

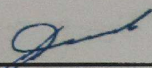
**Программа исследований и работ гидрометеорологической  
обсерватории Тикси  
Первый год развертывания и выполнения проектов.  
30 Май, 2010 года  
(Версия 1.0)**

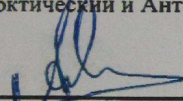


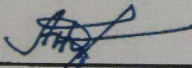


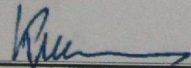
Программа научных исследований на гидрометеорологической обсерватории в Тикси будет уточняться. 15 мая 2010 года Научный комитет по программе исследований в Тикси обсудил и принял версию программы 1.0.

От Федеральной службы по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды (Россия):

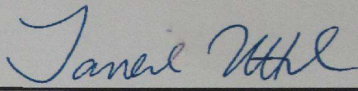
  
Александр Данилов  
Арктический и Антарктический НИИ

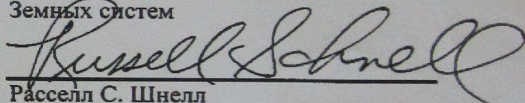
  
Александр Максштас  
Арктический и Антарктический НИИ

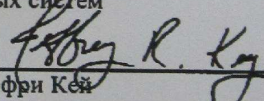
  
Александр Решетников  
Главная геофизическая обсерватория

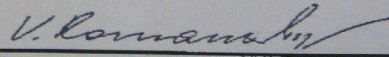
  
Алексей Коноплев  
НПО Тайфун, Обнинск

От Национального администрация по вопросам океана и атмосферы (США):

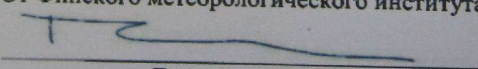
  
Таниел Юттал  
Лаборатория по исследованиям  
Земных систем

  
Расселл С. Шнелл  
Лаборатория по исследованиям  
Земных систем

  
Джеффри Кей  
Служба по спутниковой информации,  
НОАА

  
Владимир Романовский  
Университет Аляски

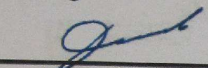
От Финского метеорологического института

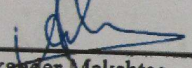
  
Туомас Лаурилла  
Финский метеорологический институт  
15 Мая, 2010




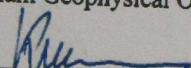
The Science Program of Activities for the Tiksi Hydrometeorological Observatory is a developing document. On May 15<sup>th</sup>, 2009 Version 1.0\_ 15.05.2009 document has been reviewed and accepted by the Tiksi Science team.

For the Russian Federal Service for  
Hydrometeorological and Environmental  
Monitoring:

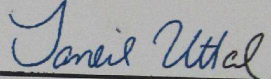
  
Alexander Danilov  
Arctic and Antarctic Research Institute

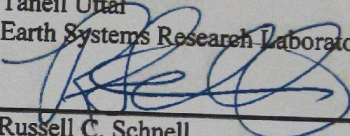
  
Alexander Makshtas  
Arctic and Antarctic Research Institute

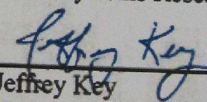
  
Alexander Reshetnikov  
Main Geophysical Observatory

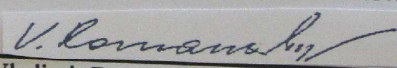
  
Alexey Konoplev  
Institute for Environmental Chemistry

For the U.S. National Oceanic and  
Atmospheric Administration

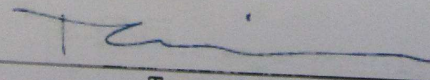
  
Taneil Uttal  
Earth Systems Research Laboratory

  
Russell C. Schnell  
Earth Systems Research Laboratory

  
Jeffrey Key  
NOAA Satellite and Information Service

  
Vladimir Romanofsky  
University of Alaska

For the Finnish Meteorological Institute

  
Tuomas Laurila  
Finnish Meteorological Institute

May 15, 2009

# **Программа исследований и работ гидрометеорологической обсерватории Тикси**

## **Первый год развертывания и выполнения проектов.**

**30 Май, 2010 года**

- 1.0 Введение
  - 1.1. Гидрометеорологическая обсерватория в Тикси – ключевое звено системы международных гидрометеорологических наблюдений в Арктике.
  - 1.2 Научные предпосылки создания Гидрометеорологической обсерватории в Тикси.
  - 1.3 Метеорологические наблюдения в Тикси
  - 1.4 Подготовительный период создания Гидрометеорологической обсерватории Тикси в 2005-2009 годах.
- 2.0 Проекты, планируемые к реализации в 2010 году.
  - 2.1. Метеорологические наблюдения.
    - 2.1.1 Стандартные метеорологические наблюдения.
    - 2.1.2 Сеть климатических наблюдений - CRN
    - 2.1.3 Аэрологические наблюдения.
  - 2.2 Проект «Базовая сеть радиационных наблюдений» (БСРН).
    - 2.2.1 Российская программа актинометрических наблюдений
    - 2.2.2 Радиационные наблюдения по программе БСРН.
  - 2.3 Измерения по программе «Глобальная служба атмосферы» (GAW).
    - 2.3.1 Отбор и анализ проб воздуха.
    - 2.3.2 Измерения сажевого аэрозоля.
    - 2.3.3 Измерения концентрации углекислого газа, метана и водяного пара.
    - 2.3.4 Измерения концентрации и состава атмосферного аэрозоля в приземном слое атмосферы.
    - 2.3.5 Измерение аэрозольной оптической толщи атмосферы.
    - 2.3.6 Определение химического состава осадков
  - 2.4 Мониторинг загрязнения атмосферного воздуха в районе Тикси. Программа мониторинга Арктики и оценки. (АМАР).
    - 2.4.1 Определение стойких органических загрязнителей атмосферы
    - 2.4.2 Определение тяжелых металлов в атмосферном воздухе
    - 2.4.3 Определение концентрации и общего содержания озона в атмосфере
    - 2.4.4 Измерения УФ радиации
  - 2.5 Турбулентные потоки
    - 2.5.1 Потоки метана и углекислого газа
    - 2.5.2 Потоки тепла в приземном слое атмосферы
  - 2.6 Исследования, проводимые Международной Ассоциацией Мерзловедения (ИРА).
    - 2.6.1 Мониторинг температурного режима деятельного слоя почвы.
    - 2.6.2 Мониторинг температурного режима вечной мерзлоты.

- 3.0 Проекты, запланированные на 2011 год и далее.
  - 3.1 Исследование характеристик облачности
  - 3.2 Исследования приспособляемости человека к Арктической среде.
  - 3.3 Валидация спутниковых наблюдений.
- 4.0 Завершенность объектов ГМО Тикси на период весны 2010 года
  - 4.1 Главное здание обсерватории.
  - 4.2 Павильон чистого воздуха.
  - 4.3 Система приема и передачи данных.
- 5.0 Приложения.
  - 5.1 Научный коллектив Обсерватории Тикси.
  - 5.2 Сокращения и обозначения.
  - 5.3 Ссылки на сайты Интернета.

## 1. Введение

### *1.1 Гидрометеорологическая обсерватория в Тикси – ключевое звено системы международных гидрометеорологических наблюдений в Арктике*

В 2005 году в Арктическом и антарктическом научно-исследовательском институте (ААНИИ) Росгидромета были подготовлены предложения по участию в Международном Полярном Годе (МПГ) под условным названием «Создание Атмосферной Обсерватории климатического мониторинга в Тикси». Впоследствии предложенный проект был интегрирован в Кластер МПГ N196 «International Arctic Systems for Observing the Atmosphere» (Международная система наблюдений атмосферы в Арктике, [www.IASOA.org](http://www.IASOA.org)), координирующий проведение мониторинга окружающей среды на сети полярных обсерваторий в Арктике. В 2006 году решение о создании в Тикси современной Гидрометеорологической Обсерватории было принято на Первом официальном совещании делегаций Национальной океанической и атмосферной администрации Министерства торговли США (НОАА) и Федеральной службы по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды Российской Федерации (Росгидромет), состоявшемся в Москве 27 февраля – 3 марта 2006 г. в рамках Меморандума по сотрудничеству в области метеорологии, гидрологии и океанографии (Проект № 4.1 «Создание современной гидрометеорологической станции и Гидрометеорологической обсерватории в Тикси, Россия»). Ход реализации проекта по созданию Гидрометеорологической обсерватории в Тикси был рассмотрен и одобрен на Втором официальном совещании делегаций Национальной океанической и атмосферной администрации (НОАА) Министерства торговли США и Федеральной службы по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды Российской Федерации (Росгидромет), состоявшемся в 7-11 апреля 2008 г. в г. Сильвер Спрингс, США. Согласно резолюциям, содержащимся в Протоколах совещаний, главными целями проекта являются:

- создание Гидрометеорологической исследовательской обсерватории, оснащенной современными средствами наблюдений и связи, системой энергоснабжения, лабораторными и офисными помещениями, на которой будет проводиться сбор качественных данных о составе атмосферы и атмосферных процессах, а также о сопутствующих параметрах океана и суши для целей изучения погоды и климата;
- интегрирование данных наблюдений и измерений, организуемых в будущей обсерватории, в международные наблюдательские сети Global Atmosphere Watch (Глобальные наблюдения за атмосферой), Baseline Surface Radiation Network (Базовая сеть наземных радиационных наблюдений), Climate Reference Network (Базовая сеть наблюдений за климатом), Global Terrestrial Network for Permafrost (Глобальная сеть наблюдений за вечной мерзлотой) и Micropulse Lidar Network (Сеть лидарных наблюдений за облачностью и аэрозолями). Работы Гидрометеорологической Обсерватории будут выполняться в рамках Совместной программы Росгидромета и НОАА, ориентированной на выявление причин и последствий изменений климата Арктики, с особым вниманием к комплексным исследованиям, направленным на понимание взаимосвязанных составляющих арктической климатической системы, включая атмосферные и гидрологические процессы; изменения химического состава атмосферы, таяние вечной мерзлоты; береговую эрозию; радиационный баланс; прямое и косвенное воздействие облачности и аэрозольной составляющей

атмосферы на радиационные процессы, а также процессы газо- и массообмена между подстилающей поверхностью и атмосферой.

Ожидается, что российско-американское сотрудничество явится основой для более широкого международного участия, а Тикси станет местом нахождения международной комплексной исследовательской обсерватории в одном из наиболее важных и слабо освещенном данными регионов Арктики. В работе обсерватории предполагается участие организаций Росгидромета, Российской Академии наук (РАН), НОАА, Национального Научного Фонда США и научных организаций других стран, заинтересованных в проведении научных исследований в Тикси. Финский метеорологический институт является первым примером такого участия. Обсерватория в Тикси будет важным компонентом сети действующих арктических атмосферных обсерваторий, включающей обсерватории в Барроу (Аляска, США), Еурика и Алерт (Канада), Саммит (Гренландия), Ну-Алесунд (Норвегия), Паллас и Соданкула (Финляндия) и Абиско (Швеция). Совместная работа перечисленных обсерваторий обеспечит циркумполярный мониторинг гидрометеорологических процессов в высоких широтах. В выполнении программы исследований предполагается участие следующих научно-исследовательских организаций:

#### РОСГИДРОМЕТ:

- Государственный научный центр РФ «Арктический и антарктический научно-исследовательский институт»
- Научно-производственное объединение «Тайфун»
- Главная геофизическая обсерватория им. Воейкова

#### РОССИЙСКАЯ АКАДЕМИЯ НАУК:

- Институт физики атмосферы им. Обухова
- Институт океанологии им. Ширшова
- Институт физико-химических и биологических проблем почвоведения
- Институт мерзлотоведения им. Мельникова

#### ПОЛЯРНЫЙ ФОНД (Россия)

#### НОАА:

- Лаборатория исследования систем Земли
- Национальный Центр климатических данных
- Лаборатория атмосферных ресурсов
- Национальная служба информации и спутниковых наблюдений за окружающей средой

#### НАЦИОНАЛЬНЫЙ НАУЧНЫЙ ФОНД США

#### НАЦИОНАЛЬНАЯ АДМИНИСТРАЦИЯ АЭРОНАВТИКИ И КОСМИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ:

- Годдаровский Центр космических исследований

#### УНИВЕРСИТЕТ АЛЯСКИ

Создание в период Международного Полярного года Гидрометеорологической обсерватории в Тикси было отмечено Комитетом МПГ как критически важный компонент Международной сети полярных станций мониторинга долговременных изменений климата Арктики. Создание сети обсерваторий, проводящих долговременные гидрометеорологические наблюдения по согласованной программе, с использованием

идентичных измерительных комплексов, обусловлено, с одной стороны, необходимостью понять известный феномен полярного усиления, означающий максимальную изменчивость климата именно в полярных районах, с другой стороны - особенной ранимостью экосистемы Арктического региона вследствие воздействий антропогенного и естественного происхождения.

### *1.2 Научные предпосылки создания исследовательской Гидрометеорологической обсерватории в Тикси*

В последние десятилетия, наряду с известным явлением потепления климата, происходят существенные изменения состава атмосферы, отмечаемые не только в промышленно развитых странах, но и в удаленных районах Земного шара, в том числе и в Арктике. В частности, за последние 7 лет произошло увеличение тренда концентрации углекислого газа в атмосфере (с 1.4 ppm/год в 1990-1999 годах до 1.9 ppm/год в 2000-2007 годах). Причиной такого усиления является с одной стороны возрастанием выбросов CO<sub>2</sub> в последние годы, а с другой, возможно, уменьшением его стока за счет изменения поглотительной способности как океана, так и растительного покрова. При этом до сих пор не ясна роль ледяного покрова Северного Ледовитого океана в процессах тепло- и газообмена. Подтверждением сказанному является приведенное на рис. 1.1 пространственно – временное распределение аномалий температуры воздуха за весь период инструментальных измерений в Арктике. Как видно из рисунка, положительные аномалии температуры воздуха, зафиксированные в районе Тикси в зимний период, являются одними из максимальных в Арктическом регионе, особенно в период известного потепления Арктики 1930 – 1940 г.г.

В последние годы произошло также увеличение концентрации антропогенных аэрозолей и летучих органических соединений, многие из которых являются токсичными, мутагенными или канцерогенными. При значительных концентрациях они неблагоприятно воздействуют на природу и здоровье людей. Обширные экспериментальные данные показывают, что химические процессы в шлейфах крупных городов, нефтегазовых месторождений и промышленных центров способны приводить к значительной трансформации первоначального химического состава загрязненного воздуха и существенно ухудшать экологическую ситуацию на значительных расстояниях от источника выбросов.

Поселок Тикси расположен в зоне влияния на атмосферные процессы как Атлантического, так и Тихого океанов. Такой режим циркуляции атмосферы в районе Обсерватории обуславливает разнообразие и изменчивость как количества облачности, так и ее состава. Так, данные реанализа NCEP показывают, что изменчивость облачного покрова в летний период здесь существенно выше, чем в Барроу или Алерте. Однако сами данные реанализа, особенно об облачности и величинах радиационных потоков тепла, вариации которых являются одной из возможных причин изменений климата региона, должны быть протестированы по натурным данным, количество и качество которых в настоящее время явно недостаточно. Для ликвидации этого недостатка в Обсерватории будут организованы радиационные измерения в рамках программы Базовой сети радиационных наблюдений и современные инструментальные наблюдения за облачностью. Результаты таких измерений особенно важны при анализе исторических данных.



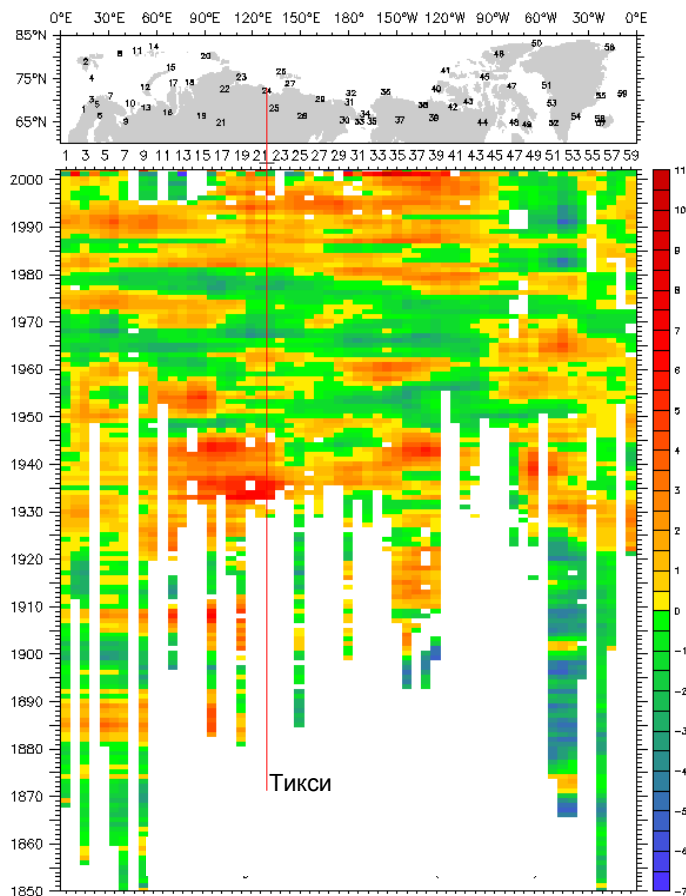


Рисунок 1.1 – Аномалии температуры приземного слоя воздуха в феврале для 59 полярных станций (Оверланд и др., 2004)

Регион Тикси представляет большой интерес и с точки зрения исследований загрязнения атмосферы Арктики. В зависимости от направления переноса воздушных масс наблюдения в обсерватории дадут возможность оценить влияние на качество атмосферного воздуха Арктики различных регионов России, Северной Америки, Европы и Центральной Азии.

Поселок Тикси расположен вблизи устья реки Лены, занимающей второе место после Енисея по объему пресных вод, сбрасываемых в Северный Ледовитый Океан (524 и 586 км<sup>3</sup>/год соответственно). При этом особенности изменчивости интенсивности осадков в районе водосбора, обуславливающие большую межгодовую и долгопериодную изменчивость стока Лены изучены недостаточно. Кроме этого, река Лена является единственной из великих рек, водосбор которой расположен в зоне вечной мерзлоты, что обуславливает повышенную чувствительность ее гидрологического комплекса к возможному потеплению климата. При этом огромное содержание углеродных соединений, сконцентрированных в вечной мерзлоте бассейна реки, и их роль как источников и стоков радиационно-активных газов (метана и углекислого газа) существенно зависят от интенсивности увлажнения почвы вследствие осадков и испарения (поток углекислого газа в атмосферу увеличивается при уменьшении увлажненности, а

метана при увеличении). Мониторинг парниковых газов будет еще одной чрезвычайно важной программой наблюдений будущей Обсерватории.

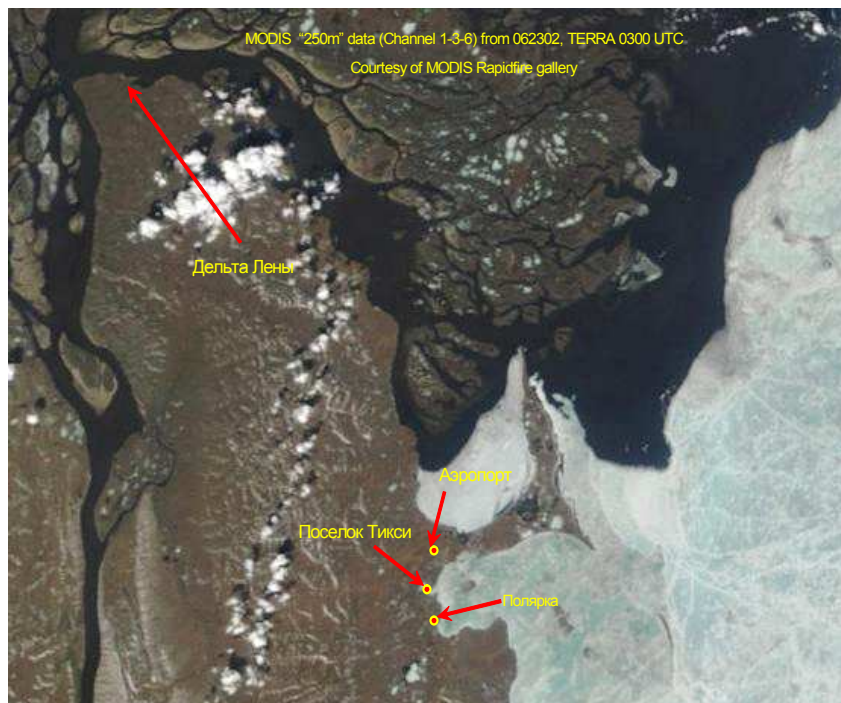


Рисунок 1.2 – Местоположение Гидрометеорологической обсерватории (район существующей метеорологической станции «Полярка»)

Море Лаптевых отличается максимальной ледопродукцией среди акваторий остальных арктических морей и может быть названо «фабрикой льда Северного Ледовитого океана». Этот район – один из основных источников морского льда, большая часть которого трансполярным дрейфом выносится через пролив Фрама и оказывает влияние на процессы глубокой конвекции в Гренландском море, один из возможных факторов, обуславливающих долгопериодную изменчивость климата Земли.

Моря Лаптевых и Восточно-Сибирское характеризуются сильной изменчивостью ледяного покрова и резким уменьшением его площади в годы максимального сокращения ледяного покрова Арктики, в значительной степени зависящим от атмосферных синоптических процессов в регионе. Наличие обсерватории в центре региона максимальной изменчивости морского льда позволит лучше изучить причины наблюдаемого уменьшения площади паковых льдов. Кроме того, в случае продолжения сокращения ледяного покрова, положение обсерватории Тикси на одном из стратегических участков Северного Морского пути позволит проводить мониторинг условий, обуславливающих изменение концентрации льда, которые будут использованы в качестве индикаторов для регионального прогноза ледяного покрова.

Суммируя вышесказанное, географически поселок Тикси идеально расположен для интенсивного исследования взаимосвязанных компонент климатической системы Арктики, включая атмосферные и гидрологические процессы, процессы деградации

вечной мерзлоты и береговой эрозии, а также процессы на шельфе, которые играют одну из ключевых ролей в гидрологии Северного Ледовитого Океана.

### *1.3 Исторические данные метеорологических наблюдений в Тикси.*

Выбор метеорологической станции «Полярка» в Тикси (71.6° с.ш., 128.9° в.д.) в качестве местонахождения Гидрометеорологической обсерватории, кроме вышеуказанного, обусловлен целым рядом обстоятельств исторического характера. Метеорологическая станция в Тикси имеет одну из самых долгих историй наблюдений среди полярных станций в Арктике. Она была открыта в поселке «Полярка» 12 августа 1932 г. С момента основания на станции выполнялся полный комплекс гидрометеорологических наблюдений: четырехразовые измерения атмосферного давления; температуры и влажности воздуха; осадков; высоты снежного покрова; продолжительности солнечного сияния; направления и скорости ветра; температуры поверхности почвы. Кроме этого визуально определялись дальность видимости, количество и формы облачности, а с 1967 г. инструментально определялась высота облачности. С января 1966 г. были начаты 8-срочные метеорологические наблюдения. С января 1993 г. на станции производятся измерения общего содержания озона в атмосфере. Геомагнитные наблюдения, организованные учеными Арктического и антарктического научно-исследовательского института выполняются на станции с 1956 г.

Аэрологические наблюдения на станции были начаты в 1935 г. С 1946 г. радиозондирование на станции стало регулярным, два раза в сутки. Начиная с 1935 г. для наблюдений использовались радиозонды конструкции П.А. Молчанова РЗ-43 и РЗ-049, затем аэрологические комплексы «Малахит А-22» (1957 - 1975 гг.), «Метеорит -2» и зонды РКЗ-5 (1975 - 1988 г.г.), «АВК-1» и зонды МРЗ-3 – с 1988 г. до настоящего времени. Таким образом, на метеорологической станции «Полярка» получен практически непрерывный ряд данных зондирований атмосферы, который является одним из самых длинных в Арктике.

На гидрометеорологической станции «Полярка» с начала ее организации проводятся морские гидрологические наблюдения. Эти наблюдения включают регулярные измерения температуры и солености воды, а также наблюдения за уровнем моря. Регулярные исследования морфометрических характеристик припайных льдов и снежного покрова, начатые в 1932 г. и продолжающиеся до настоящего времени, позволяют отслеживать таяние и нарастание ледяного покрова в течение всего года на протяжении десятилетий.

В поддержку программы создания Гидрометеорологической обсерватории по указанию Росгидромета Якутским управлением Росгидромета и АНИИ создан и ежегодно пополняется электронный архив данных стандартных гидрометеорологических наблюдений, выполненных на станции за более чем семидесятилетний период. Проведенный на его основании анализ, базирующийся на методах статистики и математического моделирования, не только позволил выявить закономерности взаимосвязанных гидрометеорологических процессов в прошлом, но и послужил основой научной программы будущих климатических исследований.

#### *1.4 Подготовительный период создания Гидрометеорологической обсерватории Тикси в 2005–2009 годах*

В июле 2005 г. на метеорологическую станцию «Полярка» состоялся визит представителей Росгидромета, NOAA, NSF, FMI, Полярного фонда и группы «Alliance» (рис.1.3). Кроме оценки состояния и оборудования метеостанции, участники визита рассмотрели возможные места для строительства дополнительного павильона, предназначенного для размещения пробоотборников, обеспечивающих исследования химического и аэрозольного состава воздуха, а также установки регистрирующей аппаратуры датчиков теплового баланса подстилающей поверхности. Условием выбора места для строительства было отсутствие местных источников возможных загрязнений воздуха, а также горизонтальность и однородность подстилающей поверхности в радиусе 1 км, необходимая для измерения альбедо и проведения подспутниковых наблюдений. При этом дополнительным условием выбора места являлись близость к линии электропередач и доступность для наблюдателей.

Место для постройки павильона было найдено примерно в 1.5 км к северо-западу от существующей метеостанции. Далее это место именуется как павильон чистого воздуха (ПЧВ). Подстилающая поверхность вблизи ПЧВ достаточно однородна, покрыта тундровой растительностью, характерной для заболоченных и сухих участков почвы, пересыхающими ручьями и выходами скальных пород. ПЧВ расположен на высоте 20-30 метров над уровнем моря. Рядом расположена линия электропередач Тикси - метеостанция. Координаты метеостанции и ПЧВ приведены в таблице 1.1, их местоположение относительно поселка Тикси и Геофизической обсерватории РАН показано на Рисунках 1.2, 1.4



Рисунок 1.3 - Первый визит в Тикси по планированию создания Гидрометеорологической Обсерватории.

Таблица 1.1.

## Координаты метеостанции Тикси и ПЧВ

	Широта	Долгота
Метеостанция	71.586166 с. ш.	128.91883 в. Д.
Павильон чистого воздуха	71.594528 с. ш.	128.88838 в. Д.

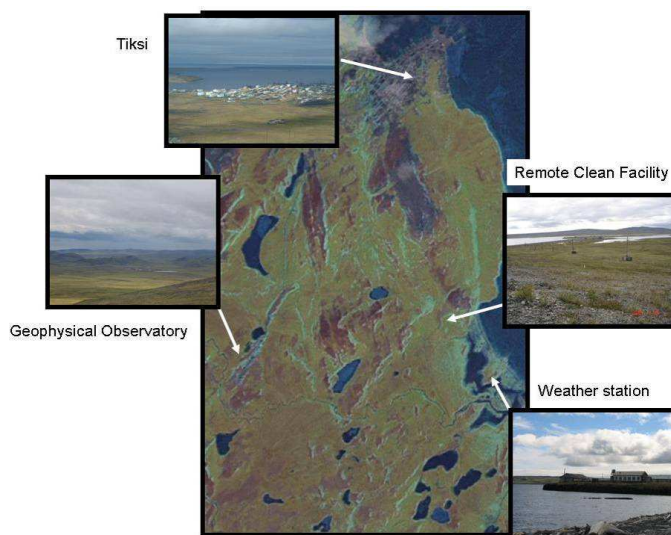


Рисунок 1.4 – Общий вид района Гидрометеорологической Обсерватории

В период второго визита представителей Росгидромета, NOAA, NSF и Полярного Фонда, состоявшегося в августе 2007 г., было обследовано новое здание метеостанции и проанализирован ход строительства фундамента павильона ПЧВ. После дополнительного изучения возможного местоположения приборов по программе базовой сети наблюдений за климатом (CRN) было принято решение расположить их в непосредственной близости от нового здания метеостанции, вблизи метеоплощадки для стандартных метеорологических наблюдений.

В сентябре 2009 года группа российских, американских и финских ученых прибыла в Тикси для развертывания первых комплексов оборудования для проведения измерений суммарной солнечной и ультрафиолетовой радиации и температурного режима верхнего 3.5 метрового слоя вечной мерзлоты (ААНИИ); измерения потоков углекислого газа и метана; а также концентрации и распределения аэрозоля по размерам (ФМИ и ГГО); измерительных комплексов по программам BSRN, CRN, комплексов аппаратуры для измерения потоков тепла и влаги, а также концентрации сажевого аэрозоля (НОАА). В ходе визита было отмечено существенное улучшение инфраструктуры: линий электропередач и дорог между поселком Тикси, метеорологической станцией и ПЧВ, выполненное на средства правительства Республики Саха (Якутия). После отъезда учёных в октябре 2009 года в Тикси прибыли представители Полярного Фонда для завершения работ по строительству метеорологической станции, ПЧВ и оборудованию полигона. Работы, запланированные в ходе визита, были выполнены лишь частично. Во многом это

было обусловлено проблемами, связанными с задержками в доставке оборудования, таможенными проблемами и изменениями в графике работ.

Таблица 1.2

Список проектов, запланированных для реализации в Гидрометеорологической обсерватории Тикси.

<b>Название проекта</b>	<b>Предмет исследования</b>
<b>Стандартные метеорологические и аэрологические наблюдения</b> (ААНИИ, АТДД, ЯУГМС)	Создание однородных климатических архивов метеорологических данных. Участие в программе CRN. Передача данных в ГТС/ВМО
<b>Актинометрические наблюдения</b> (ААНИИ, ГГО, ESRL)	Создание однородных климатических архивов актинометрических данных. Участие в программе БСРН
<b>Мониторинг содержания парниковых газов</b> (ААНИИ, ГГО, ФМИ, ESRL)	Мониторинг содержания парниковых газов в рамках программы ГСА
<b>Мониторинг загрязнения атмосферы</b> ("Тайфун", АТДД)	Изучение загрязнения воздуха в Арктике. Программы АМАР и Глобальный мониторинг СО <sub>2</sub> (UNEP),
<b>Изучение аэрозолей.</b> (ИО/РАН, ААНИИ, ФМИ, ГГО, ESRL, NASA)	Мониторинг аэрозолей в рамках программ ГСА и AeRoNet
<b>Изучение облачности</b> (ГГО, ESRL, ESRL)	Изучение физических и динамических характеристик облачности.
<b>Мониторинг УФ радиации и суммарного содержания озона.</b> (ААНИИ, ГГО, Biospherical)	Участие в международной сети озонметрических наблюдений
<b>Изучение теплового и газового баланса Земли, турбулентных потоков тепла, влаги, СО<sub>2</sub> и СН<sub>4</sub></b> (ИФА РАН, ААНИИ, ГГО, ESRL, АТДД, ФМИ)	Изучение процессов взаимодействия атмосферы и подстилающей поверхности.
<b>Исследование химического состава осадков и содержания сажи в снеге</b> (ГГО, Университет Вашингтона)	Исследование химического состава жидких осадков и снега. Проведение измерений сажи в рамках инициатив встречи в Копенгагене (КОП-15)
<b>Изучение вечной мерзлоты</b> (IGC/РАН, ААНИИ, Университет Аляски, АТДД)	Изучение эволюции вечной мерзлоты
<b>Исследование влияния изменений окружающей среды на организм человека</b> (ААНИИ)	Здоровье человека в Арктическом регионе
<b>Валидация спутниковых данных и региональные исследования</b> (NESDIS, ФМИ)	Интеграция дистанционных и контактных методов исследований подстилающей поверхности и полярной атмосферы

Первоочередными направлениями работ, планируемых к развертыванию в Гидрометеорологической обсерватории в июне 2010 года, являются организация и

проведение круглогодичных стандартных метеорологических и аэрологических наблюдений, наблюдений по программам БСРН и CRN, регулярных отборов проб воздуха и анализ их на концентрацию CO<sub>2</sub> и CH<sub>4</sub>, отбор проб снега для определения химического состава осадков, осуществление комплексного мониторинга современного состояния и загрязнения окружающей среды, изучение влияния природно-климатических факторов Арктики на организм человека, а также постановка специальных экспериментальных работ, направленных на исследование процессов взаимодействия подстилающей поверхности с атмосферой. Данные, полученные в ходе выполнения вышеуказанных проектов, вносят свой вклад в мониторинг изменений климата Арктики, осуществляемый на уже действующей сети международных полярных обсерваторий. Результаты работ будут использованы для научного обоснования перспективного планирования экономически эффективной и экологически безопасной хозяйственной, в том числе морской, деятельности, а также для решения задач по гидрометеорологическому обеспечению судоходства по трассам Северного морского пути.

## **2.0 Проекты, планируемые к реализации в 2010 году.**

### **2.1 Метеорологические наблюдения**

#### **2.1.1 Стандартные метеорологические наблюдения**

Стандартные метеорологические наблюдения на метеорологической станции «Полярка» были начаты в 1932 г. и продолжаются до настоящего времени с помощью практически идентичного комплекса датчиков, удовлетворяющих требованиям, общим для всех российских метеорологических станций. Эти наблюдения являются основой как для прогностических, так и для исследовательских задач. Архив данных метеостанции Тикси является уникальным источником наиболее достоверной и долгопериодной информации о состоянии приповерхностного слоя атмосферы в наименее освещенном метеорологическими данными регионе Земного шара. Несмотря на развитие в последние десятилетия дистанционных методов получения метеорологической информации с помощью системы автоматических станций и спутников, качество такой информации, как и состав наблюдаемых параметров, далеко уступают информации, полученной путем стандартных метеорологических наблюдений, выполненных опытным наблюдателем. Это обусловлено как недостаточной репрезентативностью данных необслуживаемых автоматических станций в Арктике вследствие, например, обледенения или радиационного нагрева датчиков, так и ограниченным набором параметров, измеряемых современными автоматическими станциями. Что касается дистанционных наблюдений основных метеорологических параметров со спутников, то основная трудность состоит в интерпретации полученных с их помощью данных. Более того, данные стандартных наблюдений служат одним из основных источников для совершенствования алгоритмов обработки спутниковых наблюдений.

В состав метеорологических наблюдений, выполняемых в настоящее время на станции Тикси, входят измерения приземного атмосферного давления, температуры и влажности воздуха, температуры подстилающей поверхности, направления и скорости ветра, количества осадков, высоты снежного покрова, дальности видимости, высоты нижней границы облачности, а также визуальные наблюдения количества и форм облачности, состояния подстилающей поверхности и атмосферных явлений. Сроки проведения наблюдений на метеостанции Тикси представлены в Таблице 2.1.

Таблица 2.1

Сроки метеорологических наблюдений, выполняемых на метеостанции Тикси (ВСВ)

Сроки метеорологических наблюдений	Измерение осадков	Характеристики снежного покрова		
		Высота по рейкам	Степень покрытия	Характер залегания
0, 3, 6, 9, 12, 15, 18, 21	0, 12	12	12	12

Несмотря на достаточно обширный список наблюдаемых параметров, используемые методы наблюдений, как с точки зрения приборного обеспечения, так и регистрации их результатов (необходимость ручной оцифровки для передачи данных в реальном масштабе времени по Интернету) в настоящее время морально устарели и требуют замены. В 2010 г. на станции будет установлен автоматизированный метеорологический комплекс (АМК) с набором датчиков для измерения температуры и влажности воздуха, температуры поверхности почвы, приземного атмосферного давления, направления и скорости ветра. Характеристики датчиков указанного комплекса приведены в таблице 2.2.

Таблица 2.2

Характеристики датчиков модернизированной метеорологической станции АМК для проведения стандартных метеорологических наблюдений

Параметр	Датчик
Температура (Т) и относительная влажность воздуха (RH)	Диапазон измерения Т: $-50^{\circ}\text{C} - 50^{\circ}\text{C}$ , диапазон измерения RH: 10 – 100 %, погрешность Т: при $T > -30^{\circ}\text{C} \pm 0,2^{\circ}\text{C}$ , при $T < -30^{\circ}\text{C} \pm 0,3^{\circ}\text{C}$ , погрешность RH: $\pm 2\%$
Скорость ветра	Диапазон измерения. 0 - 75м/с; скорость страгивания $< 0,5\text{ м/с}$ , погрешность измерения при скорости $< 30\text{ м/с} \pm 0.3\text{ м/с}$ , при скорости $> 30\text{ м/с} - 5\%$
Направление ветра	Диапазон измерений: 0 - 360°, разрешающая способность $\pm 2,8^{\circ}$ , порог чувствительности $< 1\text{ м/с}$ , погрешность измерения $\pm 3^{\circ}$
Атмосферное давление	Диапазон измерения 600 - 1100гПа, погрешность $\pm 0,3\text{ гПа}$
Температура поверхности почвы	Диапазон измерений $-60^{\circ}\text{C} - +60^{\circ}\text{C}$ , погрешность измерения $\pm 0,3^{\circ}\text{C}$ .

### 2.1.2 Сеть климатических наблюдений

В качестве вклада американской стороны в исследования климата полярной атмосферы автоматическая климатическая станция, разработанная в рамках программы НОАА «Сеть климатических наблюдений» (CRN), будет установлена в



непосредственной близости от существующей метеоплощадки метеостанции Тикси. В состав станции входят 3 комплекта высокоточных датчиков для измерения температуры воздуха и осадконакопления (рис. 2.1). Высокая точность измерений на станции поддерживается ежегодной поверкой. Станция измеряет также суммарную солнечную радиацию, температуру поверхности почвы и скорость ветра. Кроме этого в ее состав входят три датчика для измерения влажности почвы, датчик относительной влажности воздуха и датчики для измерения температуры почвы на пяти уровнях. Экспериментальные образцы станции работают на Аляске с 2002 года, что позволило адаптировать их к полярным условиям. В настоящее время в США развернуто 112 таких станций, 2 станции установлены в Канаде. Станция сети CRN в Тикси будет третьей станцией вне территории США. Ещё одну станцию планируется в ближайшем будущем установить в Якутске.

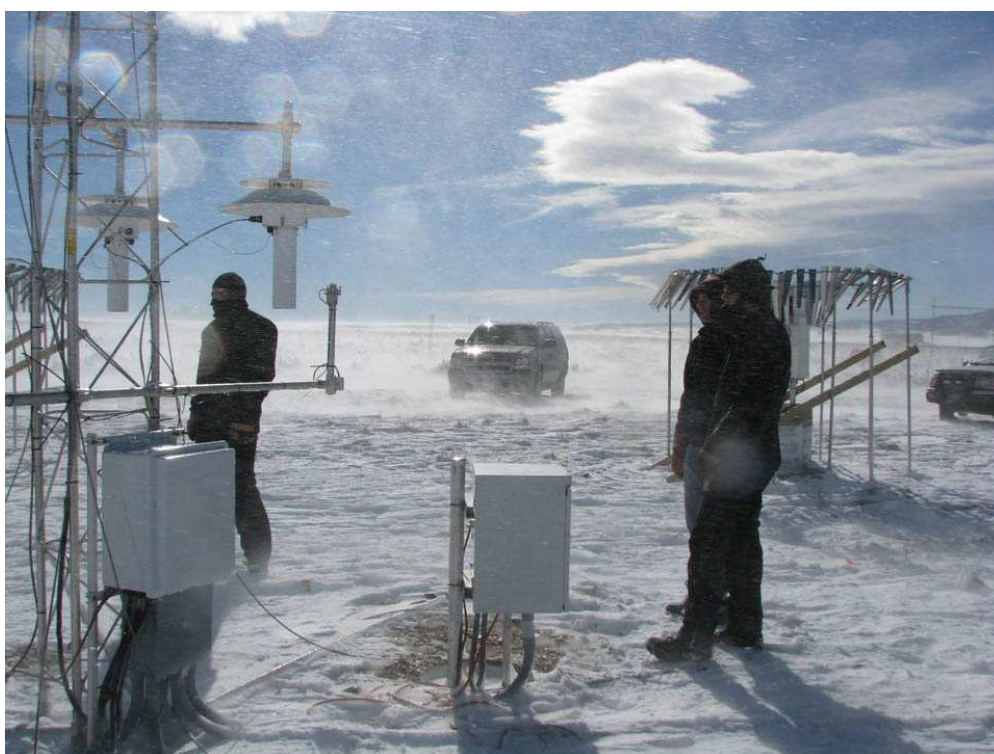


Рисунок 2.1 – Общий вид метеорологической станции CRN, установленной в Арктике.

### *2.1.3 Аэрологические наблюдения*

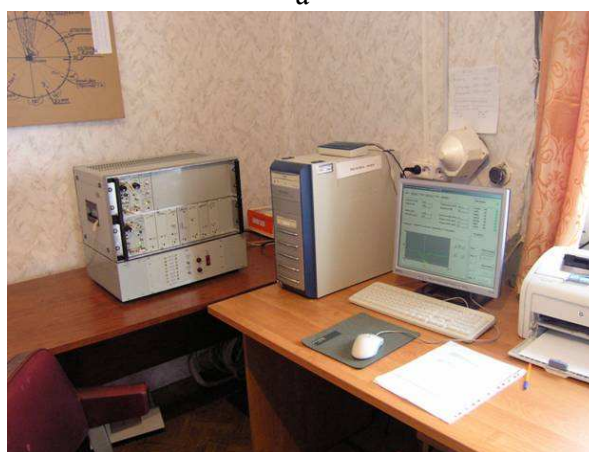
В настоящее время аэрологические наблюдения, в состав которых входят измерения высоты, давления, температуры и влажности воздуха, направления и скорости ветра, выполняются на метеостанции Тикси два раза в сутки, в 0 и 12 ВСВ. В 2010 году Гидрометеорологическая обсерватория будет переоснащена новым автоматизированным аэрологическим комплексом «Вектор-М». Аэрологический радиолокационный комплекс «ВЕКТОР-М», предназначенный для проведения температурно-ветрового зондирования атмосферы, обеспечивает предполетную проверку радиозонда, автоматическое сопровождение радиозонда в полете, прием и обработку координатно-телеметрической

информации, формирование и передачу аэрологических телеграмм по каналам связи потребителям информации.

АРВК «ВЕКТОР-М» относится к классу цифровых систем радиозондирования атмосферы с автоматической обработкой данных. Уровень автоматизации наблюдений создает возможность автоматического контроля функционирования системы, обеспечивающего автоматическую проверку характеристик антенной системы и следящего привода; дистанционное управление системой одним оператором (рабочее место оператора на основе ПЭВМ); автоматическую обработку вторичной метеорологической информации и передачу по каналам связи аэрологических телеграмм, а также сохранение аэрологических данных в архиве для дальнейшего анализа. Общий вид комплекса «ВЕКТОР-М» приведен на рисунке 2.2, основные характеристики комплекса - в таблице 2.3.



а



б

Рисунок 2.2 – Антенна (а) и приемный пункт (б) аэрологического радиолокационного вычислительного комплекса «Вектор-М»

Таблица 2.3

Основные характеристики аэрологического радиолокационного вычислительного комплекса «ВЕКТОР-М»

Параметр	Диапазон и погрешность измерений
Дальность зондирования, км	20 – 250
Предельная высота зондирования, км	40
Диапазон рабочих частот, МГц	1680 ±10
Температура воздуха, °С	диапазон измерения -90 - +50, погрешность ±0.15
Относительная влажность воздуха, %	диапазон измерения 0 - 100, погрешность ±0.5
Скорость действительного и среднего ветра, м/с	диапазон измерения 0 - 100; погрешность ±0.7
Направление действительного и среднего ветра, град	диапазон измерения 0 – 360, погрешность 1.5
Атмосферное давление, гПа	диапазон измерения 2 - 1100, погрешность ±2
Типы применяемых радиозондов	МРЗ-3А; МРЗ-3АМ; РЗМ-1-01; РЗМ-2-01; РЗМ-3-01; РФ-95
Виды формируемых выходных документов	КН-04; ТАЭ-16М; ТАЭ-3; «СЛОЙ»; «ПРИЗЕМНЫЙ СЛОЙ»

## 2.2 Проект «Базовая сеть радиационных наблюдений» (БСРН)

Целью проекта является получение возможно более качественной информации о составляющих радиационного баланса подстилающей поверхности в одном из наименее освещенных наблюдениями географическом районе. Организация в Тикси наблюдений по программе ВМО БСРН (<https://www.gewex.org/bsrn.html>), основной задачей которой является: «создание всемирной сети для постоянных актинометрических измерений у земной поверхности», позволит заполнить пробел в данных о радиационных процессах в Арктике. Эта программа, реализация которой была начата в 1992 году, в 2008 году объединяла 43 станции, поставившие данные наблюдений в центральный архив в Бремерхафене, Германия. В 2004 году БСРН была утверждена как глобальная актинометрическая сеть для Глобальной Системы наблюдений за климатом - ГКОС (GCOS). Основными задачами БСРН определены:

- Мониторинг с помощью современных методов наблюдений фоновой коротковолновой и длинноволновой радиации в районах, менее всего подверженных влиянию локального антропогенного воздействия.
- Обеспечение информации, необходимой для калибровки спутниковых данных о радиационных потоках в приземном слое атмосферы.
- Получение высококачественных данных наблюдений, которые будут использоваться для проверки результатов расчетов радиационных потоков в численных моделях.

В Тикси радиационные измерения планируется проводить параллельно с помощью стандартных российских актинометрических датчиков, предоставленных ААНИИ, и датчиков БСРН, предоставленных НОАА. Целью параллельных измерений датчиками ААНИИ и НОАА будет сравнение данных измерений прямой, суммарной и рассеянной солнечной радиации, выполненных приборами БСРН, и стандартными

актинометрическими датчиками, используемыми на сети российских актинометрических станций.

### 2.2.1 Российская программа актинометрических наблюдений

Российские датчики были установлены в Гидрометеорологической обсерватории в октябре 2009 года (Рис. 2.3). Характеристики российских датчиков для стандартных актинометрических наблюдений приведены в Таблице 2.4.

Таблица 2.4 - Характеристики российских актинометрических датчиков

Измеряемый параметр / датчик	Диапазон/погрешность
Прямая солнечная радиация. Актинометр АТ-50	Спектральный интервал 200 – 4000 нм, диапазон измерений: 0.01 – 1600 Вт/м <sup>2</sup> , основная допускаемая погрешность измерения <1.7%
Суммарная и рассеянная солнечная радиация. Пиранометр М-80	Спектральный интервал: 200 – 4000 нм, диапазон измерений: 0.01 – 1600 Вт/м <sup>2</sup> , погрешность ±20 Вт/м <sup>2</sup>



Рисунок 2.3. Российские датчики суммарной и рассеянной солнечной радиации, установленные в Гидрометеорологической обсерватории в Тикси в октябре 2009 года и пример информации о солнечной радиации, получаемой непосредственно в Центре данных Тикси в ААНИИ, С.Петербург, Россия.

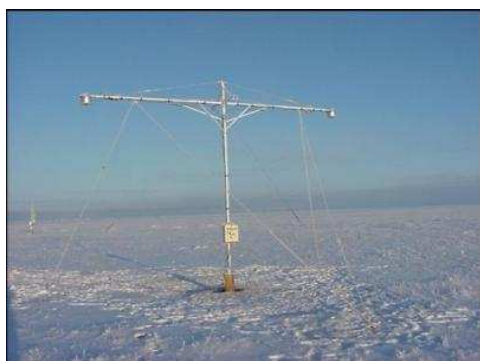
### 2.2.2 Радиационные наблюдения по программе БСРН.

Приборы БСРН были отправлены в Якутск в августе 2009 и планируются к установке в мае 2010 года. Общий вид установки актинометрических датчиков по программе БСРН показан на рис. 2.4. Характеристики датчиков БСРН приведены в Таблице 2.5.

Таблица 2.5.

## Состав актинометрических наблюдений и характеристики датчиков БСРН

Измеряемый параметр/датчик	Диапазон/погрешность
Прямая солнечная радиация Пиргелиометр СН1	Спектральный интервал: 200 – 4000нм, диапазон измерений: 0 – 1200 Вт/м <sup>2</sup> , погрешность: 2% или ±3 Вт/м <sup>2</sup> (большее из двух значений)
Суммарная, рассеянная и отраженная солнечная радиация Пиранометр CM22	Спектральный интервал: 200 – 4000 нм, диапазон измерений: 0 – 4000 Вт/м <sup>2</sup> , погрешность: ±9 Вт/м <sup>2</sup>
Рассеянная солнечная радиация Пиранометр: V&W 848;	Спектральный диапазон 200 – 4000 нм; диапазон измерений: 0 – 1000 Вт/м <sup>2</sup> , погрешность 5 Вт/м <sup>2</sup>
Восходящая и нисходящая длинноволновая радиация Пиргеометр PIR	Спектральный интервал: 5 - 42 мкм, диапазон измерений: 0 – 4000 Вт/м <sup>2</sup> , погрешность: ±10 Вт/м <sup>2</sup>
Прямое солнечное излучение на длинах волн 412, 500, 675 и 862 нм Солнечный фотометр SP-02	Оптическая толщина атмосферы, разрешение 0.005 OT;
Прямое солнечное излучение на длинах волн 440, 670, 870, 936 и 1012 нм Солнечный фотометр SE-318	Общее содержание водяного пара, озона и аэрозоля в атмосфере



а



б

Рис. 2.4. Стойка БСРН для измерения альbedo подстилающей поверхности с пиранометрами, направленными вниз (а) и радиометры БСРН, размещенные на установке наведения на солнце (б).

Данные радиационных наблюдений по программе БСРН и данные российских датчиков будут передаваться по спутниковому каналу связи в ААНИИ, где будет производиться их предварительная обработка и подготовка к передаче как в центральный архив БСРН, так и в Мировой Центр радиационных данных (МЦРД). Передача данных в МЦРД будет производиться через один месяц после их получения в ААНИИ

Полученная в результате непрерывной регистрации информация об основных составляющих радиационного баланса подстилающей поверхности и интегральных

характеристиках полярной атмосферы будет использована как в климатических исследованиях, так и при разработке и совершенствовании параметризаций процессов радиационного энергообмена подстилающей поверхности с атмосферой в климатических и прогностических моделях.

В дополнение к инструментальным радиационным измерениям и измерениям альbedo, наблюдатели метеостанции Тикси будут продолжать стандартные визуальные наблюдения за состоянием подстилающей поверхности, погодными условиями, облачностью и состоянием солнечного диска.

### 2.3. Измерения по программе «Глобальная служба атмосферы» (ГСА)

Глобальная служба атмосферы была создана в связи с необходимостью понять и научиться контролировать возрастающее влияние деятельности человека на атмосферу Земли. Основной задачей Программы является проведение исследований по следующим направлениям:

- разрушение стратосферного озона и увеличение приходящей ультрафиолетовой радиации (УФР);
- изменения погоды и климата, обусловленные воздействием человека на химический состав атмосферы, в частности, парниковые газы, озон и аэрозоли;
- дальний перенос и оседание атмосферных загрязнений.

Содержанием программы ГСА является создание глобальных сетей наблюдений за парниковыми газами, озоном, УФР, аэрозолями, отдельными химически активными газами и химическим составом осадков. В основе программы ВМО/ГСА лежит «партнерство 80 стран, которое обеспечит надежные научные данные и информацию о химическом составе атмосферы, ее естественных и антропогенных изменениях, и поможет лучше понять взаимодействие атмосферы, океана и биосферы» ([http://www.wmo.int/pages/prog/arep/gaw/gaw\\_home\\_en.html](http://www.wmo.int/pages/prog/arep/gaw/gaw_home_en.html)).

Наблюдения по программе ГСА, развертываемые в Гидрометеорологической обсерватории, имеют особое значение благодаря ее местонахождению в удаленном регионе, плохо освещенном данными, а также тем обстоятельством, что современное потепление особенно заметно в российском секторе Арктики. Обсерватория в Тикси войдет в число уже работающих по программе ГСА высокоширотных Обсерваторий в Алерте (Канада), Нью –Алесунд (Норвегия) и Барроу (США).

#### 2.3.1 Программы анализа газового состава атмосферы методом отбора проб.

Изменение концентрации парниковых газов считается одной из основных причин возможных изменений климата Земли. Измерения концентрации парниковых газов в приземном слое атмосферы выполняются посредством регулярных, один раз в неделю, отборов проб воздуха во флаги с последующим их анализом на концентрацию  $\text{CO}_2$ ,  $\text{CH}_4$ ,  $\text{CO}$  и  $\text{H}_2$ . Дополнительно на тех же пробах производятся измерения концентраций  $\text{N}_2\text{O}$  и  $\text{SF}_6$  в связи с их ролью в разрушении озонового слоя, а также измерения концентраций изотопов углерода  $\text{C}_{13}$  и кислорода  $\text{O}_{18}$ , позволяющие получить качественные данные об особенностях общей циркуляции атмосферы. Проект отбора проб воздуха является компонентом программы ГСА. До настоящего времени Российская Федерация принимает участие в данном проекте в рамках отбора проб в г. Обнинске.

Отбор проб в Гидрометеорологической обсерватории Тикси будет производиться один раз в неделю с помощью пробоотборника НОАА (рис. 2.5). Анализ полученных проб планируется проводить в аналитической лаборатории ГУ «ГГО» Росгидромета в Санкт Петербурге и в Лаборатории глобального мониторинга (ЛГМ) НОАА в г. Боулдер. При этом будут использованы находящиеся в ЛГМ образцы воздуха, принятые в качестве эталонных для сравнительного анализа проб воздуха на содержание  $\text{CO}_2$ ,  $\text{CH}_4$ ,  $\text{CO}$ ,  $\text{H}_2$ ,  $\text{N}_2\text{O}$ , и  $\text{SF}_6$ , а также стабильных изотопов  $\text{CO}_2$  и  $\text{CH}_4$ . Анализ будет производиться в соответствии с требованиями, разработанными для коллективных сетей по сбору проб воздуха на анализ содержания парниковых газов углеродного цикла (CCGG). Аналитическая лаборатория ГУ «ГГО» будет выполнять анализ проб воздуха на содержание  $\text{CO}_2$ ,  $\text{CH}_4$ ,  $\text{H}_2$  и  $\text{CO}$ . Газоотборник газа из НОАА уже находится в Тикси. Получение разрешения на отбор проб воздуха и их регулярную доставку из Тикси в лаборатории Боулдера и С. Петербурга находится в разработке.



Рис. 2.5 Портативный прибор НОАА для отбора проб воздуха.

### 2.3.2. Измерения сажевого аэрозоля.

Кристаллический углерод (сажевый аэрозоль) является реагентом, воздействующим на климат планеты в целом и климат Арктики в частности. Считается, что в отличие от других аэрозолей сажевый аэрозоль разогревает атмосферу, и, таким образом, увеличение его концентрации в Арктике может быть причиной ускоренного таяния морского льда и ледников. Наличие сажевого аэрозоля в атмосфере может оказывать существенное воздействие на баланс между содержанием ледяных кристаллов и водяных паров в арктических облаках, что в свою очередь изменяет радиационный баланс подстилающей поверхности. Атмосферный сажевый аэрозоль - короткоживущий (порядка дней и недель) компонент атмосферы. Можно предположить, что уменьшение его содержания в атмосфере окажет быстрое воздействие на климат Арктики. Однако до настоящего времени существует неопределенность в оценке реального влияния кристаллического

углерода на климат Арктики и тех потенциальных преимуществ, которые могут быть получены в результате уменьшения его выброса в атмосферу. Эта неопределенность еще более увеличивается, так как источники выбросов сажевого аэрозоля в Арктике четко не определены, его влияние на арктический климат и таяние морского льда изучены недостаточно, а временные тренды его содержания, переноса, и оседания в течение последних десятков лет плохо оценены. Еще значительней является неопределенность в моделировании переноса сажевого аэрозоля в арктической регион и связанных с ним воздействий на климат.

Для анализа сажевого аэрозоля используются аеталометры (рис.2.6), с помощью которых определяется концентрация частиц сажевого углерода в воздушном потоке, проходящем через фильтр. Эти частицы - результат выбросов в атмосферу продуктов различных процессов сгорания, но в основном, это продукты сгорания угля и дизельного дыма. Аеталометры используются в программах мониторинга качества воздуха. Аеталометр AE31 измеряет поглощение света аэрозольными частицами в диапазонах 370, 450, 571, 615, 660, 880 и 950 нанометров. Частота измерений концентрации частиц варьируется от одного измерения в две минуты до одного измерения один раз в час. Анализ различий оптических характеристик по всему спектру длин волн позволяет получить информацию о распределении частиц аэрозолей по размерам, их физических свойствах, а также химическом составе. Контроль за работой, калибровка и обслуживание производятся непосредственно на самом приборе с помощью цифрового дисплея и клавиатуры. Данные измерений хранятся внутри прибора на сменном носителе (можно использовать по выбору накопитель флэш - драйв или дискету). В режиме реального времени с канала аналогового выхода на внешний регистратор происходит передача сигнала с данными о концентрации массы. Этот аналоговый канал может также выполнять программу по передаче данных об общем статусе состояния инструмента. С помощью аеталометра, установленного специалистами НОАА в главном здании Обсерватории, измерения сажевого аэрозоля производятся с сентября 2009 года.

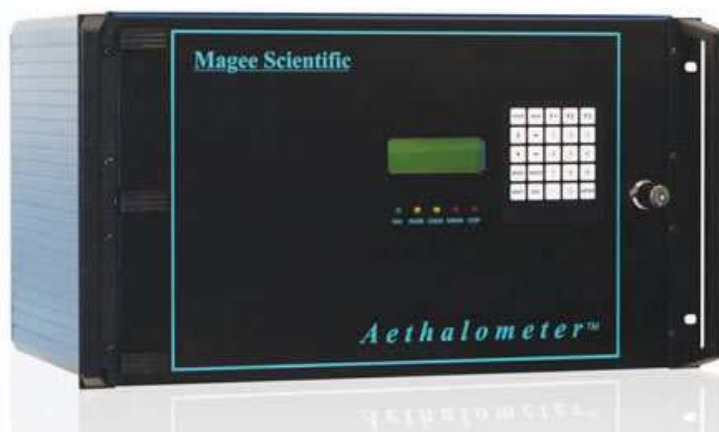


Рисунок 2.6 Аеталометр Magee Scientific AE31

### *2.3.3 Программы по исследованию содержания углекислого газа, метана и водяного пара.*

Непрерывное измерение концентрации двуокиси углерода и метана является еще одним компонентом программы изучения парниковых газов. Такие измерения



необходимы в связи с отсутствием достаточного количества данных о региональных характеристиках газообмена в труднодоступных арктических регионах. В связи с наличием большого объема биомассы, запасов углерода в почве и обширных заболоченных пространств эти районы являются одними из основных регионов источников и стоков парниковых газов. В октябре 2009 года в Павильоне чистого воздуха (ПЧВ) Финским метеорологическим институтом была установлена система измерения концентрации метана и двуокиси углерода на основе лазерного спектрометра DLT-100, выпускаемого корпорацией Los Gatos Research, Inc (рис.2.7). Прибор откалиброван по высокоточным калибровочным стандартам (смесь метана или двуокиси углерода с сухим воздухом, содержащиеся в герметизированных баллонах при высоком давлении), поставляемым Калибровочным центром ВМО (Боулдер, НОАА, США). Баллоны с рабочим калиброванным газом периодически используются для проверки шкал измерений концентраций  $\text{CO}_2$  и  $\text{CH}_4$ . Система измерений содержит также криогенный осушитель проб воздуха фирмы M&C Products TechGroup GmbH и Nafion фирмы Perma Pure LLC, который обеспечивает осушку пробы воздуха в среднем за 1 минуту.



Рис. 2.7 Система сортировки аэрозолей по размерам, установленная ФМИ в ПЧВ

ААНИИ будет проводить дополнительные непрерывные измерения концентрации  $\text{CO}_2$ . С помощью газоанализатора конструкции ООО «ОПТЭК», установленного в ПЧВ, каждые 5 минут с последующим часовым осреднением будет регистрироваться концентрация углекислого газа в приземном слое воздуха. Контроль работы прибора, еженедельная его калибровка и периодическая перезапись данных с АЦП прибора на магнитный носитель будут выполняться штатным метеорологом станции. При обработке данных измерений, которая будет проводиться после окончания каждого календарного месяца, полученные значения концентрации  $\text{CO}_2$  будут скорректированы с учетом направления воздушного переноса относительно месторасположения ПЧВ и основного здания обсерватории.

#### 2.3.4 Измерение содержания частиц аэрозоля

Частицы аэрозоля, находящиеся в атмосферном воздухе, влияют на глобальный климат, рассеивая и поглощая солнечную и длинноволновую радиацию, а также изменяя свойства облаков. Насколько сильно влияют эти эффекты на климат, зависит от числа частиц, их размера и состава. Регулярных данных по измерению арктического аэрозоля в северных районах Сибири не имеется, поэтому проведение долговременных измерений аэрозоля в Тикси имеет большое значение для количественной оценки влияния аэрозоля на региональный и глобальный климат. В Гидрометеорологической обсерватории Тикси Финский метеорологический институт организовал измерения характеристик аэрозольных частиц, их концентрации и распределения по размерам, с помощью аппаратуры с высоким временным и спектральным разрешением. Диапазон размера наблюдаемых частиц колеблется от самых маленьких, диаметром 7нм, до крупных, диаметром 10мкм. Это достигается с помощью приборов 2 FMI DMPS для улавливания самых маленьких (7 - 500 нм) частиц и TSI APS (Aerodynamic Particle Sizer) - для улавливания крупных (0,5 - 10 мкм) частиц. Принцип измерения инструмента DMPS основан на электрической мобильности частиц, которая зависит от размера частиц, в то время как инструмент APS классифицирует размеры частиц по времени пролета. Сбор данных происходит непрерывно. Каждые 10 минут определяются распределение частиц аэрозоля по размерам.

#### 2.3.5 Измерение аэрозольной оптической толщи атмосферы.

Аэрозольная оптическая толщина (АОТ) является количественной мерой ослабления солнечной радиации в результате аэрозольного рассеяния и поглощения. АОТ - один из наиболее важных параметров оценки воздействия атмосферы на радиационный и энергетический балансы подстилающей поверхности. Для развития в Тикси программы сети глобальных измерений АОТ «AERONET», НАСА планирует установить солнечный фотометр CIMEL ([http://aeronet.gsfc.nasa.gov/new\\_web/index.html](http://aeronet.gsfc.nasa.gov/new_web/index.html)). Солнечный фотометр CIMEL, показанный на рис. 2.8, оснащен 9 фильтрами (1020, 870, 675, 440, 500, 940, 380, 340 и 1640 нм) и будет установлен в июне 2010 года.

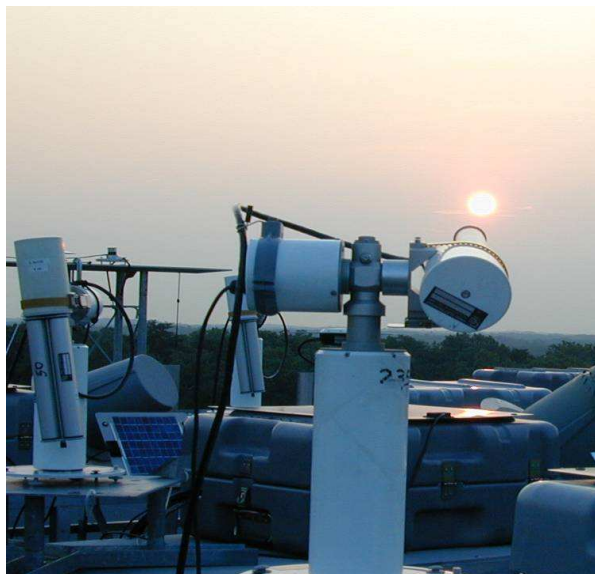


Рис. 2.8 Солнечный фотометр CIMEL.

В рамках программы AERONET поддерживается база непрерывных долгосрочных данных по оптическим, микрофизическим и радиационным характеристикам аэрозоля. Эта база данных является открытой для исследований характеристик аэрозоля, валидации спутниковых данных и вместе с другими базами данных является эффективным источником информации. Стандартизация приборов, калибровки, обработки и распределения информации является условием участия в программе измерений.

#### 2.3.6 Измерения химического состава атмосферных осадков

Мониторинг химического состава атмосферных осадков состоит из двух фаз: отбора проб и лабораторного анализа. Первая фаза заключается в сборе проб осадков (твердых и жидких) в специальное измерительное устройство, где количество осадков регистрируется стандартизированными датчиками. До отправки в аналитическую лабораторию ГУ «ГГО» пробы хранятся при достаточно низких температурах. Пробоотбор производится при соблюдении специально разработанных правил программы ГСА по отбору, хранению и транспортировке проб, чтобы обусловить получение надежных данных о составе атмосферных осадков.

Вторая фаза программы по атмосферным осадкам начинается, когда пробы доставляются в лабораторию. В 2008 году в системе Росгидромета насчитывалось 12 региональных лабораторий. Эти лаборатории могут анализировать пробы осадков на 9 основных макрокомпонентов, в том числе определять ионы сульфатов, хлоридов, нитратов, гидрокарбонатов или кислот, ионы аммония, натрия, калия, кальция, магния, а также величин кислотности рН, удельной электропроводности и общей минерализации. В настоящее время в лаборатории ГУ «ГГО» для проведения анализов установлены рН-метр «АНИОН- 4151 и пламенный фотометр ПФА-378. Прибор рН-метр «АНИОН- 4151 позволяет выполнять измерение удельной электропроводности и величины рН в пробах осадков. Пламенный фотометр ПФА-378 обеспечивает измерение содержания калия, натрия и кальция в водных растворах. Таким образом, для территории Гидрометеорологической обсерватории будет получена полная информация о химическом составе проб атмосферных осадков, соответствующая программе ГСА ВМО.

#### 2.4 Мониторинг загрязнения атмосферного воздуха в районе Тикси. Программа мониторинга и оценки Арктики. (АМАР).

Целью проекта является организация и выполнение программ по измерению стойких органических загрязнителей (СОЗ), а также программ мониторинга тяжелых металлов и ртути, согласованных с международной программой по мониторингу Арктики АМАП. Целями АМАП ([www.amap.no](http://www.amap.no)) являются:

- выработка комплексных документов по оценке состояния загрязнения и тенденций изменения условий Арктических экосистем;
- установление возможных причин изменения условий;
- выявление новых проблем, их причины и оценки степени рисков, которые представляют эти проблемы для народов, населяющих Арктику;
- рекомендации мер, необходимых для уменьшения рисков для Арктических экосистем.

Приоритетными задачами для АМАП определено исследование следующей группы загрязняющих веществ и обусловленные ими проблемы:

- стойкие органические загрязнители (СОЗ)
- тяжелые металлы (в частности, ртуть, кадмий и свинец)
- радионуклиды
- закисление и арктическая дымка (в субрегиональном контексте)
- нефтяные углеводороды (в субрегиональном контексте)
- изменение климата (последствия для экологии и биологии в Арктике, вызванные климатическими изменениями)
- деградация озонового слоя стратосферы (влияние на биологию как результат увеличения УФ-Б, и т.д.)
- последствия загрязнения для здоровья людей, населяющих Арктику (включая влияние увеличения УФР в результате деградации озонового слоя и изменения климата)
- суммарный эффект от загрязнения и других стрессовых факторов как на экосистему в целом, так и на население.

#### 2.4.1 Определение стойких органических загрязнителей атмосферы

Целью проекта является выполнение программ АМАП по измерению концентрации стойких органических загрязнителей (СОЗ) и мониторинга тяжелых металлов и ртути, аналогичных проводимым на станциях глобальной сети ГСА Алерт (Канада), Нью Алесунд (Норвегия), Барроу (США) и других (рис.2.9). До настоящего времени мониторинг загрязнения приземного слоя воздуха СОЗ в Российской Арктике проводился лишь эпизодически: на о. Дунай в 1993 – 1994 г.г., в Амдерме в –1999-2001 г.г. и на Чукотке (поселок Валькаркай), в 2002 – 2003 и 2008-2010 г.г. Мониторинг паров элементарной ртути в российской Арктике осуществляется начиная с 2001 г. только на полярной станции Амдерма. Выполнение проекта позволит как получить новые данные о загрязнении полярных районов, так и выявить основные пути и источники загрязнения Арктики.

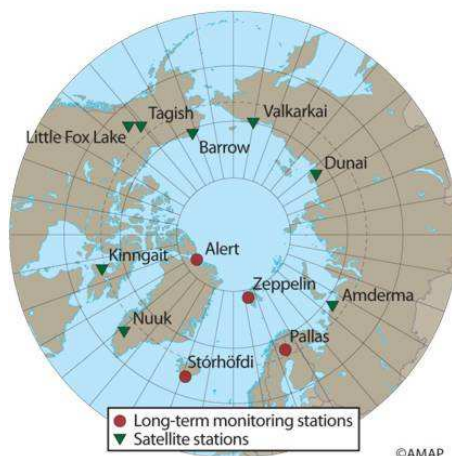


Рисунок 2.9 Пункты, где расположены арктические станции наблюдений СОЗ.

Круглогодичный мониторинг загрязнения атмосферного воздуха на СОЗ проводится с использованием установленной в ПЧВ стационарной установки пробоотбора. Отбор проб воздуха для определения СОЗ проводится непрерывно путем прокачивания воздуха последовательно через специальный аэрозольный фильтр и систему сорбентов, поглощающих пары СОЗ. Для определения сверхнизких концентраций СОЗ объем

прокачиваемого воздуха для одной пробы составляет не менее  $10000 \text{ м}^3$ . Установка для отбора проб представляет собой высокопроизводительный насос, обеспечивающий разрежение, достаточное для прокачки воздуха через систему фильтров, высокоточный измеритель расхода и защитную систему, предохраняющую фильтры от попадания дождя и снега. Общий вид установки приведен на рис. 2.10.



Рисунок 2.10 Отбор проб воздуха на СОЗ в Арктике.

Экспонированные фильтры и сорбенты заменяются один раз в неделю и отсылаются на анализ в лабораторию НПО «Тайфун» в Обнинске один раз в три месяца. Основным методом анализа является хромато – масс - спектрометрия с использованием изотопного разбавления, позволяющая определить наличие и концентрацию полиароматических соединений (26 соединений) из галогенсодержащих соединений, включающий определение 60 изомеров полихлорированных бифенилов, 25 хлорированных пестицидов и гербицидов, 7 изомеров токсафена. Методы отбора и анализа будут соответствовать методам, используемым на станциях сети измерения токсикантов арктического воздуха. Эта часть исследований в Тикси будет значительным вкладом в выполнение Стокгольмской конвенции по СОЗ.

#### *2.4.2 Определение концентрации тяжелых металлов в атмосферном воздухе*

Исследования загрязнений тяжелыми металлами, в частности ртутью, имеют своей целью количественную оценку переноса их в Арктику, выпадения на подстилающую поверхность и влияния на экосистему. Мониторинг атмосферного воздуха на содержание тяжелых металлов (ТМ) проводится по схеме, аналогичной отбору СОЗ. Установка отбора воздуха на ТМ размещена в ПЧВ на одной площадке с установкой отбора СОЗ. Отбор проб производится непрерывно действующей установкой, прокачивающей воздух через систему аэрозольных фильтров. Отбор производится с разделением аэрозолей по фракциям на импакторной головке. Объем прокачиваемого воздуха определяется интегральным расходомером.

Ввиду низких концентраций ТМ в арктическом воздухе, согласно международной практике, анализ выполняют методом атомно-абсорбционной спектроскопии (ААС) с электротермическим испарением пробы и зеемановской коррекцией фона или методом масс-спектрометрии с использованием индукционно связанной плазмы. Анализ включает

измерение концентрации десяти элементов, в число которых входят свинец, кадмий, медь, никель, барий, цинк, кобальт и хром.

Измерения паров элементарной ртути проводятся с помощью автоматизированного анализатора «Tekran 2537A», позволяющего проводить непрерывные измерения концентрации паров элементарной ртути на уровне  $1 \text{ нг/м}^3$ . Работа прибора основана на высокоселективной адсорбции паров ртути из воздуха на адсорбенте из золота высокой чистоты. После этого амальгамированная ртуть термически десорбируется и количественно определяется с помощью атомно-флуоресцентного спектрометра холодного пара. Анализатор снабжен двумя картриджами из золота высокой чистоты, работающих параллельно (каналы А и В). Это позволяет осуществлять непрерывную подачу воздуха в анализатор. В то время как один картридж используется для поглощения ртути из пропускаемого атмосферного воздуха, во втором картридже происходит десорбция ртути при его нагревании. Наблюдения проводятся при времени экспозиции 30 мин., то есть каждые полчаса производится индивидуальное измерение паров ртути в атмосферном воздухе. После контроля качества полученных данных рассчитываются средние значения между параллельными измерениями по каналам А и В (среднее за 1 час измерений) и среднесуточные значения концентрации ртути в воздухе.

#### *2.4.3. Определение концентрации приземного озона и общего содержания озона в атмосфере.*

Лаборатория по изучению озона и водяного пара НОАА проводит исследование природы и причин деградации озонового слоя стратосферы, роли озона и водяного пара в стратосфере и тропосфере в изменении климата, а также оценки способности химической самоочистки атмосферы. Эта задача выполняется с помощью долгосрочных наблюдений и интенсивной программы полевых измерений общего содержания озона в атмосфере с помощью озонометров, распределения концентрации озона по высоте (озонзонды), концентрации приземного озона, вертикальных профилей водяного пара в верхней атмосфере и стратосфере, а также путем моделирования изоэнтропических траекторий. Вкладом этих программ в программу Тиксинской обсерватории является измерение уровня приземного озона с помощью прибора Thermo Electronic 49i Sampler (рис. 2.11) и общего содержания озона озонометром М-124 (рис. 2.12).



Рисунок 2.11 Прибор для измерения содержания озона ТЕ 49i.

#### 2.4.4 Измерения УФ радиации.

Целями программы измерений УФР являются оценка воздействия УФР на человека и экосистемы океана, изучение химического состава атмосферы и валидации спутниковых наблюдений УФР. В октябре 2009 года российской стороной был модифицирован для исследований УФР уже работающий в Тикси озонотер М-124, измеряющий общее содержание озона (рис.2.12). Наблюдения с помощью прибора М-124 со сферой Лярше соответствуют методике, принятой на сети наблюдений за ультрафиолетовой радиацией в России. Параллельно с помощью прибора SUV-150В, и в соответствии с программой глобальной международной сети мониторинга УФР, американская сторона организует проведение измерений, аналогичных измерениям в Барроу и Саммите. Данные, полученные с помощью обоих приборов, являются существенным вкладом в отчеты ВМО (АСИА), посвященные анализу состояния окружающей среды.



Рисунок 2.12 – Приборы для наблюдений ультрафиолетовой радиации: озонотер М-124 со сферой Лярше, установленный в Тикси в октябре 2009 г. (слева) и SUV-150В в Саммите, Гренландия (справа).

#### 2.5 Турбулентные потоки

Данные наблюдений показывают, что процессы взаимодействия атмосферы с подстилающей поверхностью являются определяющими факторами в уменьшении ледовитости Северного Ледовитого Океана, потеплении климата окружающих территорий и в таянии вечной мерзлоты. Для диагностики современной изменчивости климата и понимания роли механизмов тепло- и газообмена, необходим всепогодный и многолетний мониторинг всех составляющих энергетического баланса и газообмена в различных районах Арктики. Хотя формально в настоящий момент не существует международной программы по измерению потоков тепла на сети полярных станций, необходимость таких наблюдений в Арктике показала установка мачт для измерений потоков на Обсерваториях Эврика и Алёрт (Канада), Барроу (Аляска, США), Нью-Алесунд (Норвегия), Паллас/Соданлиля (Финляндия) и Саммит (Гренландия).

Российская, американская и финская стороны имеют значительный опыт проведения измерений и анализа данных в Арктике, включая измерения потоков явного и скрытого тепла, водяного пара, углекислого газа и метана. В Тикси возводятся две мачты для измерения турбулентных потоков над тундрой.

### 2.5.1 *Потоки метана и углекислого газа*

Исследовательские группы из Финского метеорологического института и российской Главной геофизической лаборатории им. А. И. Воейкова осенью 2009 года установили часть оборудования для измерения потоков углекислого газа, метана и компонентов теплового баланса над специально отобранными участками тундры (рис.2.13). После того как всё оборудование будет полностью установлено, станет возможным проводить измерения турбулентных потоков вблизи Павильона чистого воздуха. Измерительный комплекс включает в себя трёхкомпонентный акустический анемометр, анализатор NDIR для измерения концентраций углекислого газа и водяного пара, а также измерительный прибор TDL для измерения концентрации метана. Для того чтобы обеспечить интерпретацию данных, одновременно с измерениями турбулентных потоков будут производиться измерения солнечной радиации, температуры и влажности воздуха и почвы

Ожидается что информация, которая будет получена, позволит понять является ли вечная мерзлота в тундре источником или стоком парниковых газов в климатической системе. Полученные данные позволят сформировать контрольную базу данных для сравнения с будущими условиями, когда растительность и процессы в почве могут измениться. Кроме того, данные о локальных потоках будут использоваться для точного определения концентраций метана и CO<sub>2</sub> с целью разделения местных источников и крупномасштабных сигналов.

Микрометеорологические исследования в Тикси будут первыми высокоширотными круглогодичными измерениями турбулентных потоков CO<sub>2</sub> и CH<sub>4</sub> в Арктике. Это даст возможность изучить эмиссию парниковых газов весной и поздней осенью, которая, как было установлено, является важным фактором в районах вечной мерзлоты. Обмен CO<sub>2</sub> и CH<sub>4</sub>, связанный с ростом растений будет детально изучаться на основе измерения турбулентных потоков с высоким временным разрешением. Поверхностно осреднённые потоки явного и скрытого тепла и углекислого газа также будут использоваться для проверки данных дистанционного зондирования поверхности. Конкретными целями исследования являются:

- Оценка сезонного цикла поглощения CO<sub>2</sub> растениями, респирация почвой и растениями, измерение углеродного годового баланса.
- Количественная зависимость между поглощением CO<sub>2</sub> растениями и дистанционным индексом растительности.
- Исследование связи эмиссии метана в экосистеме тундры с таянием и замерзанием почвы, окружающей обстановкой и фенологией растительности.





Рисунок 2.13. Установка для измерений турбулентных потоков тепла, углекислого газа и метана над тундрой.

#### 2.5.2 *Потоки тепла и солнечной радиации в приземном слое атмосферы*

В Обсерватории в июне 2010 г. будет установлена 20-метровая мачта для измерения градиентов метеорологических параметров и турбулентных потоков, подобная установленной на станции Эврика (рис. 2.14). Турбулентные потоки количества движения, явного и скрытого тепла, а также метеорологические данные (скорость и направление ветра, температура и влажность воздуха) будут непрерывно измеряться и регистрироваться на трёх уровнях. Каждый уровень на мачте будет оснащён идентичными трёхкомпонентными акустическими анемометрами/термометрами АТІ (Applied Technologies, Inc.) с обогревателями. Инфракрасный малоинерционный газовый анализатор Licor-7500 для измерения  $H_2O$  и  $CO_2$  будет установлен на втором уровне. Частота регистрации малоинерционных датчиков составляет 10 Гц. Турбулентные потоки по данным этих датчиков будут рассчитываться на основе ковариационного метода. Более инерционные датчики Vaisälä HMP обеспечат измерения средних температуры и влажности на трёх уровнях и будут использоваться для вычисления вертикальных градиентов этих метеорологических параметров. Средняя скорость ветра и вертикальный градиент скорости будут вычисляться по данным акустических анемометров. Данные о температуре и относительной влажности воздуха, а также коротко- и длинноволновой солнечной радиации и температуры поверхности почвы будут регистрироваться на устройство сбора данных Campbell с частотой 5 секунд, а затем осредняться по одноминутному интервалу и передаваться в Центр данных Тикси в реальном масштабе времени.

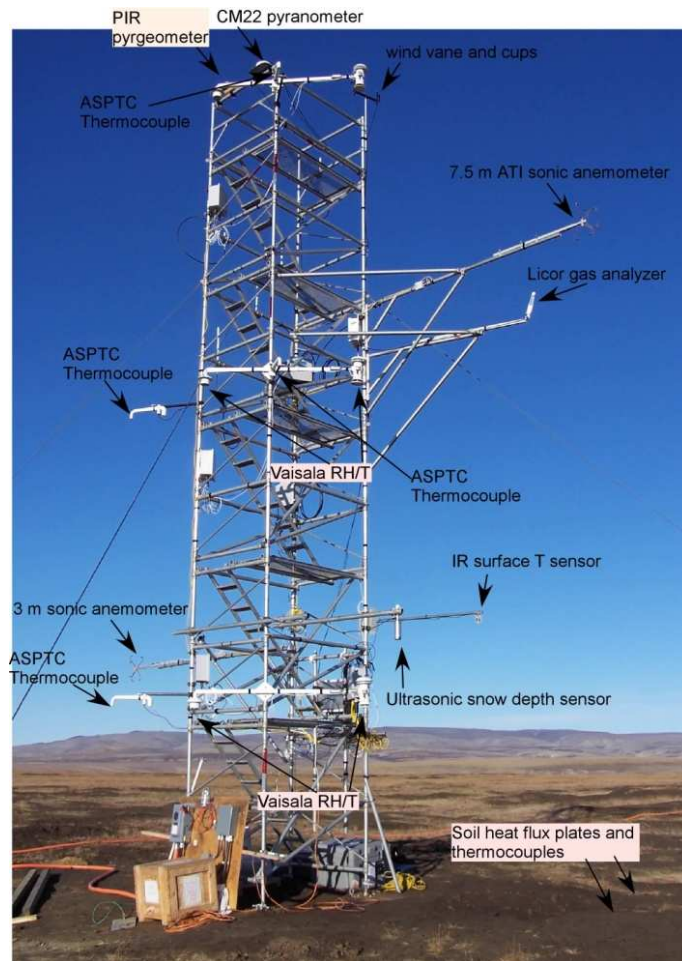


Рисунок 2.14. 10-метровая мачта НОАА, установленная на станции Эврика, Канада.

Учёные из Отделения физических наук НОАА (США), Арктического и антарктического научно-исследовательского института (Россия, Санкт-Петербург) и Института физики атмосферы им. А. М. Обухова РАН (Россия, Москва) направили заявку на выполнение совместного научного проекта по исследованию турбулентного режима приземного слоя атмосферы над тундрой в Civilian Research and Development Foundation (CRDF) и Российский фонд фундаментальных исследований. Проект был поддержан в 2010 году. В результате работы по проекту предполагается получить ответы на следующие вопросы:

- каково различие в характеристиках теплового баланса и потоках парниковых газов между различными частями Арктики, учитывая, что станция Барроу (Аляска, США) расположена в тихоокеанском секторе, Эврика и Алёрт (Канада) - в атлантическом, а Тикси – в сибирском секторе Арктического бассейна? Какие последствия могут следовать из этого различия в контексте изменения климата Арктики?
- как данные о тепловом балансе и потоках парниковых газов соотносятся с данными предыдущих измерений на арктических станциях? В частности, как тепловой баланс, рассчитанный по данным измерений на станциях, расположенных на суше,

- соотносится с рассчитанным по данным аналогичных измерений, выполненных над дрейфующими льдами?
- какой вклад в тепловой баланс поверхности на каждой станции вносят турбулентные потоки, роль которых не учитывается в теории подобия Мони́на – Обухова, основанной на предположении об однородности подстилающей поверхности и стационарности метеорологических процессов? Как известно, во всех численных моделях глобальной циркуляции атмосферы турбулентные потоки рассчитываются на основе теории подобия Мони́на - Обухова. Тем не менее, из-за влияния рельефа, мезомасштабных процессов в атмосфере и вследствие близости береговой линии, можно ожидать, что на каждой станции турбулентные потоки тепла, в значительной степени определяющие тепловой баланс подстилающей поверхности будут значительно отличаться от потоков, рассчитанных по теории Мони́на-Обухова. Оценка этого влияния важна для аккуратной параметризации приземных потоков, особенно в условиях очень сильной устойчивости атмосферного пограничного слоя.
  - Насколько тепловой баланс и потоки парниковых газов различаются зимой и летом и какие компоненты теплового баланса наиболее важны в каждом сезоне?

## 2.6 Исследования, проводимые Международной Ассоциацией Мерзловедения (IPA).

Исследования вечной мерзлоты имеют большое значение при изучении динамики углеродного цикла, стабильности инженерных сооружений в северных районах, а так же для исследования многих природных процессов. Систематические мерзлотные наблюдения в данном районе проводятся на протяжении последних нескольких десятков лет, что позволяет оценить длиннопериодные изменения мерзлотных условий в связи с динамикой изменения климата.

Головной организацией, координирующей исследования вечной мерзлоты, является Международная Ассоциация Мерзловедения (IPA). Как объявлено на сайте IPA (<http://ipa.arcticportal.org/index.php/About-the-IPA/>), основной задачей Ассоциации является: «стимулирование распространения знаний, касающихся мерзлоты и поддержка научного взаимодействия как между отдельными исследователями, так и между различными национальными и международными организациями, проводящими фундаментальные научные и инженерные исследования в районах распространения многолетнемерзлых пород». При поддержке IPA было инициировано создание Глобальной Наземной Сети по наблюдениям за Мерзлотой (Global Terrestrial Network for Permafrost (GTN-P)), целью которой является организация и развитие глобальной сети мерзлотных наблюдательных пунктов с целью оценки, мониторинга и прогнозирования реакции мерзлоты на климатические изменения (<http://www.gtnp.org>). Данная сеть, являющаяся частью Глобальной Системы Климатических Наблюдений (GCOS) состоит из двух компонент: наблюдений за многолетней динамикой сезонного протаивания и мониторинг температурного режима многолетнемерзлых пород.

Проект Циркумполярного Мониторинга Сезонного Протаивания (CALM) (<http://www.udel.edu/Geography/calm/>) направлен на изучение динамики сезонного протаивания под воздействием климатических изменений, происходящих на протяжении десятилетий. Наблюдательная сеть проекта CALM была основана в 1990-м году. Результаты мониторинга глубины сезонного протаивания, проводимые в рамках исследований Гидрометеорологической Обсерватории Тикси, будут предоставляться

непосредственно в базу данных CALM. Проводимые в настоящее время Институтом мерзловедения СО РАН (ИМЗ) и Институтом физико-химических и биологических проблем почвоведения РАН (ИФХБПП) в сотрудничестве с Геофизическим Институтом Университета штата Аляска, Фэрбэнкс (США) измерения температурного режима мерзлоты в скважинах позволят оценить как современную, так и долгопериодную реакцию криолитозоны на климатические изменения.

#### 2.6.1 Мониторинг динамики сезонного протаивания.

Изучение динамики слоя сезонного протаивания в непосредственной близости от главного здания Гидрометеорологической обсерватории нацелено не только на исследование эволюции температурного режима приповерхностного слоя мерзлоты, но и на определение факторов и механизмов, определяющих эту эволюцию. Последнее требует высокоточных данных о процессах энергообмена в системе приземный слой атмосферы – сезонно-талый слой. В сентябре 2009-го года специалистами из ААНИИ был установлен уникальный комплекс аппаратуры (термометрическая система АМТ-5 разработанная в НПО «Тайфун») для детальных измерений динамики температуры сезонно-талого слоя и верхнего горизонта мерзлоты (рис.2.15, 2.16).

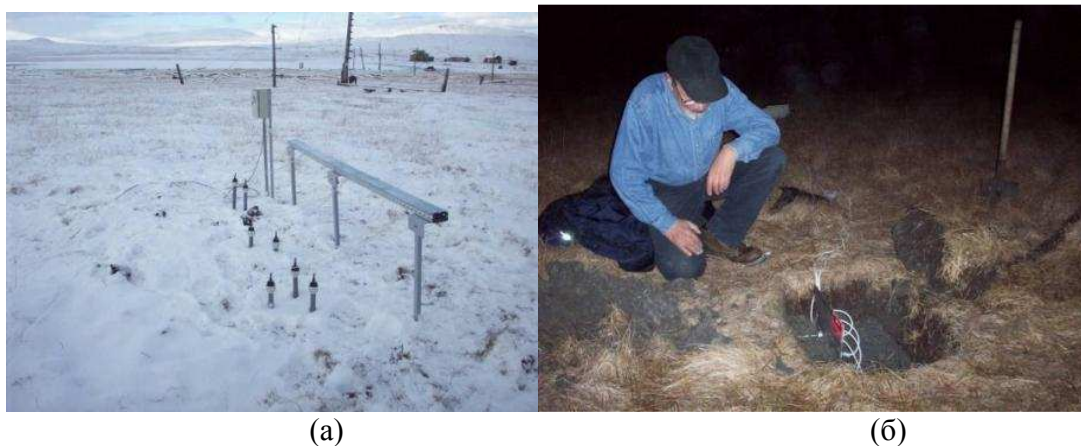


Рис. 2.15 – Вид сверху на площадку с установленными в индивидуальные трубки датчиками на глубинах 3.2 м, 2.4 м, 1.6 м, 1.2 м, 0.8 м, 0.4 м и 0.2 м (а). Приповерхностные датчики на глубинах 20см, 15 см, 10 см, 5 см (б)

В качестве датчиков использованы платиновые термисторы с номинальным сопротивлением 100 Ом. Каждый датчик защищен герметичным стальным корпусом. Диапазон измерений температуры от  $-60^{\circ}\text{C}$  до  $70^{\circ}\text{C}$  с погрешностью  $\pm 0.1^{\circ}\text{C}$ . В интервале глубин от 0.2 до 3.6 метров было размещено 7 датчиков, установленных в отдельные трубки на глубинах 3.2 м, 2.4 м, 1.6 м, 1.2 м, 0.8 м, 0.4 м и 0.2 м. Дополнительно было установлено 4 датчика на металлическом каркасе в поверхностном (сезонно-талом) слое на глубинах 20, 15, 10 и 5 см. Результаты замеров обрабатываются в устройстве сбора данных, подключенном к компьютеру в здании метеостанции в 200 метрах от точки измерений. Данные передаются в Центр данных Тикси в ААНИИ в режиме реального времени.

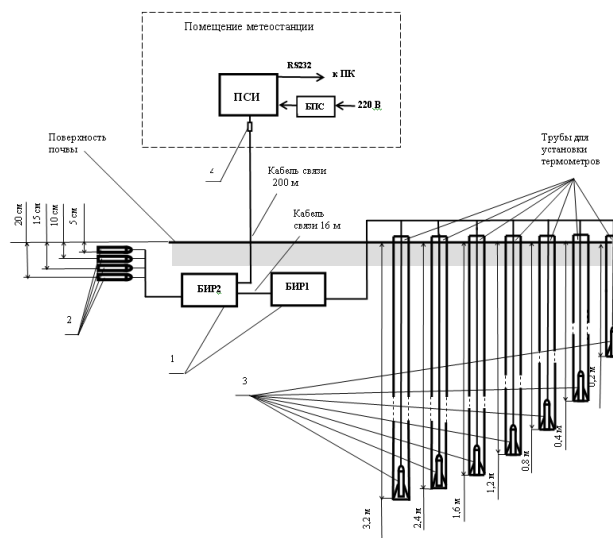


Рисунок 2.16 Схема размещения датчиков на участке стационарных измерений температуры грунтов.

На рис. 2.17 приведены предварительные результаты наблюдений, охватывающие период с 27 сентября по 6 декабря 2009 года. Как видно из рисунка, на глубинах 3 – 3.5 метра в указанный период достаточно устойчиво сохраняется температура  $-6^{\circ}\text{C}$ . В верхней части разреза (от 0 до 0.5 м) температура понижается от  $-6$  до  $-14^{\circ}\text{C}$ . Температура приповерхностного слоя реагирует на изменение температуры воздуха с задержкой порядка 50 дней.

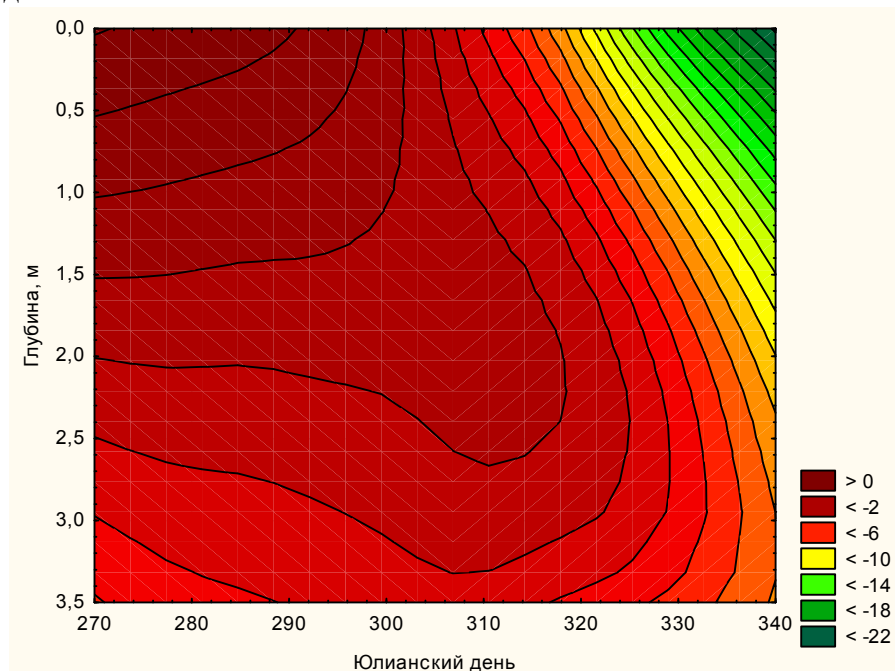


Рисунок 2.17 – Предварительные результаты динамики температурного режима сезонно талого слоя за период с 27 сентября по 6 декабря 2009 года. Данные получены через систему удаленного доступа.

Программа наблюдений будет значительно расширена в 2010 году, когда будет установлена мачта для измерений турбулентных потоков (раздел 2.5) и высокоточное оборудование для радиационных измерений (раздел 2.2). Комбинация измерений в атмосфере с данными по динамике температурного режима сезонно-талого слоя будут использованы для понимания и параметризации динамики мерзлотных условий района Тикси.

Дополнительно к данным, полученным в Гидрометеорологической обсерватории, предполагается использовать данные 2-х стационарных площадок проекта CALM, расположенных в типично тундровых ландшафтных условиях на Быковском полуострове в 30 км от Тикси. Сравнение параметров СТС по этим трем участкам позволят лучше понять пространственную изменчивость процессов энергообмена между атмосферой и сезонно-талым слоем почвы.

### 2.6.2 Мониторинг температурного режима вечной мерзлоты.

Район исследований температурного режима вечной мерзлоты характеризуется ее сплошным распространением. Сквозные талики отсутствуют даже под крупными озерами. Глубина сезонного протаивания не превышает 0.6 м. Среднегодовая температура грунтов изменяется от  $-9$  до  $-11^{\circ}\text{C}$  в зависимости от ландшафтных условий. В настоящее время мониторинг температурного режима мерзлоты в районе Тикси проводится Институтом мерзлотоведения СО РАН и Институтом физико-химических и биологических проблем почвоведения РАН в сотрудничестве с Университетом штата Аляска, Фэрбэнкс. Первые замеры температуры в скважинах были сделаны в 50-е годы XX века. В 1992-м году специалистами ИМЗ СО РАН была пробурена скважина глубиной 30 м у подножья горы Лялькина хребта Примоский Кряж. Скважина была оборудована для непрерывных наблюдений, датчики располагаются на глубинах 1, 2, 3, 5, 10, 20 и 30 м. В 2001-2004 годах сотрудниками ИФХиБПП РАН дополнительно было пробурено 6 скважин на Быковском полуострове (рис. 2.18).

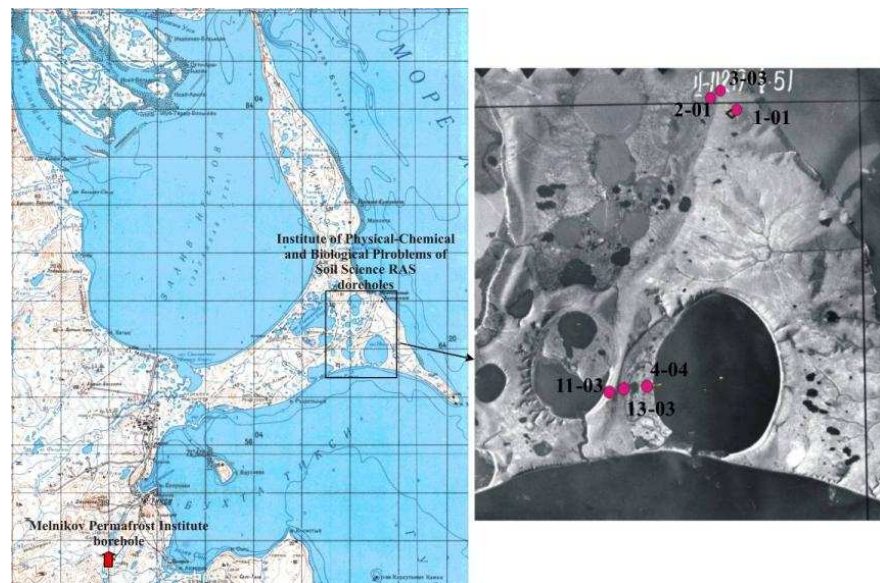


Рисунок 2.18 Расположение скважин для исследования вечной мерзлоты в районе Тикси.

Скважины расположены в пределах двух основных типов ландшафтов: поверхность останцов позднеплейстоценовой аккумулятивной равнины (т.н. «едома») и в термокарстовых котловинах (аласах). Первый тип характеризуется среднегодовой температурой грунтов (т.е. температурой на глубине проникновения годовых колебаний температуры воздуха), составляющей  $-10.9^{\circ}\text{C}$ , второй  $-9.0^{\circ}\text{C}$  (рис. 2.19). До 2006-го года наблюдения носили разовый характер (1 – 2 раза в год). В 2006-м году в ходе работ по проекту «Термическое состояние вечной мерзлоты» (Thermal State of Permafrost), проводимого в рамках Международного Полярного Года под эгидой Международной Ассоциации по Мерзлотоведению (ИРА), 2 скважины, расположенные на поверхности едомы и в аласной депрессии были оборудованы для долговременных непрерывных наблюдений (рис.2.19, 2.20). В скважины были установлены комплекты на базе 4-х канального логгера НОВО U12 и температурных датчиков (термисторов) ТМС-НД. Дополнительно были установлены 2-х канальные датчики НОВО Pro V2 для мониторинга температурного режима сезонно-талого слоя в пределах едомного ландшафта (2008) и термокарстовой депрессии (2009). Используемое оборудование позволяет проводить измерения температуры с высоким (до  $0,03^{\circ}\text{C}$ ) разрешением.

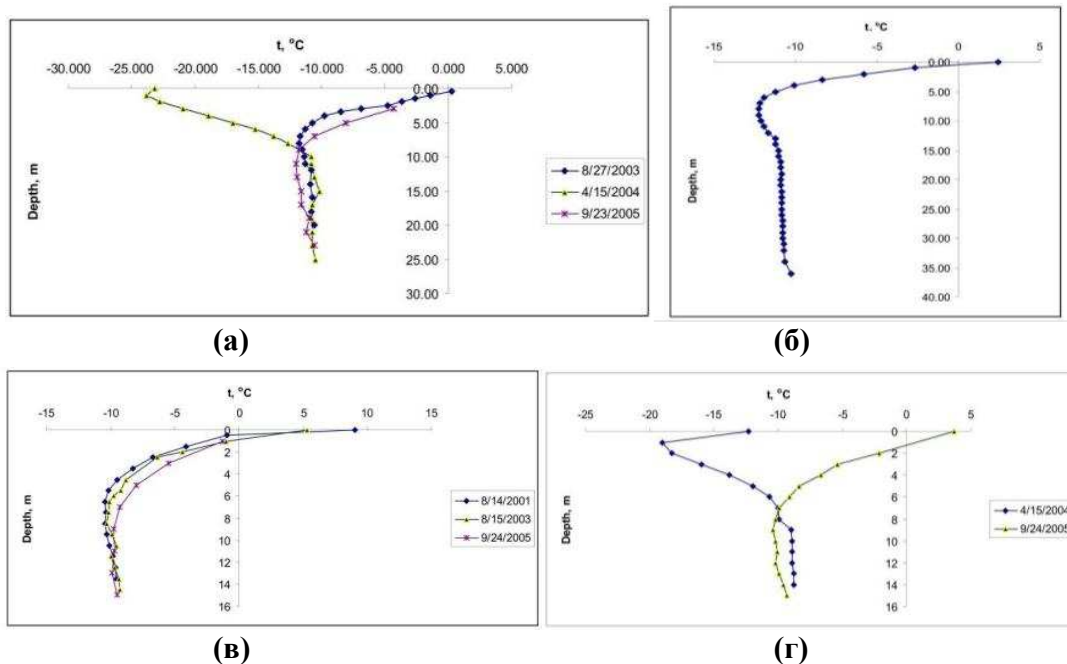


Рисунок 2.19 Распределение температуры по глубине в скважинах расположенных на едоме (а и б) и в аласных котловинах (в и г).

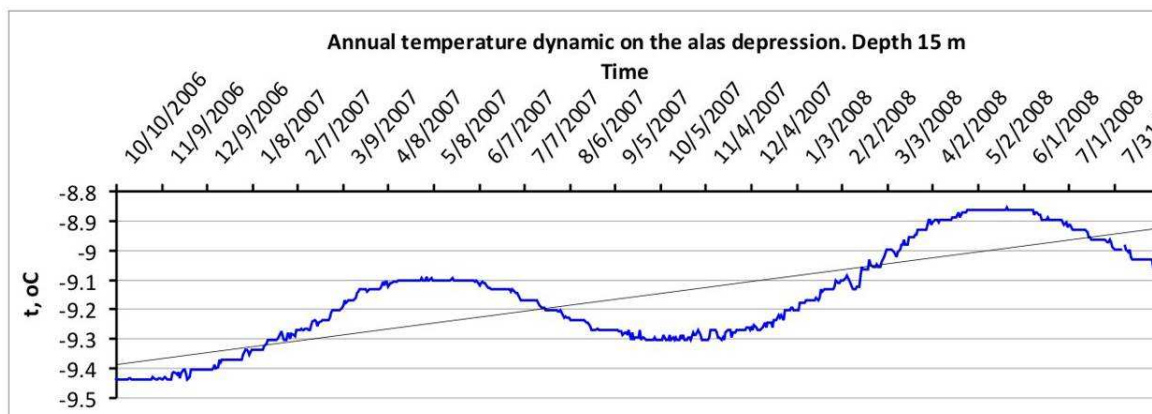


Рисунок 2.20 Значения среднегодовой температуры на глубине 15 м в 2009 году на 0,2 ° С выше среднегодовой температуры 2007 года.

В рамках исследований, организуемых в Гидрометеорологической Обсерватории Тикси, предполагается продолжить и расширить текущую программу мерзлотных исследований. В 2010 году предполагается провести определение теплопроводности грунтов сезонно-талого слоя и мерзлых четвертичных отложений на Быковском полуострове, а также установить дополнительное оборудование для мониторинга фазового состава влаги в грунтах сезонно-талого слоя. Так же предполагается оборудовать для непрерывных наблюдений скважину глубиной 25 – 30 м в непосредственной близости от Гидрометеорологической обсерватории. Программа работ предполагает тесное сотрудничество вовлеченных участников (ААНИИ, НОАА, РАН и УАФ) как при анализе полученных данных, так и в вопросах технической организации работ и логистики.

Комбинация результатов геотемпературного мониторинга и климатических исследований предоставляют прекрасную возможность определить реакцию криолитозоны на современные природные изменения. Сравнение современных и опубликованных ранее данных позволит оценить изменения температурного режима мерзлоты, произошедшие за вторую половину 20-го и начало 21-го века. Полученная информация позволит существенно улучшить региональные и глобальные модели взаимодействия атмосферы и литосферы.

### 3. Исследования, запланированные на 2011 год и последующий период.

Обсерватория в Тикси располагает достаточными возможностями для выполнения значительного числа дополнительных проектов. Вероятно, что уже в ближайшем будущем многие международные организации будут заинтересованы установить дополнительное оборудование к тем комплексам, которые планируются для развертывания в 2010 году. Эти дополнительные проекты будут направлены на решение четырех основных задач:

- увеличение объема атмосферных наблюдений в части исследований облачного покрова;
- организация дополнительных измерений в области биологии, наук о земле и океанографии с целью комплексного изучения арктической системы;
- интеграция обсерватории Тикси в международные глобальные системы наблюдений, обслуживаемые метеорологическими спутниками;



- изучение воздействия арктических условий на человека и общество на основе наблюдений, проводимых в обсерватории Тикси.

В ближайшем будущем предполагается реализация проектов, краткое описание которых приведено ниже.

### 3.1. Комплексные исследования облачного покрова

Облачность остается одним из наиболее плохо изученных и наименее удачно моделируемых компонентов климатической системы Земли. Особенно это относится к процессам ее формирования в полярных районах. В тоже время адекватный учет облачности необходим как для описания радиационного баланса подстилающей поверхности при моделировании, так и для развития дистанционных методов измерений температуры и альbedo подстилающей поверхности, дрейфа и сплоченности морских льдов, а также свойств аэрозольной составляющей атмосферы.

Главным направлением исследований облачности в Гидрометеорологической Обсерватории Тикси будет проведение наземных наблюдений ее свойств, как индикаторов изменчивости климата атмосферы в сезонном и межгодовом диапазонах. В настоящее время такие исследования ограничиваются только визуальными наблюдениями. В то же время известно, что учет свойств облачности, таких, как водозапас или температура ее нижней границы могут быть гораздо теснее связаны с изменчивостью климата, чем балл общей облачности. С этим связано и исследование распределения аэрозоля в атмосфере, поскольку он определяет не только перераспределение радиационного нагревания, но и косвенным путем формирование, распределение и свойства облачного покрова.

В докладе IPCC «Изменения климата 2007» рекомендуется организация регулярных наблюдений за процессами взаимодействия между облачностью и аэрозолями. С этой целью предполагается оснастить Гидрометеорологическую обсерваторию установкой для полусферного фотографирования облачности (All-Sky Imagers), микроволновым радиометром для оценки интегрального влагосодержания и лазерным измерителем высоты облаков.

Исследования с использованием вышеупомянутого измерительного комплекса, позволяющего количественно оценить микро- и макрофизические свойства облаков, внесут существенные дополнения в существующие в Тикси долговременные исторические ряды визуальных наблюдений.

### 3.2 Влияние природно-климатических факторов Арктики на организм человека

Благодаря наблюдениям в обсерватории Тикси будет возможно проведение детального изучения влияния метеорологических и гелиофизических факторов на функциональное состояние человека в Арктике. Центр полярной медицины ААНИИ на протяжении пятнадцати лет (с 1976 по 1991 г) занимался изучением адаптации человека в полярных районах, которое включало в себя исследования влияния метеорологических и гелиофизических факторов на организм человека. В 1992 г. исследования были прекращены, однако не потеряли своей актуальности, особенно в свете современного потепления климата Арктики. Создание современной обсерватории в Тикси даст возможность ежедневно получать наиболее полные метеорологические и гелиофизические данные. Таким образом, Обсерватория в Тикси явится идеальным местом для изучения влияния природно-климатических факторов Арктики на организм человека.

Исследования планируется проводить по следующим направлениям:

- изучение влияния метеорологических и гелиофизических факторов на здоровье человека путем ежедневного обследования функционального состояния добровольцев - работников обсерватории с использованием автоматизированных и полуавтоматизированных диагностических систем (суточная кардиография, постоянная запись АД, энцефалография, хронорефлексометрия, и т.д.). Эти данные, полученные в течение годового цикла, послужат сравнительному анализу физиологического состояния человека в зависимости от метеорологических и гелиогеофизических условий.
- изучение влияние метеорологических и гелиофизических факторов на состояние здоровья населения Булунского улуса путем сравнения гидрометеорологических данных с ежедневными данными о заболеваемости населения.
- изучение влияния изменяющегося климата на состояние здоровья населения путем ретроспективного сравнения метеорологических данных Тикси, полученных за последние шестьдесят лет, с данными заболеваемости населения Булунского улуса за тот же период.
- отработка системы телемедицинской связи Обсерватории Тикси с ААНИИ с целью организации отложенных медицинских консультаций и консультаций в режиме реального времени, а при необходимости - оказание квалифицированной медицинской помощи сотрудникам Обсерватории (отработка системы телемедицинской связи ТДС — ААНИИ).

### 3.3 Совершенствование методов интерпретации спутниковых данных

Национальная служба по окружающей среде, спутниковым данным и информации НОАА (NOAA's National Environmental Satellite, Data, and Information Service, NESDIS) и Центр ледовой и гидрометеорологической информации (ЦЛГМИ ААНИИ) предоставляют разнообразную спутниковую информацию для научных исследований и развития производственной деятельности в Арктике. В настоящее время спутниковые системы зондирования обеспечивают получение данных о вертикальном распределении облачности и химическом составе атмосферы, включая концентрации озона, двуокиси серы и окиси углерода. Развитие теории и методов спутниковых наблюдений позволило расширить имеющуюся информацию о форме и размерах частиц льда в облаках и значительно усовершенствовать восстановление характеристик ледяных и смешанных облаков с помощью спутниковых данных. Спутниковые альтиметры и микроволновые радары позволили расширить объем информации о морском ледяном покрове.

Наземные наблюдения в значительной степени способствуют совершенствованию спутниковых методов. Они чрезвычайно важны для валидации спутниковых данных. Данные Гидрометеорологической обсерватории Тикси, будут использованы вместе с аналогичными данными полярных Обсерваторий Канады, США и Финляндии, для валидации методов получения информации о характеристиках облачности, подстилающей поверхности и ее радиационном балансе из космоса. Спутниковые измерения особенно важны с точки зрения интегрирования измерений, проводимых в тиксинской обсерватории, в более широкие программы исследований Арктики, такие, как Глобальная служба криосферы ВМО.

#### 4. Развитие инфраструктуры ГМО Тикси в 2010 году

Существующий на сегодняшний день комплекс Гидрометеорологической обсерватории в Тикси составляют следующие объекты: новая метеорологическая станция, оснащенная научной лабораторией и инфраструктурой для исследований – главное здание Гидрометеорологической обсерватории, Павильон чистого воздуха (ПЧВ), а также установленные в непосредственной близости и соединенные системой деревянных настилов различные приспособления для установки инструментов - стойки, мачты и кабины. (Завершение работ по их установке планируется на лето 2010 года). При поддержке Правительства Республики Якутия - Саха заново построена линия электропередачи и улучшены дороги, связывающие поселок Тикси и Обсерваторию.

##### 4.1 Главное здание обсерватории (Метеорологическая станция).

По состоянию на весну 2010 года строительство и оборудование метеорологической станции (рис. 4.1) в основном завершено и уже используется сотрудниками Тиксинского филиала Якутского Управления Росгидромета. Подключен интернет и развернут спутниковый канал связи. Помещение метеостанции достаточно просторно и комфортабельно, имеется две меблированные спальни, кухня, большая площадь для офиса, складское помещение (рис.4.2).



Рисунок 4.1 –Главное здание Гидрометеорологической обсерватории.

Крыша здания оборудована для размещения научных инструментов. Имеется удобный доступ к установленным и предполагаемым к установке измерительным приборам. В дополнение к работающим на крыше метеорологическим приборам метеорологической станции, летом 2010 года планируется установить дополнительно ряд измерительных устройств по программе БСРН и другим научным проектам. Для окончательного завершения обустройства Главного здания необходимо: установка

сантехники, водопровода, дренажной системы, дополнительной теплоизоляции, защиты от непогоды и звукоизоляции от ветра, подключение резервного дизель-генератора.



Рисунок 4.2 - Интерьер Главного здания обсерватории (место дежурного метеоролога станции слева).

Наличие складских помещений, достаточного пространства как внутри здания, так и на крыше позволяет проведение научной работы не нарушая плановую деятельность метеостанции. Обслуживание станции организовано посменно, персонал находится на станции круглосуточно. Такая организация работы позволит развернуть на станции требующие ежедневного контроля оператора измерения по сформулированным выше научным проектам, для выполнения которых нет необходимости размещения в ПЧВ или в отдаленных местах.

#### 4.2 Павильон чистого воздуха (ПЧВ)

Конструкция Павильона чистого воздуха была разработана для исследований газового состава атмосферы и ее аэрозольной составляющей, проведение которых возможно лишь в специальных условиях, отвечающих требованию минимальной загрязненности окружающей среды. Для обеспечения таких условий ПЧВ оснащен специализированными устройствами, которые включают мачты, поддерживающие воздухоотборники, башни, помещения для насосов. При его строительстве были использованы специальные строительные материалы с минимальным выделением газов, загрязняющих воздух. Подробный документ о требованиях к строительству ПЧВ был разработан в 2007 году совместно учеными США, России, Финляндии, Норвегии и Японии и содержит детальную информацию о спецификациях по зданию.

Осенью 2009 года здание ПЧВ было возведено и начаты работы по его электрификации и отделке интерьеров (рис. 4.3, 4.4). В ходе визита в сентябре 2009 года российские, американские и финские ученые провели инспекцию хода работ и разработали замечания по окончанию строительства ПЧВ. Были уточнены планируемые расположения мачты, стоек, соединяющих их дорожек, линии электропередач и связи.

Строители Полярного Фонда прибыли на полигон в октябре 2009 года и продолжили строительство по разработанному плану. Окончательное завершение работ запланировано на июнь 2010 года.



Рисунок 4.3 - Здание ПЧВ. Сентябрь 2009 года



Рисунок 4.4 - Интерьер ПЧВ. Сентябрь 2009 года

#### *4.3 Системы связи, передачи и обработки данных измерений.*

Для обеспечения связи, передачи и обработки данных, а также доступа специалистов к информационным ресурсам различных сетей в настоящее время организован круглосуточный спутниковый канал связи между Гидрометеорологической обсерваторией в Тикси и ГУ «ААНИИ» с использованием технологии VSAT. Цифровой дуплексный канал обеспечивает передачу IP-трафика со скоростью до 512 Кбит/сек.

Космический сегмент системы связи обеспечивается через КА «Ямал-200» в Ку-диапазоне. Зона покрытия спутниковой системы «Ямал-200» в Ку-диапазоне приведена на рисунке 4.5.

Между ААНИИ и Гидрометеорологической обсерваторией для организации взаимодействия локальных сетей был создан VPN канал. В Тикси весной 2008 года было установлено оборудование земной спутниковой станции (ЗССС1) с диаметром зеркала антенны 2.4 метра (Рисунок. 4.6). Наземная станция оператора VSAT (ЗССС2) располагается непосредственно в Санкт-Петербурге и имеет широкополосный цифровой выделенный оптоволоконный канал с ГУ «ААНИИ».

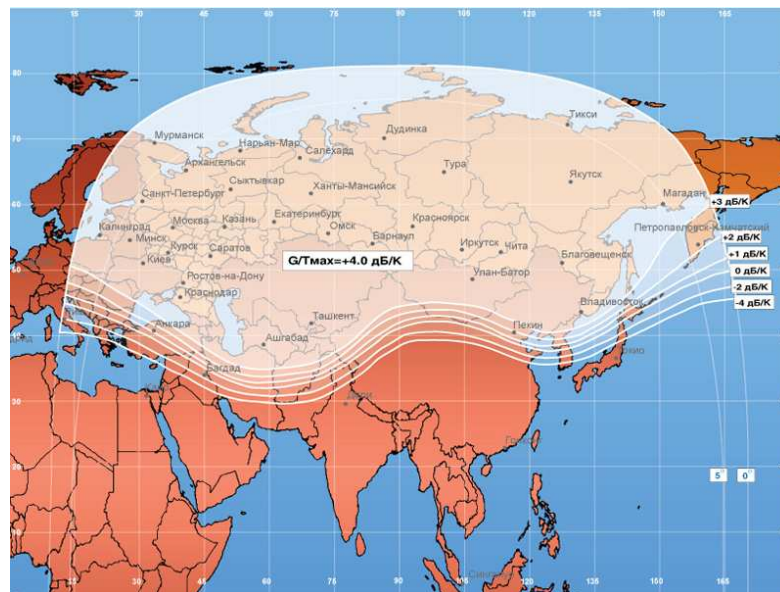


Рисунок 4.5 – Зона покрытия КА «Ямал-200» в Ку-диапазоне

В Гидрометеорологической обсерватории рабочие места объединены в единую локальную сеть, а сегменты сети в удаленных зданиях связаны по беспроводной технологии Wi-Fi.



Рисунок 4.6 - Спутниковая антенна и рабочее место оператора связи на метеорологической станции Тикси (август 2008 года).

Подключение Гидрометеорологической обсерватории с помощью VoIP оборудования к городской телефонной сети в г. Санкт-Петербурге обеспечивает телефонную связь с ААНИИ и выход на междугороднюю и международную телефонную сеть. Весной 2010 года в Обсерватории установлена база беспроводной телефонной станции, позволяющая вести местные и междугородние переговоры с рабочих мет, в том числе, находясь вне помещений. Предполагается, что Центр приема и обработки данных будет входить в систему Всемирной метеорологической организации (ВМО), в рамках правил, разработанных Глобальной системой телесвязи (<http://www.wmo.int/pages/prog/www/TEM/GTS>).

## 5.0 Приложения

### 5.1 Научный комитет Обсерватории Тикси.

<b>Федеральная служба по Гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды (Россия)</b>	<b>Национальная администрация по вопросам океана и атмосферы (США)</b>
Александр Данилов Арктический и Антарктический НИИ	Таниел Ютгал Лаборатория по исследованиям систем Земли
Александр Макштас Арктический и Антарктический НИИ	Расселл С. Шнелл Лаборатория по исследованиям систем Земли
Александр Решетников Главная геофизическая обсерватория им. А.И.Воейкова	Джеффри Кей Служба спутниковой информации, НОАА
Алексей Коноплев НПО Тайфун, Обнинск	Владимир Романовский Университет Аляска
<b>Финский метеорологический институт</b>	
Туомас Лаурила Финский метеорологический институт	

## 5.2 Сокращения и обозначения.

AARI	Арктический и антарктический научно-исследовательский институт Arctic and Antarctic Research institute
AeRoNet	Сеть автоматизированных аэрозольных наблюдений НАСА Aerosol Robotic Network, NASA
AMAP	Программа исследований загрязнений Арктики Arctic Monitoring, Assessment Program
AMF	Передвижной комплекс АРМ ARM Mobile Facility
ARM	Программа атмосферных радиационных измерений Atmospheric Radiation Measurement
BSRN	Сеть базовых радиационных наблюдений Baseline Surface Radiation Network
CALM	Циркумполярный мониторинг активного слоя Circumpolar Active Layer Monitoring
CASN	Сеть согласованного отбора проб воздуха Cooperative Air Sampling Network
CEC	Научно-производственное объединение «Гайфун» Center for Environmental Chemistry – Typhoon
CRN	Базовая сеть наблюдений за климатом Climate Reference Network
DoE	Департамент энергетики Department of Energy
FMI	Финский метеорологический институт Finnish Meteorological Institute
GAW	Глобальное наблюдение за атмосферой Global Atmosphere Watch
GCOS	Сеть глобального слежения за климатом Global Climate Observing Network
GMD	Подразделение глобального мониторинга НОАА Global Monitoring Division, NOAA
GSFC	Годдардовский центр космических полетов Goddard Space Flight Center
GTN-P	Глобальная наземная сеть – вечная мерзлота Global Terrestrial Network- Permafrost
IPA	Международная ассоциация по исследованиям вечной мерзлоты International Permafrost Association
JPL	Лаборатория реактивного движения Jet Propulsion Laboratory
MGO	Главная Геофизическая Обсерватория им. Воейкова Main Geophysical Observatory
MPLNET	Сеть лидарных наблюдений НАСА Micro-Pulse Lidar Network, NASA
NSF/OPP	Национальный научный фонд/Офис полярных программ National Science Foundation Office of Polar Programs
OCO	Спутниковая орбитальная углеродная обсерватория Orbiting Carbon Observatory
POPs	Устойчивые органические загрязнители Persistent organic pollutants



PSD	Подразделение физических наук НОАА Physical Sciences Division, NOAA
RAS	Российская Академия Наук Russian Academy of Sciences
Roshydromet	Федеральной службы по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды Российской Федерации Russian Federal Service for Hydrometeorological Monitoring
UVMN	Сеть мониторинга ультрафиолетового излучения UV Monitoring Network, NSF/BSI

### 5.3 Ссылки на сайты Интернета.

<a href="http://aeronet.gsfc.nasa.gov">http://aeronet.gsfc.nasa.gov</a>
<a href="http://www.amap.no/">www.amap.no/</a>
<a href="http://www.wmo.ch/pages/mediacentre/infonotes/GlobalCryosphere.html">http://www.wmo.ch/pages/mediacentre/infonotes/GlobalCryosphere.html</a>
<a href="http://www.arl.noaa.gov/">www.arl.noaa.gov/</a>
<a href="http://www.gewex.org/bsrn.html">http://www.gewex.org/bsrn.html</a>
<a href="http://www.udel.edu/Geography/calm">www.udel.edu/Geography/calm</a>
<a href="http://www.ncdc.noaa.gov/cm/">www.ncdc.noaa.gov/cm/</a>
<a href="http://www.esrl.noaa.gov">www.esrl.noaa.gov</a>
<a href="http://www.fmi.fi">www.fmi.fi</a>
<a href="http://gaw.empa.ch/gawsis">http://gaw.empa.ch/gawsis</a>
<a href="http://www.wmo.int/pages/prog/gcos">www.wmo.int/pages/prog/gcos</a>
<a href="http://www.wmo.int/pages/mediacentre/infonotes/GlobalCryosphere.html">www.wmo.int/pages/mediacentre/infonotes/GlobalCryosphere.html</a>
<a href="http://www.esrl.noaa.gov/gmd/">www.esrl.noaa.gov/gmd/</a>
<a href="http://www.nasa.gov/centers/goddard/home">www.nasa.gov/centers/goddard/home</a>
<a href="http://www.gtnp.org">www.gtnp.org</a>
<a href="http://www.wmo.int/pages/prog/www/TEM/GTS/">www.wmo.int/pages/prog/www/TEM/GTS/</a>
<a href="http://www.iasoa.org">www.iasoa.org</a>
<a href="http://ipa.arcticportal.org/index.php/About-the-IPA">http://ipa.arcticportal.org/index.php/About-the-IPA</a>
<a href="http://www.ipy.org">www.ipy.org</a>
<a href="http://www.mgo.rssi.ru">www.mgo.rssi.ru</a>
<a href="http://www.site.ru/ync/ync_eng/ice.htm">www.site.ru/ync/ync_eng/ice.htm</a>
<a href="http://mplnet.gsfc.nasa.gov">http://mplnet.gsfc.nasa.gov</a>
<a href="http://www.nasa.gov">www.nasa.gov</a>
<a href="http://www.ncdc.noaa.gov/oa/ncdc.html">www.ncdc.noaa.gov/oa/ncdc.html</a>
<a href="http://www.ncep.noaa.gov">www.ncep.noaa.gov</a>
<a href="http://www.noaa.gov">www.noaa.gov</a>
<a href="http://www.nsf.gov">www.nsf.gov</a>
<a href="http://www.ras.ru">www.ras.ru</a>
<a href="http://www.meteorf.ru">www.meteorf.ru</a>
<a href="http://www.uaf.edu">www.uaf.edu</a>
<a href="http://www.wmo.int/pages/">http://www.wmo.int/pages/</a>
<a href="http://wrdc-mgo.nrel.gov/">http://wrdc-mgo.nrel.gov/</a>
<a href="http://www.university-directory.eu/Russian-Federation-%28Russia%29/A-M-Obukhov-Institute-of-Atmospheric-Physics-of-RAS.html">www.university-directory.eu/Russian-Federation-%28Russia%29/A-M-Obukhov-Institute-of-Atmospheric-Physics-of-RAS.html</a>
<a href="http://www.ocean.ru/">www.ocean.ru/</a>
<a href="http://www.psn.ru/english/psc/structure/ifh.shtml">www.psn.ru/english/psc/structure/ifh.shtml</a>