической чувствительности морских побережий.

И этот список далеко не исчерпывающий.

Эта информация не только станет основой для дальнейшего изучения Арктики, но и значительно ускорит формирование хозяйственной инфраструктуры.

Кроме того, полученные данные помимо использования внутри компании публикуются в научных статьях и атласах. А значит, служат цели накопления мирового знания, как и полагается современному, открытому подходу в науке. ♡





Отметить всех, благодаря кому эта книга появилась на свет — непростое дело. Помимо авторов, в ее подготовке участвовали руководители и представители компании «Иннопрактика», Географического, Геологического и Биологического факультетов Московского государственного университета имени М. В. Ломоносова, компании «Росгеология», Дальневосточного федерального университета, Сибирского федерального университета, Арктического и антарктического научно-исследовательского института, Института проблем экологии и эволюции имени А. Н. Северцова РАН, Института океанологии им. П. П. Ширшова РАН, Центра морских исследований МГУ имени М. В. Ломоносова, ООО «ССК „Звезда“», руководители и сотрудники Департаментов компании «Роснефть» и ее дочерних обществ (ООО «Арктический Научный Центр», ООО «РН-Шельф-Арктика», ООО «РН-Эксплорейшн», АО «Востсибнефтегаз», ООО «ПИУЦ „Сапфир“» и другие), эксперты в различных направлениях исследований.

Благодарим всех, кто отвечал на вопросы авторов, брал на себя чтение и комментирование черновиков глав, проверял достоверность фактов, делился фото- и иллюстративными материалами, участвовал и руководил арктическими научными проектами.

Благодарим Студию Артемия Лебедева за то, как выглядит эта книга, и за новый уровень выразительности, который приобрел с вашей помощью рассказ о научных проектах.

Спасибо за ваш вклад. Мы считаем каждого из вас соавтором этой книги!

Научное издание  
**Открывая Арктику заново.**  
**10 лет изучения уникального региона**

- Редакционный совет* Андрей Шишкин, Наталья Попова, Ирина Андрианова, Эдуард Тимашев, Владимир Лакеев, Александр Пашали
- Составители и редакторы* Диляра Загретдинова, Яна Сергиевская, Глеб Клинов, Артём Исаченко
- Редактор* Анна Мартиневская
- Авторы* Максим Балагуров, Михаил Болдырев, Ольга Вербицкая, Владимир Вержбицкий, Елена Гарова, Александра Гончарова, Сергей Дубинцов, Ярослав Ефимов, Диляра Загретдинова, Максим Засухин, Дмитрий Илюшин, Артём Исаченко, Андрей Колюбакин, Глеб Клинов, Константин Корнишин, Рената Лазарева, Татьяна Леонова, Николай Малышев, Теймур Мамедов, Ольга Махова, Виктория Мельникова, Александр Пашали, Наталья Семенихина, Яна Сергиевская, Илья Серёжкин, Михаил Скарятин, Пётр Тарасов, Яна Терёхина, Эдуард Тимашев, Михаил Токарев, Александр Угрюмов, Владимир Чава, Всеволод Шеин
- Руководители издания книги* Зульфия Мадумарова, Илья Федотов, Диляра Загретдинова, Ирина Новикова
- Руководители упомянутых в книге проектов и консультанты* Светлана Артемьева, Александр Беккер, Алексей Бородулин, Александр Бухановский, Мария Гаврило, Юрий Гудошников, Полина Дгебуадзе, Юлия Ермилова, Константин Зайцев, Денис Илюшин, Дмитрий Комиссаров, Дмитрий Корост, Иван Кузин, Елена Лебедева, Евгений Миронов, Вадим Мокиевский, Илья Мордвинцев, Александра Найдено, Александр Нестеров, Татьяна Нестерова, Дарья Новикова, Виктор Обмётко, Вячеслав Рожнов, Александр Савченко, Елена Смирнова, Марина Соловьёва, Александр Сошитов, Владимир Суртаев, Дмитрий Удовик, Александр Цетлин, Николай Шабалин, Андрей Шестаков
- Арт-директор* Эркен Кагаров
- Дизайнеры* Валерий Толчанов, Сергей Стеблина
- Верстальщик* Ярослав Бондаренко
- Иллюстраторы* Галина Шебаршина, Максим Дягтерев, Илья Удовиченко, Илья Пуртов, Яна Москалюк
- Картографы* Теймур Мамедов, Юлия Ермилова, Милана Глебова
- Корректоры* Екатерина Комарова, Александр Носиков, Юлия Морозова
- Фотограф* Татьяна Климович
- Фотографии* В книге использованы фотографии из фотобанков «Роснефти», Центра морских исследований МГУ имени М. В. Ломоносова и личных архивов Михаила Овчинникова, Александра Семёнова
- Менеджеры производства* Дмитрий Разинов, Мария Дудкина
- Менеджеры* Алексей Каракулев, Алина Золотухина, Максим Смирнов, Ольга Каллаур, Юлия Милостивая, Екатерина Попова

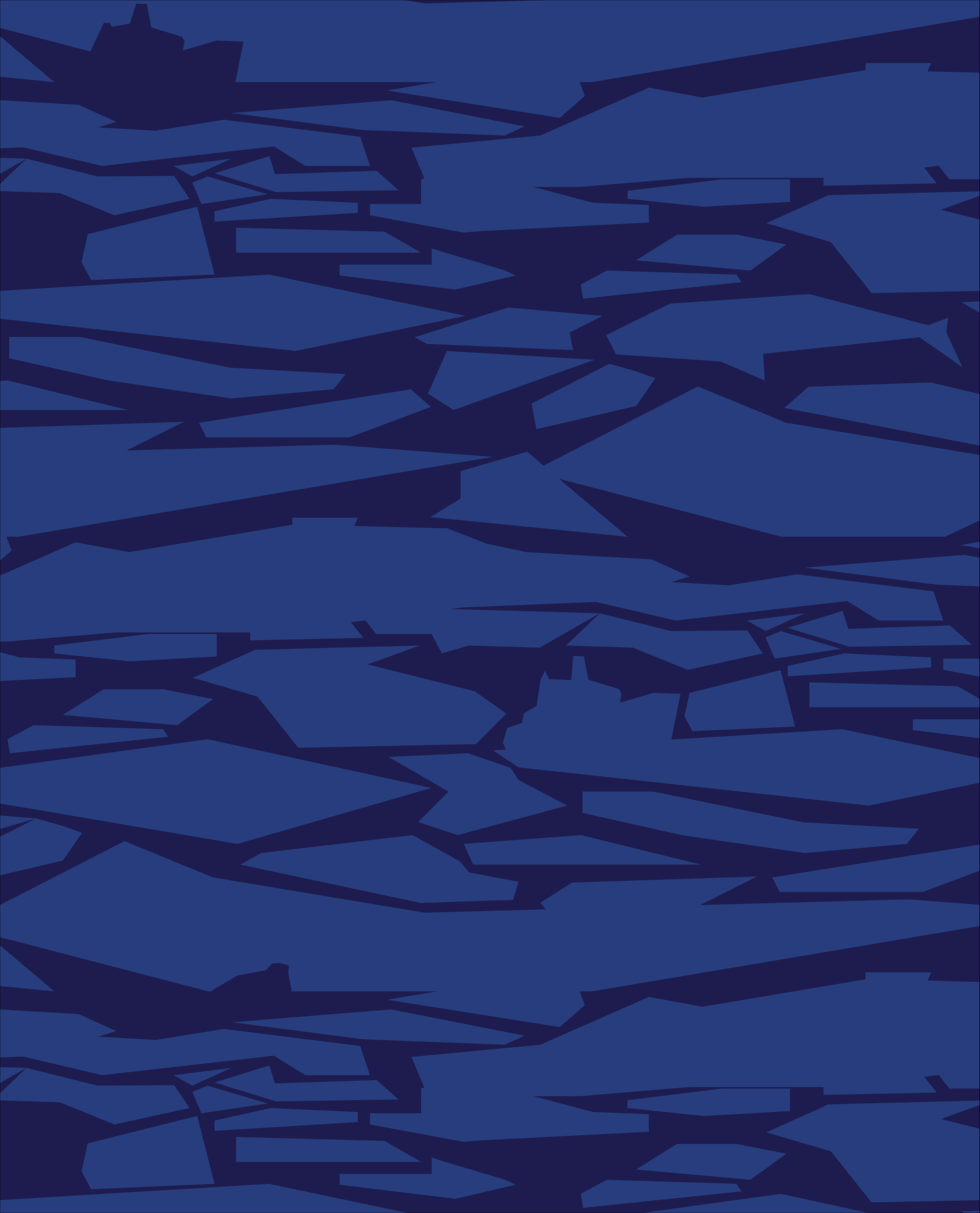
Подписано в печать 20.06.2023. Формат 240 × 297 мм

Бумага для блока «Перграфика» гладкая высокобелая 150 г/м<sup>2</sup>, для форзацев 240 г/м<sup>2</sup>. Переплет № 7БЦ, картон 2,5 мм и бумага «Перграфика» гладкая высокобелая, 130 г/м<sup>2</sup>. Гарнитура Сириус и Агнер. Печать офсетная. Тираж 700 экз.

ПАО «НК «Роснефть»

Отпечатано в ООО «КОМПАНИЯ ПОЛИГРАФМАСТЕР»  
Пятницкое шоссе, д. 16, Москва, 125464, Россия  
полиграфмастер.рф  
Заказ № 165









РОСНЕФТЬ

