

РАЗРАБОТКА ПРОЕКТА ОРГАНИЗАЦИИ МОНИТОРИНГА МНОГОЛЕТНЕМЕРЗЛЫХ ГРУНТОВ ВЫСОКОШИРОТНОЙ АРКТИКИ НА БАЗЕ НАБЛЮДАТЕЛЬНОЙ СЕТИ РОСГИДРОМЕТА

В рамках тематики НИТР Росгидромета сотрудниками ФГБУ «АНИИ» в 2020 году был разработан «Технический проект организации сети мониторинга многолетнемерзлых грунтов (ММГ) на базе наблюдательной сети Росгидромета в высокоширотной Арктике» (далее — проект), основные положения которого излагаются в данной статье.

Актуальность проекта определяется свойствами и значением ММГ в системе государственного мониторинга окружающей среды (подсистем мониторинга земель, недр, водных объектов, состояния и загрязнения окружающей среды) и в сферах хозяйствования: широкое распространение и пространственная неоднородность; разновременная реакция на изменения климата, гидросферы и т.д.; заметное влияние на развитие других компонентов природной среды (рельеф, гидрологическая сеть, ландшафты и т. д.) и на эмиссию парниковых газов; важная роль при проектировании, создании и эксплуатации инфраструктуры в районах распространения ММГ. В контексте климатических изменений последних десятилетий проблема организации мониторинга и прогноза состояния ММГ приобрела дополнительную остроту. С 1990-х годов стал развиваться глобальный мониторинг по программам TSP (Thermal State of Permafrost) и CALM (Circumpolar Active-layer Monitoring), входящих в системы GTOS (Global Terrestrial Observing System) и GCOS (Global Climate Observing System) под эгидой ВМО и Международной ассоциации мерзлотоведения (International Permafrost Association, IPA). Его данные свидетельствуют о росте в последние 20–30 лет температуры ММГ Северного полушария на большинстве точек наблюдения на глубине нулевых годовых амплитуд (в разных районах на 0,5–2 °С) и увеличении мощности слоя сезонного оттаивания (Biskaborn B.K., Smith S.L., Noetzli J., Matthes H., Vieira G., Streletskiy D.A., et al. Permafrost is warming at a global scale // Nat. Commun. 2019. Vol. 10. P. 264). В России ММГ занимают около 65 % площади всей страны и 85 % территории Арктической зоны Российской Федерации (АЗРФ). Такие масштабы распространения, наличие стратегических планов по освоению ресурсов АЗРФ и других районов присутствия ММГ наряду с задачей обеспечения экологической безопасности определяют бесспорную актуальность организации отечественного мониторинга ММГ.

Несмотря на опыт и признанные достижения отечественной науки в области исследований вечной мерзлоты, в России отсутствует государственная сеть наблюдений за состоянием и динамикой ММГ. Существующая наблюдательная сеть Росгидромета, где примерно на 140 станциях в криолитозоне измеряются температуры на глубинах до 3,2 м, не соответствует современным требованиям. Другие площадки наблюдений динамики сезонно-талого слоя (СТС) и точки термометрических скважин глубиной более 10 м создавались в рамках различных проектов многочисленными научными организациями. В итоге в России имеется хаотичное, во многих случаях не репрезентативное расположение точек, и, зачастую, низкое качество наблюдений за ММГ, отсутствует единая методика, нередко отсутствуют сопряженные

метеонаблюдения и, что особенно важно, отсутствует единый национальный оператор мониторинговых данных. Очевидным пробелом в сети мониторинга ММГ является отсутствие пунктов, соответствующих современному уровню наблюдений, на островах и побережье высокоширотной Арктики. Такое положение дел диктует необходимость организации государственной сети мониторинга ММГ. Основные мероприятия по организации такой сети должны включать:

- модернизацию существующих в криолитозоне метеостанций Росгидромета для ведения мониторинга ММГ на стандартных глубинах до 3,2 м;
- организацию в ключевых точках (природно-климатические условия, привязка к действующим станциям с многолетними метеорологическими наблюдениями, перспективы мониторинга для решения прикладных задач) сети пунктов мониторинга ММГ с термометрическими скважинами глубиной более 10 м и площадками наблюдений за СТС;
- определение ответственного государственного куратора (ведомства), отвечающего за создание и непрерывное функционирование сети.

Обоснованием курирующей роли Росгидромета в создании единой государственной сети мониторинга ММГ являются следующие факторы:

- деятельность Росгидромета соответствует задачам государственного мониторинга ММГ в связи с осуществляемым им мониторингом других сопряженных компонентов окружающей среды (земля, поверхностные и подземные воды, атмосферный воздух и т. д.), в том числе в рамках его взаимодействия с ВМО;
- Росгидромет десятилетиями непрерывно выполняет свои функции и будет осуществлять их с неограниченной временной перспективой вне зависимости от принадлежности к тому или иному министерству;
- деятельность Росгидромета (получение, учет и обработка данных, предоставление данных и результатов пользователям) носит характер госзаказа, свободный от ведомственных интересов;
- Росгидромет обладает сетью станций (прежде всего метеорологической), где с наименьшими затратами может быть организован непрерывный, долговременный, стандартизированный мониторинг ММГ;
- почти на 140 станциях Росгидромета в криолитозоне длительное время ведутся измерения температуры, влажности грунтов, в том числе до глубины 3,2 м;
- Росгидромет имеет передовой опыт организации и функционирования единых информационных систем, центров информации, предназначенных для сбора, архивации, структуризации, передачи огромных массивов комплексных данных мониторинга компонент окружающей среды.

Безусловно, создание государственной сети фонового мониторинга ММГ не может быть осуществлено без взаимодействия Росгидромета с заинтересованными министерствами и организациями.

В рамках текущей НИТР Росгидромета головным исполнителем работ по созданию государственной сети мониторинга ММГ в высокоширотной Арктике является ФГБУ «АНИИ» в силу следующих причин:

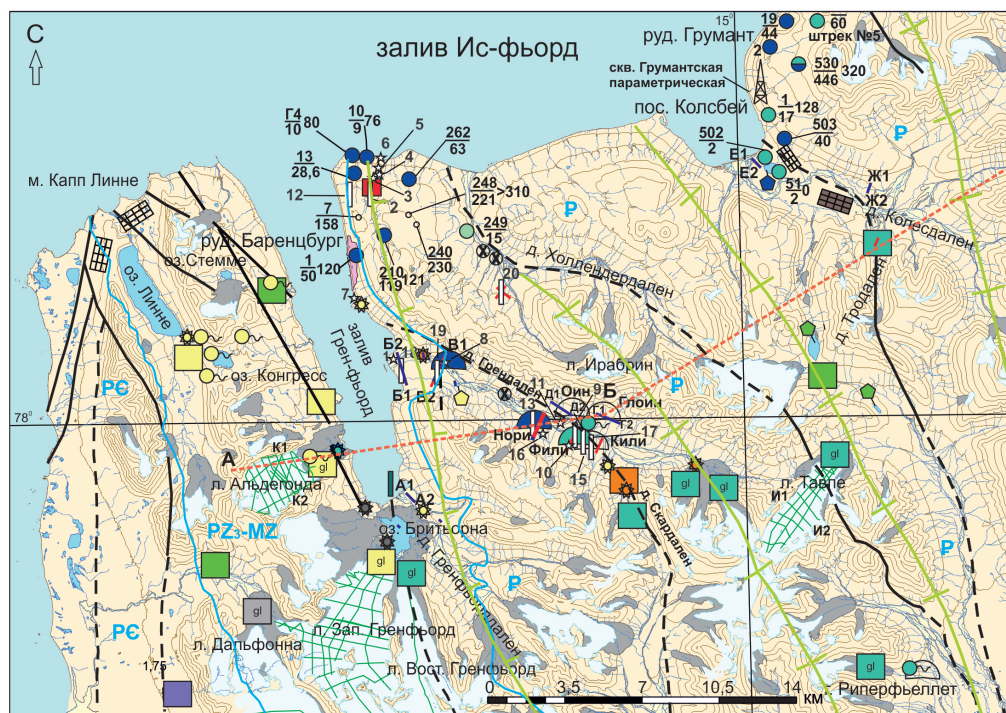


Рис. 1. Наблюдательная сеть Баренцбургского мерзлотного полигона по состоянию на конец 2020 года

– значительная часть области распространения ММГ территориально входит в зону деятельности и ответственности института;

– наличие в институте развитого комплекса мониторинга многих компонентов природной среды, а также исследований взаимодействия этих компонентов;

– наличие в институте успешного опыта создания и оперирования наблюдательными сетями, едиными информационными центрами.

Кроме этого, сотрудники ФГБУ «ААНИИ» успешно развивают исследования и наблюдения ММГ в высокоширотной Арктике в течение почти двух десятилетий. На острове Самойловский в дельте реки Лены в 2002 году был заложен мерзлотный полигон, являющийся одним из наиболее длительно и непрерывно действующих в высокоширотной Арктике (динамика СТС, термометрические измерения в трех скважинах). В ГМО Тикси мониторинг ММГ осуществляется с 2011 года (динамика СТС, моделирование сезонного протаивания верхнего слоя ММГ). С 2015 года наблюдения и исследования

ММГ выполняются на НИС «Ледовая база Мыс Баранова», Северная Земля (динамика СТС). Важным шагом в тестировании методики организации мониторинга, организации комплексных исследований ММГ в высокоширотной Арктике стали работы на Шпицбергене, где создан полигон мониторинга и исследований ММГ международного уровня (рис. 1) (Демидов Н.Э., Борисик А.Л., Веркулич С.Р., Веттерих С., Гунар А.Ю., Демидов В.Э., Желтенкова Н.В., Кошурников А.В., Михайлова В.М., Никулина А.Л., Новиков А.Л., Саватюгин Л.М., Сироткин А.Н., Терехов А.В., Угрюмов Ю.В., Ширрмейстер Л. Мерзлотно-гидрогеологические условия западной части Земли Норденшельда (арх. Шпицберген) // Геофизические процессы и биосфера. 2020. Т. 19, No 4. С. 68–93; Демидов Н.Э., Веркулич С.Р., Демидов В.Э., Соловьева Д.А., Веттерих С. Вечная мерзлота Шпицбергена и ее мониторинг на криосферном полигоне в Баренцбурге // Современное состояние природной среды архипелага Шпицберген: Коллективная монография / Под ред. Л.М. Саватюгина. СПб.: ААНИИ, 2020. С. 135–149).

Цель проекта заключается в создании сети фонового мониторинга и изучения криогенных процессов, прогноза развития ММГ в высокоширотной Арктике, в том числе в качестве прототипа системы мониторинга ММГ России. Задачи проекта в контексте его использования как прототипа отечественной системы мониторинга включают:

- обеспечение непрерывных, репрезентативных, стандартизированных наблюдений за состоянием и динамикой ММГ;
- обеспечение централизованной архивации, обработки, представления данных мониторинга ММГ в государственные управленческие структуры, в заинтересованные отечественные учреждения и организации, в международные центры в рамках участия и обязательств РФ (ВМО).

Непосредственная практическая задача проекта состоит в создании сети пунктов мониторинга ММГ современного уровня в высокоширотной Арктике (острова и материковая зона Северного Ледовитого океана), которая обеспечит получение долговременных, непрерывных рядов данных для выявления закономерностей формирования геокриологической обстановки, прогноза развития ММГ.

Исходные требования к сети мониторинга ММГ сходны как для районов высокоширотной Арктики, так и для России в целом:

- репрезентативность сети, определяемая природно-климатическим районированием с учетом геологического строения территорий, наличием в пунктах сети или вблизи долговременных гидрометеорологических наблюдений;
- единый стандарт наблюдений в пунктах сети, отвечающий отечественным требованиям и международному уровню (параметры и обустройство скважин, площадок наблюдений; применяемые материалы и оборудование; методики наблюдений; формат и содержание получаемых первичных данных в электронном виде);

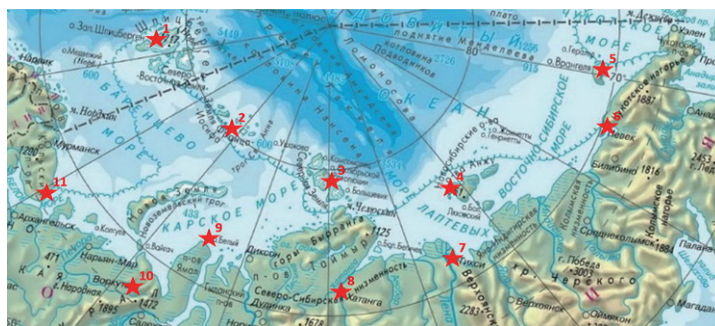


Рис. 2. Местоположение предлагаемых пунктов сети ММГ (номера и данные пунктов – см. табл. 1)

- размещение, обработка, хранение данных в Едином центре (в предлагаемом проекте — в ФГБУ «АНИИ»), в стандартизированном формате специализированной базы данных;
- предоставление размещенных в Едином центре данных в научных, изыскательских, коммерческих и других целях осуществляется

под надзором государства.

План реализации проекта предполагает выполнение комплекса взаимосвязанных мероприятий, основными среди которых являются:

- подготовка, согласование и утверждение технического проекта, финансово-экономического обоснования, графика и состава работ, порядка и форм отчетности;
- финансовое обеспечение реализации мероприятий;
- приобретение необходимого оборудования и снаряжения, расходных материалов;
- подготовка и внедрение необходимой методической документации (рекомендации, руководства и т. п.) на основе существующих нормативных документов и опыта работ по созданию сети;
- организация и выполнение непосредственных экспедиционных работ по созданию пунктов сети ММГ в высокоширотной Арктике на наблюдательной сети Росгидромета;
- выполнение комплекса лабораторных исследований по изучению свойств ММГ в пунктах организации мониторинга;
- создание, тестирование и внедрение программных продуктов (базы данных, модели) для архивации, обработки, использования данных мониторинга ММГ;
- регистрация пунктов и начало информационного обмена (Росгидромет, ВМО, другие).

Проект предусматривает организацию 11 пунктов мониторинга ММГ на островах и побережье высокоширотной Арктики (рис. 2, табл. 1). Пункты выбраны по двум основным критериям: «закрытие белого пятна» в мони-

Таблица 1

Предлагаемые пункты мониторинга ММГ

№ п/п	Индекс ВМО	Наименование станции	Координаты станции		Высота метеоплощадки (м над у. м.)	Начало наблюдений (год)	Примечание
			северная широта	восточная долгота			
1	20107	пос. Баренцбург	78°04'	14°15'	73	1961	Шпицберген
2	20046	им. Э.Т. Кренкеля	80°37'	58°03'	21	1966	ЗФИ, о. Хейса
3	20094	мыс Баранова	79°17'	101°37'	23	2013	Обсерватория ФГБУ «АНИИ»
4	21432	о. Котельный	76°00'	137°52'	12	1933	14.09.2003 г. перенос на 1,2 км к западу
5	21982	о. Врангеля	70°59'	181°31'	18	1936	С 2010 г. на ЮВ части коренного берега о. Врангеля
6	25051	пос. Певек	69°42'	170°15'	3	1939	
7	21824	пос. Тикси	71°35'	128°55'	6	1961	
8	20891	пос. Хатанга	71°59'	102°28'	31	1946	12.01.1951 г. перенос на 800 м к ЮЮЗ
9	20667	им. М.В. Попова	73°20'	70°03'	4	1961	о. Белый
10	23226	г. Воркута	67°29'	64°01'	165	1945	
11	22140	мыс Святой Нос	68°09'	39°46'	12	1971	Кольский п-ов

торинге ММГ в АЗРФ; репрезентативное расположение пунктов на действующих станциях (обсерваториях) Росгидромета с длительным рядом метеонаблюдений в разных климатических провинциях высокоширотной Арктики.

Проект развертывания сети мониторинга ММГ в высокоширотной Арктике рассчитан на три года. Следует отметить, что организация 3 из 11 пунктов мониторинга (на Шпицбергене, Земле Франца-Иосифа, Северной Земле) проводится специалистами ФГБУ «АНИИ» также в рамках гранта РФ «Геокриологические условия архипелагов и прилегающего шельфа восточного сектора Евразийской Арктики» (завершение в 2022 году). Поэтому приводимый ниже план трехлетних экспедиционных работ включает создание только 8 пунктов мониторинга (табл. 2). При этом единая методика организации пунктов мониторинга, снятия и обработки данных, обслуживания сети будут распространяться на все пункты.

Таблица 2

Общий план экспедиционных работ

Пункт мониторинга	1 год	2 год	3 год
мыс Святой Нос, Кольский п-ов	бур.	стс, дан.	дан.
г. Воркута	бур.	стс, дан.	дан.
о. Белый	бур.	стс, дан.	дан.
пос. Тикси	бур.	стс, дан.	дан.
о. Котельный	бур.	стс, дан.	дан.
пос. Певек	бур., стс	дан.	дан.
о. Врангеля	бур.	стс, дан.	дан.
пос. Хатанга	бур.	стс, дан.	дан.

Примечание. бур. – бурение и оборудование термометрических скважин, стс – организация площадок мониторинга сезонно-талого слоя, дан. – снятие данных наблюдений

Безусловно, параллельно с экспедиционными работами в течение трех лет будут выполняться другие мероприятия: подготовка к полевым работам и закупка необходимого оборудования (1-й год); выполнение комплекса лабораторных исследований (1-й, 2-й, 3-й годы); разработка методических документов, в том числе руководства по обслуживанию мерзлотной наблюдательной сети (2-й год); создание, регистрация и начало заполнения специализированной базы данных (2-й и 3-й годы).

В последующие годы планируется курирование снятия, архивации, обработки, предоставления данных с созданной сети мониторинга ММГ. Непосредственно сама процедура съема данных с установленных термометрических скважин, площадок наблюдения СТС, передача данных в ФГБУ «АНИИ» осуществляются сотрудниками станций Росгидромета, с опорой на которые создается сеть пунктов. Кроме того, необходимо техническое сопровождение сети: проведение восстановительных работ в случае отказа термокос, затекания в скважины воды, образования ледяных пробок и т. п.

Техническая реализация проекта в части создания и оборудования пунктов мониторинга ММГ основывается на применении единых стандартов, отвечающих отечественным требованиям и международному уровню.

Бурение скважин проводится на современную глубину нулевых годовых амплитуд, что отвечает скважинам глубиной от 10 до 20–25 м. В качестве оптимального варианта следует рассматривать бурение малогабаритными буровыми установками, например УКБ-12/25 (Завод им. В.В. Воровского, Екатеринбург), МГБУ 800 «Термит» (ООО НПО «Геммаш», Москва), СБ-ПМ-01 Колибри (ООО НПЦ «Современная буровая техника», Москва). Такие установки (рис. 3) показали эффективность при работах сотрудников ФГБУ «АНИИ» в Арктике и Антарктиде и при этом могут транспортироваться на катере, вертолете, любых автомашинах повышенной проходимости и вездеходах, даже на регулярных рейсах гражданского авиасообщения. Бурение осуществляется «всухую», без промывки и продувки, сопровождается отбором, фотодokumentацией, описанием литологии и криотекстур мерзлых кернов, отбором образцов для дальнейших лабораторных исследований согласно требованиям ГОСТ 12071-2001. Отбор образцов для определения температуры начала замерзания (с использованием электронного термометра) выполняется вне зависимости от их состояния (талое или мерзлое); определение теплофизических характеристик кернов и влажности проводятся непосредственно в период работ бурового отряда (см. рис. 3).

Термометрия скважин осуществляется в соответствии с ГОСТ 25358-2012. Скважины могут оборудоваться термокосами ООО «МГУ-Геофизика» (Россия) или другими аналогами, проводящими запись хода температуры по стволу скважин в автоматическом режиме (см. рис. 3). Для предотвращения попадания в ствол скважины верховодки из СТС верхняя часть скважины обсаживается кондуктором на глубину, превышающую СТС на 1 м. Глубины измерения температуры в скважинах следует принимать согласно ГОСТ 25358-2012. Логгер программируется на снятие отсчетов 4 раза в сутки.

Для мониторинга мощности СТС в районе скважины разбивается квадратная площадка CALM площадью 1 Га. Измерения СТС проводятся металлическим щупом в конце теплого периода (сентябрь — октябрь) с выпадением первого снега с шагом в 10 м в 121 точке.

Время для бурения и оборудования термокосой одной скважины, организации площадки наблюдений СТС (CALM) составляет до 10 дней. Выстойка скважины после бурения до снятия первого кондиционного отсчета составляет не менее суток.

Требуемые для реализации проекта материальные, финансовые и людские ресурсы сравнительно невелики. С решением задач проекта способна справиться группа из 8–10 специалистов, логичным представляется ее формирование

Рис. 3. Примеры оборудования для использования в ходе создания пунктов мониторинга ММГ (а – буровая установка УКБ-12/25; б – термокосы «МГУ-геофизика»; в – прибор KD2-PRO для определения теплопроводности грунтов; г – термометр цифровой для определения температуры кернов и температуры начала замерзания)



в виде нового подразделения в составе ФГБУ «АНИИ». Деятельность этого подразделения включает: организацию и выполнение полевых работ по созданию и поддержке пунктов мониторинга; разработку и ведение баз данных; руководство аналитическими исследованиями, моделированием; подготовку научнотехнических обоснований, отчетов, методических руководств, статей и т. д. Отметим, что проектом не планируется увеличение штатного состава действующих станций Росгидромета, так как снятие данных на пунктах сети мониторинга и их передача в Единый центр (ФГБУ «АНИИ») могут выполняться сотрудниками станций на основе методических рекомендаций (снятие термометрических данных скважин — 2–3 раза в год; измерения на площадке СТС — раз в год).

В проекте предполагается использовать оборудование и снаряжение преимущественно отечественного производства, которое имеет достаточные характеристики для корректного, качественного решения задач организации и осуществления мониторинга и часто значительно дешевле зарубежных аналогов. Следует отметить, что реализация проекта не требует модернизации или расширения существующей инфраструктуры на станциях, дополнительного энергообеспечения, помещений и т. д.

Наиболее затратными в проекте являются экспедиционные работы по созданию пунктов мониторинга, причем прежде всего это относится к труднодоступным островам высокоширотной Арктики (о. Врангеля, о. Котельный), доставка исполнителей работ и оборудования на которые может осуществляться только с крайне дорогостоящим использованием вертолетов. В целом предварительная оценка необходимого для реализа-

ции проекта финансирования дает сумму около 140 млн рублей (основное оборудование и снаряжение — около 10 млн рублей, экспедиционные работы — около 100 млн рублей, оплата работы группы 10 специалистов в течение трех лет — около 30 млн рублей).

В заключение перечислим основные ожидаемые результаты реализации «Технического проекта организации сети мониторинга многолетнемерзлых грунтов (ММГ) на базе наблюдательной сети Росгидромета в высокоширотной Арктике»:

- создание высокоширотного мониторингового разреза, охватывающего часть северной полярной области Земли и характеризующего ее в многообразии криогенных обстановок;
- заполнение пробела в отечественной и международной сети наблюдений по программам TSP и CALM;
- заложение основы и опробование методик сбора, анализа, систематизации и управления данными государственной системы мониторинга ММГ в России на базе наблюдательной сети Росгидромета;
- улучшение качественной и количественной оценок, прогноза направленности изменения мерзлотной обстановки вследствие климатических колебаний;
- выявление региональных отличий в отклике мерзлоты арктических архипелагов и побережья на потепление климата;
- содействие улучшению инженерно-геологического обеспечения хозяйственного освоения территорий высокоширотной Арктики;
- развитие прогноза опасных геокриологических процессов в высокоширотной Арктике.

С.Р. Веркулич, Н.Э. Демидов, М.А. Анисимов (АНИИ)

ЭКСПЕДИЦИЯ «БЕЛАЯ ЧАЙКА – 2020»

Белая чайка (*Pagophila eburnea*) — самый мало-численный эндемичный вид арктических морских птиц с ограниченным гнездовым ареалом и спорадическим распространением в его пределах (Гаврило М.В. Экспедиции проекта «Открытый Океан» в 2019 году. Сообщение второе: O2A2-2019: Белая чайка // Российские полярные исследования. 2020. Вып. 3. С. 29–31). Она внесена в Перечень видов флоры и фауны, являющихся индикаторами устойчивого состояния морских экосистем Арктической зоны Российской Федерации, утвержденный распоряжением Министерства природных ресурсов и экологии Российской Федерации от 22 сентября 2015 г. № 25-р. В 2020 году исследования белой чайки были продолжены в российской части ареала в рамках целевого инновационного проекта ПАО НК «Роснефть» «Оценка устойчивости арктических экосистем на основании исследования динамики состояния ключевых видов». Объектами исследования в этом проекте помимо белой чайки являются такие виды-индикаторы арктической фауны, как белый медведь, атлантический морж, дикий северный олень.

Основная цель исследования — изучение и мониторинг белой чайки как индикатора устойчивого состояния морских арктических экосистем и разработка рекомендаций по сохранению ее популяций.

Задачи экспедиционных исследований:

1. Получение данных о гнездовой численности, фенологии гнездового сезона, успешности размножения, особенностях хода гнездового цикла в выбранной ключевой колонии, в т. ч. с использованием БПЛА и фотоловушек.
2. Отлов, кольцевание, мечение белых чаек.
3. Получение данных о морфометрических характеристиках, половозрастном составе отловленных белых чаек, состоянии их линьки и вовлеченности в размножение.
4. Получение данных о пространственном и биотопическом сезонном распределении, в т. ч. с использованием GPS-трекеров.
5. Получение данных о встречаемости и поведении белых чаек.
6. Проведение сбора биологических образцов от белых чаек для дальнейших анализов, в т. ч. трофологического, токсикологического, паразитологического.

Материалы и методы

Экспедиционные работы проводились в северо-восточной части Карского моря и в море Лаптевых, в т. ч. в пределах Северо-Карского лицензионного участка ПАО «НК «Роснефть»».