

# Путешествия, открытия

УДК:551.466.3

## 95 лет исследований климата и криосферы Арктики в ААНИИ

© 2015 г. Г.В. Алексеев, Д.Ю. Большианов, В.Ф. Радионов, С.В. Фролов

Арктический и Антарктический научно-исследовательский институт, Санкт-Петербург

alexgv@aari.ru

## 95 years of climate and cryosphere studies of the Arctic in the Arctic and Antarctic Research Institute

G.V. Alekseev, D.Yu. Bolshyanov, V.F. Radionov, S.V. Frolov

Arctic and Antarctic Research Institute, Sankt-Petersburg

Статья принята к печати 24 июня 2015 г.

*ААНИИ, Арктика, атмосфера, ледники, морской лёд, океан, 95-летие.**AARI, Arctic Regions, atmosphere, glaciers, ocean, sea ice, 95<sup>th</sup> anniversary.*

В связи с 95-летним юбилеем Арктического и Антарктического научно-исследовательского института (ААНИИ) рассматривается развитие исследований атмосферы, океана, морских льдов и ледников в Арктике, проводившихся в институте учёными и специалистами начиная с 1920 г.

A brief description of studies of the atmosphere, ocean, sea ice, and glaciers in the Arctic Regions and on the islands fulfilled since 1920 by scientists and specialists of the Arctic and Antarctic Research Institute (AARI) is presented. The paper is dedicated to the 95th anniversary of the Institute.

### Введение

К арктическим территориям, Северному Ледовитому океану и его окраинным морям с давних пор приковано внимание учёных и специалистов разных направлений. В исследованиях, проводимых в Арктике с 1920 г., ведущая роль принадлежала сотрудникам Арктического и Антарктического научно-исследовательского института (ААНИИ). Институт берёт начало от Северной научно-промысловой экспедиции, основанной 4 марта 1920 г., которая в марте 1925 г. была переименована в Институт по изучению Севера, преобразованный позже во Всесоюзный Арктический институт (29 ноября 1930 г.), а в 1939 г. — в Арктический научно-исследовательский институт. С 25 июня 1958 г. это — Арктический и Антарктический научно-исследовательский институт.

Колоссальный объём полученной за эти годы информации по метеорологии, океанологии, биологии Северного Ледовитого океана, ледоведению, геофизике и многим другим природоведческим направлениям науки обобщён в сотнях научных статей, фундаментальных монографиях, атласах, справочниках и пособиях. Эти данные не утратили научную ценность и в настоящее время. Результаты многолетнего труда российских исследователей Арктики и сегодня —

одна из важнейших составных частей работы интернациональных коллективов по исследованию природы Арктики.

### Исследования климата Арктики

Первые 12 метеорологических станций в Арктике были открыты в период Первого Международного полярного года в 1882/83 гг. Массовая организация сети метеорологических станций в Российской Арктике велась в 1932–1934 гг. во время Второго Международного полярного года, когда их число значительно возросло. К 1951 г. работала уже 81 станция. С помощью сети береговых и островных арктических станций получены многочисленные материалы гидрометеорологических наблюдений. Во время проведения Международного геофизического года (1957/58 гг.) исследования распространились на центральную область Северного Ледовитого океана, на прилегающие к Арктике обширные районы суши и океана, а также на Антарктический континент. Полученная в те годы информация позволила оценить климатические параметры в арктическом регионе, а также усовершенствовать методы метеорологических, ледовых и гидрологических прогнозов.

Результаты обобщения и анализа метеорологических и актинометрических наблюдений представлены в двух фундаментальных работах, вышедших из печати в 1965 г.: З.М. Прик «Климат Советской Арктики (метеорологический режим)» [34] и Н.Т. Черниговский и М.С. Маршунова «Климат Советской Арктики (радиационный режим)» [46]. Эти работы выдвинули авторов в лидеры полярной климатологии, книги были переведены и использовались многими зарубежными исследователями. Позже была опубликована монография с описанием радиационного режима на территории зарубежной Арктики [28, 48].

Для широкого круга научных и прикладных исследований необходимы сведения о параметрах и структуре свободной атмосферы. В первую очередь они использовались при изучении общей циркуляции атмосферы, составлении гидрометеорологических прогнозов, а позднее — в климатологии, при описании трансграничного переноса атмосферных примесей. Систематические исследования характеристик пограничного слоя атмосферы с помощью воздушных змеев начались в Арктике в 1930 г. по инициативе П.А. Молчанова. Для подъёма измерительной аппаратуры использовались привязные аэростаты, но они не обеспечивали требуемых высот зондирования. Проблема получения информации о состоянии вышележащих слоёв атмосферы была решена после создания П.А. Молчановым радиозонда. Уже в январе 1931 г. один из зондов Молчанова в пос. Полярное под Мурманском достиг высоты 10,5 км, зафиксировав высоту тропопаузы на уровне 9,7 км, т.е. зонд проник в стратосферу.

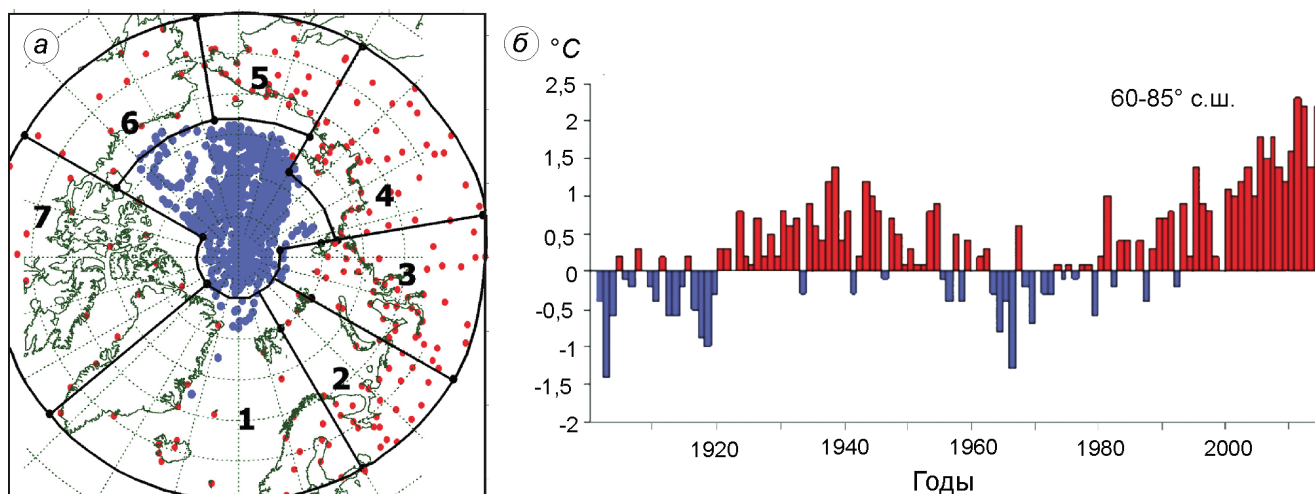
В послевоенные годы бурно росла сеть стационарных аэрологических станций. В 1948/49 гг. впервые были организованы аэрологические наблюдения на дрейфующем льду, а 1950 — год организации дрейфующей научно-исследовательской станции «Северный полюс-2» («СП-2»). Регулярные выпуски радиозондов проводились на всех последующих дрейфующих станциях «Северный полюс». Проанализированные К.И. Чуканиным материалы аэрологических наблюдений на дрейфующих станциях «СП 6 — СП 8» подтвердили сделанный ранее вывод Б.Л. Дзерdzeевского, что атмосферные процессы, определяющие погоду в Централь-

ной Арктике, взаимосвязаны и взаимодействуют с циркуляцией атмосферы на всём земном шаре. Большой объём аэрологических данных был собран в 332 полётах «Летающей метеорологической обсерватории (ЛМО) с 1948 по 1960 г. Бортовая аппаратура ЛМО была разработана и изготовлена в Арктическом институте под руководством М.И. Гольцмана. Исследования на ЛМО на начальном этапе возглавлял И.М. Долгин, а впоследствии — А.И. Воскресенский.

Данные регулярных аэрологических наблюдений на советских стационарных и дрейфующих станциях до 1960 г., дополненные материалами наблюдений на американских дрейфующих станциях 1957–1959 гг., были обобщены в монографии И.М. Долгина «Климат свободной атмосферы Советской Арктики» [19]. В ней проанализированы результаты 11 тысяч радиозондовых наблюдений. Через несколько лет была издана коллективная работа «Климат свободной атмосферы зарубежной Арктики». Информация, представленная в этих фундаментальных публикациях, не утратила своего значения и в настоящее время.

Важный фактор формирования погоды и климата — атмосферная циркуляция. Исследования общей циркуляции атмосферы с целью установления закономерностей преобразования её состояний из одного в другое для долгосрочных метеорологических прогнозов были начаты Г.Я. Вангенгеймом ещё в 1930-х годах. Разработанные им принципы макроциркуляционного метода прогнозов получили своё развитие в работах А.А. Гирса и Л.А. Дыдиной.

С 1980-х годов метеорологические исследования полярных районов, до этого направленные главным образом на исследования метеорологических процессов и режима погоды, в значительной степени были переориентированы на мониторинг состояния природной среды и климата. Начались исследования как собственно климатических характеристик и параметров их изменчивости разных временных масштабов, так и различных климатообразующих факторов. В частности, анализировались результаты наблюдений составляющих радиационного режима атмосферы применительно к задачам мониторинга климата, велись натурные измерения уровней содержания аэрозоля и климатически активных малых газовых составляющих



**Рис. 1.** Сеть станций мониторинга приповерхностной температуры воздуха в высоких широтах Северного полушария (красные точки – метеостанции на суше, синие – дрейфующие станции) (а) и аномалии среднегодовой температуры воздуха на станциях в области 60–85° с.ш. в 1900–2014 гг. относительно нормы за 1961–1990 гг. (б). Районы: 1 – Атлантический, 2 – Северо-Европейский, 3 – Западно-Сибирский, 4 – Восточно-Сибирский, 5 – Чукотский, 6 – Аляскинский, 7 – Канадский

**Fig. 1.** Meteorological network for monitoring of air temperature in high latitudes of the Northern Hemisphere (red dots – stations on the land, blue dots – ice drifting stations) (a) and anomalies of the mean annual air temperature in 60–85° N area for 1900–2014 relatively to the 1961–1990 mean.

Regions of averaging air temperature: 1 – Atlantic, 2 – North European, 3 – West Siberian, 4 – East Siberian, 5 – Chukchi, 6 – Alaskan, 7 – Canadian

атмосферы в полярных районах и над экваторией Мирового океана. Эти работы проводились в сотрудничестве с Институтом физики атмосферы АН СССР, Главной геофизической обсерваторией, Центральной аэрологической обсерваторией, Институтом экспериментальной метеорологии, Институтом глобального климата и экологии и рядом других научных организаций. Совместные работы с этими организациями ведутся и в настоящее время.

В 1978–1979 гг. впервые в мире были выполнены измерения микрофизических характеристик аэрозоля и спектрального аэрозольного ослабления солнечной радиации в Арктическом бассейне на дрейфующей станции «СП-22» [38], которые в 1987 г. были повторены на станции «СП-28». С 1979 по 1986 г. наблюдения аэрозольной составляющей атмосферы регулярно проводились на архипелаге Северная Земля (Купол Вавилова). Совместный анализ полученных результатов и данных метео- и аэрологических измерений на сети арктических станций позволил описать внутригодовую и многолетнюю изменчивость уровней аэрозольного загрязнения арктической атмосферы,

объяснить эффект и причины возникновения «арктической дымки» – высокого уровня аэрозольного загрязнения атмосферы в конце зимы – дальним переносом загрязнённых воздушных масс из умеренных широт. Интенсивные процессы самоочищения арктической атмосферы – вымывание примесей осадками, начинающиеся весной, приводят к тому, что в Арктическом бассейне с начала мая прозрачность атмосферы становится предельно высокой, так как уровни её аэрозольного загрязнения в это время предельно низкие.

Мониторинг климатических параметров в Северной полярной области, проводимый с начала 2000-х годов, показывает, что наблюдается значимый (5%-й уровень значимости) линейный тренд увеличения среднегодовой температуры воздуха за период с 1936 г. по настоящее время как в целом по этой области (рис. 1), так и в отдельных её районах. На фоне повышения температуры отмечается рост годовых сумм выпадающих осадков, в основном за счёт увеличения количества твёрдых осадков в холодное время (10,5%) в период 1936–2014 гг. За эти же годы количество жидких осадков уменьшилось

на 1,6% в широтной зоне 60–85° с.ш. и на 6% многолетней нормы – в широтной зоне севернее 70° с.ш. Увеличение температуры вызвало сокращение сроков залегания устойчивого снежного покрова. В зоне севернее 70° с.ш. наблюдалась общая тенденция к сокращению числа дней с устойчивым снежным покровом за счёт более позднего его установления и более раннего схода. За последние 30 лет в среднем по широтной зоне 70–85° с.ш. уменьшение составило около 12 дней. Это приводит к тому, что в период таяния большие количества запасённой в снеге воды сбрасываются в океан и окраинные моря в более ранние сроки.

### **Исследования влияния океана на климат Арктики**

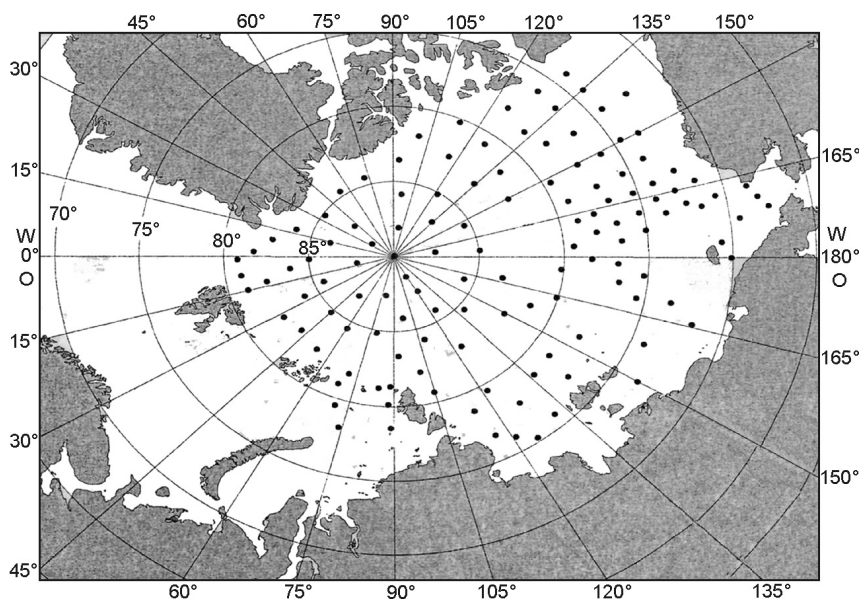
По мере развития знаний о процессах в атмосфере и океане Земли укреплялась идея о необходимости учёта их взаимодействия в развитии методов долгосрочных прогнозов погоды и колебаний климата. В 1967 г. под руководством А.Ф. Трешникова в ААНИИ был разработан план «Натурного эксперимента по взаимодействию океана и атмосферы» (НЭВ), цель которого – исследование процессов взаимодействия океана и атмосферы на акватории Северо-Европейского бассейна и прилегающей Северной Атлантики. Здесь ещё в 1930-е годы начались первые советские экспедиционные исследования, продолжавшиеся до 1939 г. включительно. В задачу исследований того времени входило выяснение влияния водообмена между Северной Атлантикой и Арктическим бассейном на арктический лёд и климатические условия вдоль трассы Северного морского пути [41].

За время работы в 1928–1939 гг. советскими экспедициями на судах «Персей», «Книпович», «Нерпа», «Садко», «А. Сибиряков» под руководством В.А. Васнецова, М.М. Сомова, Н.Н. Зубова, И.В. Максимова, А.П. Носкова были выполнены более 500 глубоководных гидрологических станций в Норвежском и Гренландском морях. Из них всего 30 станций находилось южнее 70° с.ш., а остальные были расположены в северной части Норвежского моря и в Гренландском море. Эти данные приобрели особое значения в настоящее время в связи с современным

потеплением Арктики, которое можно сопоставить с первым потеплением в водах Норвежского, Гренландского и Баренцева морей.

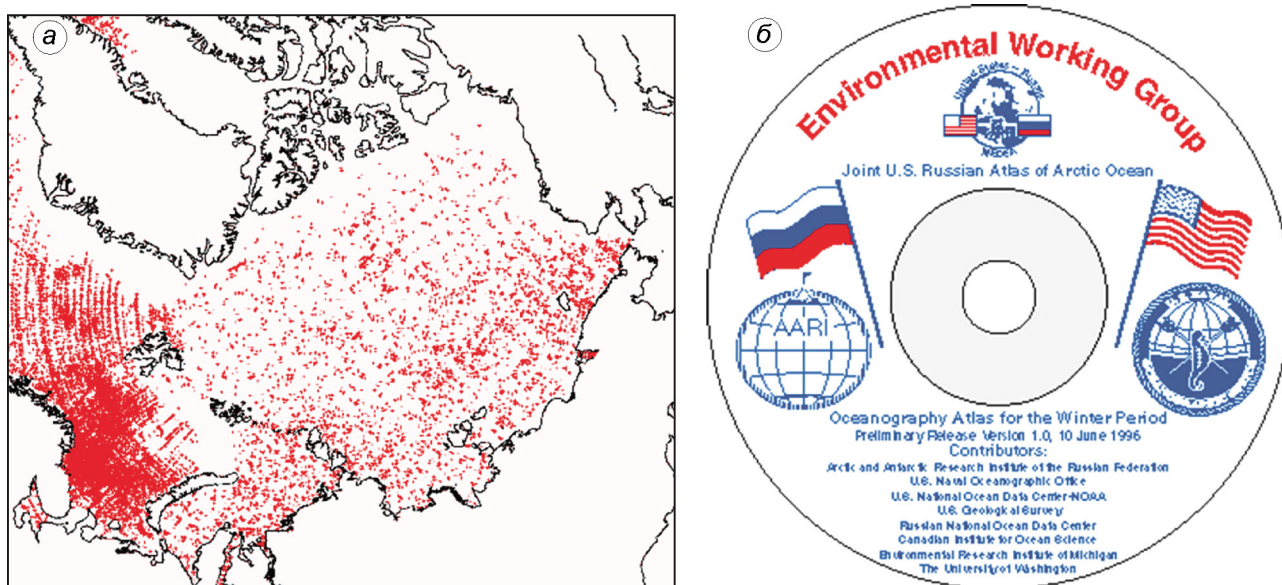
В 1970 г. при обсуждении международной Программы исследований глобальных атмосферных процессов (ПИГАП) было решено проводить наблюдения в полярных областях Земли в рамках предложенной программы НЭВ, включив её в ПИГАП в виде подпрограммы под названием «Полярный эксперимент» (ПОЛЭКС). Одна из главных задач «Полярного эксперимента» – количественная оценка роли атмосферы и океана в формировании энергетического баланса полярных областей Земли [8]. Кроме того, ПОЛЭКС был направлен на исследование процессов крупномасштабного взаимодействия атмосферы и океана в полярных областях и изучение механизмов, формирующих крупномасштабные изменения гидрометеорологических процессов в Арктике и Антарктике. Для реализации программы был предложен план экспедиционных исследований на ближайшие годы, который выполнялся на научно-исследовательских судах, в воздушных экспедициях «Север» в Арктический бассейн, постановками автономных буйковых станций. За этот период выполнен ряд рейсов научно-исследовательских и экспедиционных судов, проведены крупномасштабные океанографические съёмки Арктического бассейна воздушными экспедициями «Север» [25].

Высокоширотные воздушные экспедиции «Север», выполнявшиеся в 1937, 1941–1993 гг. под руководством известных полярных исследователей (О.Ю. Шмидт, Я.С. Либин, А.А. Кузнецов, М.М. Никитин, Г.А. Баскаков, В.Ф. Бурханов, Е.И. Толстикова, Б.В. Вейнбаум, Н.И. Тябин, П.А. Гордиенко, Д.Д. Максудов, Н.А. Волков, Н.И. Блинов, В.М. Рогачев, Н.А. Корнилов, И.П. Романов, Ю.Б. Константинов, Б.А. Крутских, М.Н. Красноперов, Г.И. Артемьев, С.А. Кессель, В.В. Киселев), позволили собрать уникальный массив океанографических данных на акватории всего Арктического бассейна в период покрытия акватории дрейфующими льдами с февраля по июнь (рис. 2 и 3). Были выполнены наблюдения более чем на 1500 океанографических станциях, открыт подводный хребет Ломоносова, собран обширный материал о характеристиках ледяного покрова в Арктическом бассейне.



**Рис. 2.** Положение океанографических станций, выполненных Высокоширотной воздушной экспедицией (ВВЭ) весной 1975 г.

**Fig. 2.** Oceanographic stations fulfilled by the Highlatitudanal Airborne Expedition in 1975 spring



**Рис. 3.** Океанографические станции (а), выполненные советскими экспедициями зимой в 1937–1993 гг., данные которых использованы при создании Атласа EWG (1997) (б)

**Fig. 3.** Oceanographic stations (a) fulfilled by the Soviet expeditions in 1937–1993, which data were used to create the EWG Atlas (1997) (b)

1976 год – время проведения крупнейшего в истории исследований Северной полярной области натурального эксперимента [35]. В работах, развёрнутых на акватории Северного Ледовитого океана и Берингова моря, участвовали научно-исследовательские суда ААНИИ, других ин-

ститутов Гидрометеослужбы и ведомств, а также авиация для выполнения океанографических съёмок в Арктическом бассейне, ледовых разведок и атмосферных исследований. В результате получены многочисленные данные наблюдений в атмосфере и океане Северной полярной

области. Оценки переносов тепла в океане и атмосфере в Северо-Европейском бассейне подтвердили определяющую роль океанического притока тепла в этот район для формирования климатических и погодных условий в Арктике и на Европейской территории России, что предполагал ещё В.Ю. Визе в 1937 г. В Арктическом бассейне были установлены важные особенности структуры и циркуляции водных масс, в том числе тенденция к ослаблению циркуляции и понижению температуры воды в бассейне. Обнаружены области формирования и распространения холодных промежуточных вод [30], располагавшиеся на периферии Арктического бассейна к северу от островов Земля Франца-Иосифа, Северная Земля, Гренландия и Канадского Арктического архипелага.

Данные океанографических наблюдений в Арктическом бассейне использованы при подготовке атласа «Северный Ледовитый океан» и «Атласа Арктики». Позднее они вошли в цифровые сеточные массивы климатических, океанографических и метеорологических данных для Северного Ледовитого океана.

Наследие эксперимента «ПОЛЭКС-Север-76» нашло применение при разработке части программы «Разрезы», относящейся к Норвежской энергоактивной зоне. Программа «Разрезы» разрабатывалась под руководством академика Г.И. Марчука в 1979–1981 гг. Основанием для разработки программы послужили решения обратной задачи обнаружения очагов влияния на погоду и климат на территории России с использованием гидродинамической модели циркуляции атмосферы. Обнаруженные таким образом очаги взаимодействия океана и атмосферы были названы энергоактивными областями океана; одна из этих зон располагалась в Северо-Европейском бассейне. Научные итоги отечественных натурных исследований в Северо-Европейском бассейне по программам НЭВ, «ПОЛЭКС-Север», «Разрезы» подведены в многочисленных публикациях [11, 32, 40]. Результаты исследований в Арктическом бассейне и арктических морях отражены в серии обобщающих публикаций [31, 42, 43] и в работах, в частности, оценивающих составляющие теплового баланса системы океан–атмосфера в Арктике [20, 27].

Комплексные натурные исследования океана, морских льдов, атмосферы и взаимодействия

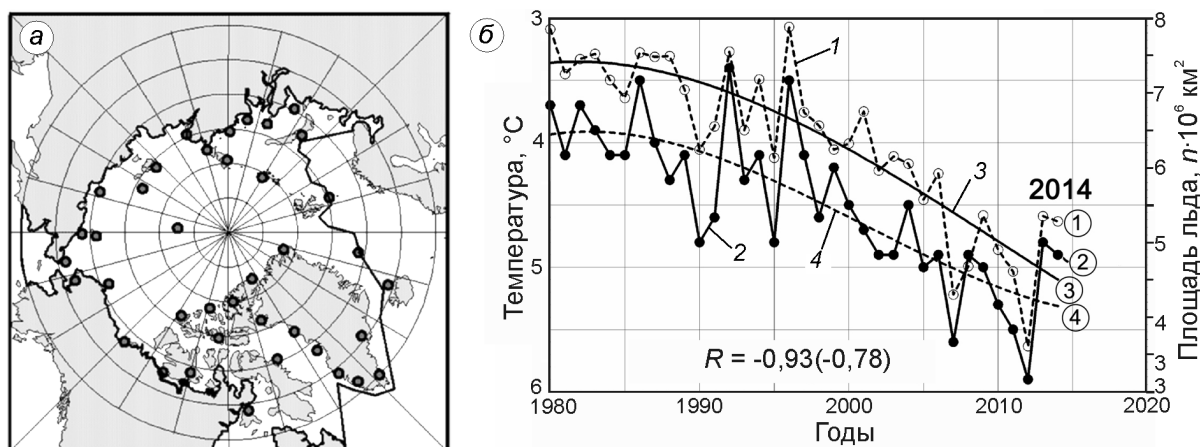
между ними, выполнявшиеся в 1970–80-е годы в Арктике, были продолжены в 2000-е годы в рамках исследований по национальным и международным проектам. Их кульминация – выполнение натурных экспериментов по программе Международного полярного года (МПГ) 2007/08, при разработке планов и реализации которых широко использовались опыт и результаты крупномасштабных исследований 1970–80-х годов [23, 33].

Полученные в период МПГ 2007/08 данные, объединённые с ранее собранными материалами, позволили проследить развитие потепления в 1990–2000-х годах в морской Арктике, установить её связь с изменениями глобального климата и сравнить с потеплением в 1930–40-е годы. Глобальное потепление, начавшееся в конце 1970-х годов, в Арктике проявилось и усилилось с середины 1990-х годов, достигнув максимального развития к 2012 г. В этот период резко сокращались площади, занимаемые морскими льдами в конце летнего периода (рис. 4). В Арктическом бассейне распространялась обширная положительная аномалия температуры в подповерхностном слое воды атлантического происхождения и изменилось распределение пресной воды в верхнем слое.

### Морской лёд и климат

Наиболее ранние систематические сведения о положении границ морского арктического льда появились с начала XX в. в приатлантической Арктике [21]. Развитие мореплавания вдоль побережья Сибири в 1930-е годы способствовало наблюдению за льдами в сибирских арктических морях. С этого времени основное средство наблюдения – авиация, а собранные данные представляются в виде ледовых карт. Ледовые карты за период с 1933 г. – часть исторического архива карт ледовой авиаразведки, собранного в ААНИИ [9], который был использован для подготовки рядов исторических данных о площади, занятой льдом в арктических морях.

На основе анализа исторических данных о морских арктических льдах В.Ф. Захаров выделил в XX в. четыре стадии развития морских арктических льдов: две стадии разрастания (1900–1918 и 1938–1968 гг.) и две стадии сокращения ледяного покрова (1918–1938 и 1968–1999 гг.),



**Рис. 4.** *a* – станции мониторинга приповерхностной температуры воздуха в морской Арктике и граница распространения морского льда зимой (утолщённая чёрная линия); *б* – площадь льда в сентябре в Северном Ледовитом океане (1), летняя температура воздуха (июнь–август) в морской Арктике (2), линии квадратичного тренда (3, 4).  $R$  – коэффициент корреляции между температурой и площадью льда (в скобках – коэффициент корреляции между отклонениями от квадратичного тренда)

**Fig. 4.** *a* – stations of the surface air temperature monitoring in the marine Arctic and winter ice edge (black thick line); *б* – September sea ice extent in the Northern Icy Ocean (1), summer (June–August) air temperature in the marine Arctic (2), lines of quadratic trend (3, 4).  $R$  – the correlation coefficient between the air temperature and sea ice extent (in brackets – correlation coefficient between departures from trends)

выраженные на фоне общего векового сокращения площади арктических льдов. Сравнение рядов исторических данных из различных источников показывает существенные расхождения между ними, исчезающие после перехода на спутниковые наблюдения, которые с конца 1970-х годов становятся основным средством наблюдений за морским ледяным покровом. Обобщение данных инструментальных наблюдений за морскими льдами со спутников после 1978 г. показывает сокращение их протяжённости, ускорившееся в последние два десятилетия [2, 44].

Исследования морских льдов предусматривали также измерения толщины дрейфующего льда и припая. В «Атласе морфометрических характеристик льда и снега в Арктическом бассейне», подготовленном И.П. Романовым [36], обобщены данные измерений толщины льда и снега на льду, выполненные во время посадок на дрейфующий лёд при океанографических съёмках в Арктическом бассейне в 1972–1984 гг., на дрейфующих станциях «Северный полюс», на высокоширотных маршрутах атомных ледоколов. С.В. Фролов и др. [45] показали возможность использования для мониторинга толщины морских льдов попутных измерений с борта ледоколов и других судов, способных совершать плавание во льдах. Приме-

нение телевизионного комплекса для фиксации измерений позволило собирать обширные массивы данных о толщине льда на маршрутах, пересекающих Арктический бассейн в разных направлениях. На основе сравнительного анализа данных 1977, 1987 и 2000-х годов установлено сокращение доли многолетних льдов в 2–3 раза, а также уменьшение их средней толщины в Арктическом бассейне к 2005–2006 гг. на 23%.

В.Ю. Визе, по-видимому, был первым, кто указал на усиление циркуляции атмосферы и океана как на основную причину потепления и, как следствие, сокращения морского ледяного покрова в Арктике. Он пришёл к заключению, что потепление – результат усиления общей циркуляции атмосферы, которое сопровождается усилением западных и юго-западных ветров над Северной Атлантикой и Норвежским морем и увеличением притока атлантических вод в Арктику с одновременным усилением обратного потока вод и льдов из Арктического бассейна в Гренландское море. Рассматривая развитие потепления, Визе отметил его максимальное проявление в приатлантической Арктике в зимний сезон от западной Гренландии до Карского моря, а также сокращение площади морских льдов летом в Баренцевом и Карском морях.

В работах В.Ф. Захарова указывалось на тесную связь между максимальным распространением морского льда зимой в Северном полушарии и распреснённой водой в верхнем слое океана. Граница между более солёной и тёплой и распреснённой и холодной водой арктического происхождения в приатлантическом секторе Арктики одновременно служит и южной границей распространения морского льда в конце зимы.

Современные представления о непосредственных причинах сокращения морского ледяного покрова основаны на широком спектре влияющих факторов. Очевидно, что причина сокращения количества арктических льдов в конце летнего периода также связана с потеплением климата, которое проявляется, в первую очередь, в повышении температуры воздуха. Корреляция между изменениями летней приповерхностной температуры воздуха и площадью, занятой морским льдом в сентябре, по данным за 1979–2012 гг. составила  $-0,94$  [1].

### Исследования арктической гляциосферы

Первые гляциологические исследования проведены в конце 1920-х – начале 1930-х годов на Земле Франца-Иосифа и Северной Земле вместе с организацией полярных станций на архипелагах. Экспедиция Н.Н. Урванцева и Г.А. Ушакова на архипелаг Северная Земля в 1930–1932 гг. закартировала архипелаг и все крупные ледники островов. Крупнейшее географическое событие XX в. – открытие архипелага Северная Земля в 1913 г. дополнилось его картой в результате героической работы по описанию островов экспедицией Арктического научно-исследовательского института.

В 1931 г. над Северной Землёй пролетел дирижабль «Граф Цеппелин», на котором находилась советско-германская экспедиция под научным руководством Р.Л. Самойловича. О. Грубером был заснят район фьорда Матусевича на о. Октябрьской Революции, где позже был открыт шельфовый ледник Матусевича. Эти старые снимки до сих пор имеют большое значение для изучения многолетней динамики ледников. В последние годы шельфовый ледник Матусевича стремительно разрушается, и степень его деградации можно оценить только при сравнении с прошлыми данными.

Изучение оледенения Земли Франца-Иосифа началось в 1933–1934 гг., когда, наряду с геологической съёмкой островов, были выполнены полноценные гляциологические исследования, которые включали в себя: классификацию ледников, наблюдения за их движением, гляциоклиматические исследования, определение высоты снеговой линии, историю развития оледенения и характеристику его современного состояния [39]. Эти комплексные гляциологические исследования стали возможны благодаря открытию в 1929 г. по инициативе Арктического института научно-исследовательской станции в бухте Тихой на о. Гукера. Первоначальные сведения об оледенении архипелага получены В.Ю. Визе ещё при работе в экспедиции Г.Я. Седова в 1913–1914 гг. и Р.Л. Самойловичем при исследованиях в 1929 г. Первое пересечение Северного острова архипелага Новая Земля по ледниковому покрову на широте  $75-76^\circ$  выполнено В.Ю. Визе и М.А. Павловым в 1913 г. в составе экспедиции Г.Я. Седова. Тогда было установлено, что центральная область Новой Земли на этой широте покрыта сплошным ледниковым покровом, имеющим форму щита. Описаны особенности рельефа ледникового покрова, выводные ледники, стекающие с него, определена высота «линии вечного снега» (снеговой линии) на горе Ледниковой [12]. В 1932–1933 г. под руководством М.М. Ермолаева на Новой Земле работала гляциологическая станция Русская Гавань. Во время этих работ маршрутами протяжённостью 4500 км была охвачена большая часть ледникового покрова Северного острова: от п-ова Литке и залива Благополучия до мыса Желания. Материалы этой экспедиции частично опубликованы в труде П.А. Шумского [47].

В 1937 г. П.А. Шумский в экспедиции АНИИ на ледокольном пароходе «Садко» изучал оледенение островов Де-Лонга Новосибирского архипелага [47]. Тогда за 11 дней удалось исследовать ледник о. Генриетты, а также побывать на ледниках островов Беннетта и Жанетты. Важное событие для изучения островов – постройка на о. Генриетты полярной станции, которая проработала до 1940 г. и позволила собрать уникальные материалы по метеорологическому режиму этого труднодоступного ледникового района Арктики. Ледники острова Беннетта повторно исследовались экспедицией ААНИИ в 1956 г., возглавляемой В.М. Картушиным. Сотрудники



следующей экспедиции ААНИИ на о. Беннетта в 1987 г. впервые провели масс-балансовые наблюдения с мая по октябрь и подтвердили, что с 1957 г. условия для оледенения острова в целом неблагоприятны, происходит некоторое, но не повсеместное сокращение оледенения [10].

Планомерное изучение ледников Советской Арктики экспедициями ААНИИ с 1960-х годов связано с деятельностью Л.С. Говорухи [15]. В 1960 г. экспедиция на острова Земли Франца-Иосифа подтвердила ранее сделанный в период МГГ (1957–1958) вывод о сокращении ледников архипелага. Л.С. Говоруха, исследовав несколько ледниковых куполов Земли Франца-Иосифа, показал, что линия равновесия аккумуляции и абляции расположена на высоте 300–320 м над ур. моря и это говорит об отступании ледникового покрова архипелага. На о. Рудольфа и Земля Вильчека процесс льдообразования происходит по холодному инфильтрационному типу.

1957 и 1960–1962 гг. – начало палеолимнологических исследований в Советской Арктике. Проведены гидрологические, батиметрические исследования на оз. Космическое на о. Хейса архипелага Земли Франца-Иосифа и ещё 12 озёрах архипелага, отобраны колонки озёрных отложений. Изучение арктических озёр было связано с исследованиями многовековых колебаний ледников, климата и тектонических движений земной коры [17]. Исследовалось также оледенение малых островов. В 1963 г. на о. Ушакова побывал Л.С. Говоруха. На основе собственных наблюдений, данных экспедиций ААНИИ 1947–1948 гг., наблюдений П.А. Шумского 1955 г. был сделан вывод, что линия равновесия на леднике Ушакова находится на высоте не менее 200 м. Область аккумуляции занимает не более 45–50 км<sup>2</sup>. В ней накапливается не более 0,02 км<sup>3</sup> льда в год. За счёт таяния и откола айсбергов о. Ушакова ежегодно теряет 0,11 км<sup>3</sup> льда. Общие потери массы ледника составляют 0,09 км<sup>3</sup> в год, или 1/100 часть его объёма [14].

Крайний западный остров российской Арктики – о. Виктория также занят ледниковым покровом. Его исследования в 1961 г. показали регрессивную стадию оледенения. Ледниковый купол высотой 110 м весь находится в области абляции. Прогнозировано его дальнейшее отступление [13].

Первое подробное гляциологическое исследование горно-ледникового узла Бырранга про-

водилось Таймырской экспедицией ААНИИ под руководством Л.С. Говорухи летом 1967 г. В исследованной северо-восточной части п-ова Таймыр обнаружено десять довольно крупных и более ста сравнительно мелких каровых и других ледников общей площадью 35–40 км<sup>2</sup>. Установлено, что состояние ледников гор Бырранга не соответствует современной климатической обстановке и находятся они в стадии отступления со значительным дефицитом массы в годовом бюджете. Впервые дана характеристика метеорологического режима таймырской горно-ледниковой зоны. Открыты две генерации льда разного возраста. Средняя многолетняя абляция в 1,5–2 раза превышает сезонное снегонакопление, что вызывает ежегодное уменьшение общей массы ледников. Исследованиями установлены многочисленные следы более широкого распространения ледников в прошлом [18]. Дистанционными методами в настоящее время удалось показать степень сокращения оледенения гор Бырранга со времени его натурных исследований. В результате сравнения космических снимков высокого пространственного разрешения за 1965 и 2009 г. установлено общее сокращение площади ледниковой системы перемётно-долинных ледников (Неожиданный, Толля, Северный, Южный) с 19,6 до 14,36 км<sup>2</sup>, т.е. на 26,7% [3].

С 1962 г. основным объектом гляциологических исследований ААНИИ стал архипелаг Северная Земля. В 1962–1969 гг. удалось провести несколько экспедиций, в результате которых получены первые данные по расходной части баланса льда и внешнему массообмену североземельских ледников. Впервые измерены скорости движения выводных ледников и ледниковых куполов, айсбергов, температуры ледяной толщи, получены основные показатели метеорологического и радиационного режима ледников, градиенты аккумуляции и абляции. В 1968 и 1969 г. проведены первые опыты радиолокационного зондирования ледниковых куполов Северной Земли, что позволило получить достоверные данные об их мощности. Измеренные максимальные толщины куполов оценены в 700 м [13].

Апофеоз гляциологических исследований ААНИИ – организация гляциологического стационара «Купол Вавилова» на Северной Земле (рис. 5). Научная мысль и до этого требовала организовать длительные стационарные наблю-



**Рис. 5.** Открытие гляциологического стационара «Купол Вавилова» в 1974 г.  
**Fig. 5.** Opening of the glaciological station «Vavilov Cupol» in 1974

дения за арктическими ледниками. Такой попыткой была организация гляциологической станции на Новой Земле в 1932–1933 гг. Но только в последней четверти XX в. удалось провести комплексные длительные наблюдения за ледниками и перигляциалом Северной Земли.

В 1974 г. Л.С. Говоруха организовал гляциологический стационар, который проработал в круглогодичном режиме с 1976 до 1989 г. Это была единственная в Арктике столь длительное время просуществовавшая гляциологическая станция. Стационар был организован для решения задач по программам каталогизации ледников страны и составлению Государственного водного кадастра СССР. На станции отрабатывалась технология бурения ледников, велась радиолокация ледниковых объектов, результаты которых использовались позже в других ледниковых районах страны и в Антарктиде. Важнейшее мероприятие стационара – воспитание и стажировка молодых гляциологов. В мае 1977 г. на леднике Вавилова была организована Всесоюзная гляциологическая школа-семинар по комплексному исследованию оледенения и перигляциала покровно-ледникового бассейна (рис. 6) В этом мероприятии приняли участие 35 ведущих гляциологов СССР из 10 учреждений Госкомгидромета, АН СССР, Министерства высшего и среднего специального образования СССР.



**Рис. 6.** Печать Гляциологического симпозиума на леднике Вавилова  
**Fig. 6.** Stamp of the Glaciological symposium on the Vavilov Glacier

На ледниковом стационаре стали получать уникальные результаты по исследованию не только ледников, но природной среды в целом. Важнейшие результаты дали гляциогидрологические исследования, подтверждавшие стоком рек данные о расходной части баланса массы ледников Северной Земли [29]. Проводились масс-балансовые наблюдения на ледниках, их радиозондирование, бурение и изучение температурного режима, изотопно-кислородные и структурные исследования льда, непрерывно велись комплексные метеорологические наблюдения на самом леднике и на о. Октябрьской Революции.

На леднике Вавилова работали две команды буровиков (ААНИИ и Ленинградского горного института), которые испытывали разные типы бурового оборудования, одновременно добывая информацию по оледенению Северной Земли. В феврале–марте 1988 г. толща ледника Вавилова была пройдена электромеханическим снарядом КЭМС-112, разработанным сотрудниками Ленинградского горного института. Глубина скважины составила 461,61 м, мощность мореносодержащего льда – 2,15 м, подстилающих отложений – 2,28 м. Петроструктурные исследования льда показали отсутствие скольжения льда по горным породам, движения были развиты в вышележащем льду [6]. До сих пор ни один полярный ледник не удалось пробурить, войти в подстилающие породы и исследовать столь важные для гляциологии процессы, происходящие на ледниковом ложе. Испытательное бурение электромеханическим снарядом толщи ледника Вавилова с проникновением в подстилающие породы было значительным шагом к успеху российских исследователей, добившихся в 2012 г. проникновения в подлёдное озеро Восток в Антарктиде.

По данным картографических и масс-балансовых исследований 1985–1990 гг. зафиксированы выдвигание ледника Вавилова к югу и западу и стабильность его границ на севере и востоке, что объяснялось климатическими причинами [5]. 7 июля 1987 г. сотрудниками ААНИИ, Института географии РАН и ЛГУ до ложа был пробурен ледник Академии Наук и достигнута глубина 761 м [36]. Проведены комплексные исследования керна, гидротермического режима снежно-фирново-ледяной толщи ледника, а в дальнейшем изотопно-кислородные исследования, давшие материалы для восстановления истории развития оледенения Северной Земли [26]. Ледниковый стационар стал не только форпостом исследований полярных ледников, но, по существу, и станцией экологического мониторинга. На ледниках и в перигляциальной области развивались исследования по изучению рельефа, озёр, почв, многолетнемерзлых пород, растительности и животного мира, степени загрязнённости льда, снега, перигляциальных ландшафтов, проводились ландшафтные исследования [22].

В 1990 г. после закрытия стационара наступил длительный перерыв в исследовании арктических ледников силами ААНИИ. Прерваны уникальные

ряды данных, и теперь, уже во втором десятилетии XXI в., когда в Арктике на ледниках происходят активные процессы, нет достаточного набора данных для объяснения таких явлений, как пульсация ранее стабильных ледников, распад шельфового ледника Матусевича, образование большого количества айсбергов и др. Тем не менее, организация стационара на леднике Вавилова позволила получить очень интересные материалы. Была опубликована монография по современному и древнему оледенению Северной Земли [7]. В 1999–2001 гг. ААНИИ совместно с Санкт-Петербургским горным институтом (сейчас – Национальный минерально-сырьевой университет «Горный») и Институтом полярных и морских исследований (Германия) провели бурение ледника Академии Наук до глубины 723 м. В 2012 г. вновь удалось организовать стационарные комплексные наблюдения на о. Большевик на ранее законсервированной базе на мысе Баранова. На ближайшем к базе леднике Мушкетова снова ведутся гляциологические наблюдения.

Итог длительно (почти 90 лет) ведущихся Арктическим и Антарктическим научно-исследовательским институтом исследований наземной гляциосферы – две обобщающие монографии по наземному оледенению Советской Арктики [16, 47] и множество работ по отдельным регионам Российской Арктики.

### Заключение

В исследованиях атмосферы, океана, морских льдов и островных ледников в Арктике, начиная с 1920 г. и на протяжении почти всего XX в. (до начала 1990-х годов), ведущая роль принадлежала учёным и специалистам Арктического и Антарктического научно-исследовательского института (ААНИИ), который берёт начало от Северной научно-промысловой экспедиции, основанной 4 марта 1920 г. За этот период получены обширные данные метеорологических и актинометрических наблюдений, результаты которых обобщены в фундаментальных монографиях [19, 24, 28, 33, 46, 48], переведённых и изданных за рубежом [49].

В 1976 г. был выполнен крупнейший в истории исследований Северной полярной области натурный эксперимент «ПОЛЭКС-Север-76» [35] в рамках программы «ПОЛЭКС»

(1974–1989 гг.), направленный на исследование процессов крупномасштабного взаимодействия атмосферы и океана в полярных областях. Эти исследования продолжались в рамках программы «Разрезы» (1981–1992 гг.) по исследованию энергоактивных областей океана, одна из которых располагалась в Северо-Европейском бассейне.

Огромный вклад в изучение высокоширотной Арктики внесли высокоширотные воздушные экспедиции «Север», выполнявшиеся в 1937, 1941–1993 гг. под руководством известных полярных исследователей, и дрейфующие станции «Северный полюс», работавшие в Арктическом бассейне с 1950 по 1991 г. Полученные данные наблюдений использованы при подготовке атласа «Северный Ледовитый океан» и «Атлас Арктики», которые сейчас вошли в цифровые сеточные массивы климатических, океанографических и метеорологических данных для Северного Ледовитого океана.

Комплексные натурные исследования океана, морских льдов, атмосферы и взаимодействий между ними, выполнявшиеся в 1970–80-е годы, были продолжены 2000-е годы в рамках исследований по национальным и международным проектам, кульминацией которых стало проведение Международного полярного года 2007/08.

Развитие мореплавания вдоль побережья Сибири в 1930-е годы стимулировало регулярные наблюдения за морскими льдами. Ледовые карты, составившиеся с 1933 г., собраны в архиве карт ледовой авиаразведки в ААНИИ и используются для подготовки рядов исторических данных о площади морского льда в арктических морях. Данные измерений толщины льда и снега на льду, выполненные во время посадок на дрейфующий лёд при выполнении океанографических съёмок в Арктическом бассейне в 1972–1984 гг., на дрейфующих станциях «Северный полюс», на высокоширотных маршрутах атомных ледоколов обобщены И.П. Романовым в «Атласе морфометрических характеристик льда и снега в Арктическом бассейне». С.В. Фролов и другие показали возможность использования для мониторинга толщины морских льдов попутных измерений с борта ледоколов и других судов, способных совершать плавание во льдах.

В.Ю. Визе был первым, кто указал на усиление циркуляции атмосферы и океана как на основную причину потепления и, как след-

ствие, сокращения морского ледяного покрова в Арктике, а В.Ф. Захаров отметил тесную связь между максимальным распространением морского льда зимой в Северном полушарии и распреснённой водой в верхнем слое океана.

Первые советские гляциологические исследования в Арктике проведены в конце 1920-х – начале 1930-х годов на Земле Франца-Иосифа и Северной Земле вместе с организацией полярных станций на архипелагах. Были выполнены исследования на ледниках архипелагов Северная Земля, Земля Франца-Иосифа, на Новой Земле, на малых островах в морях Лаптевых и Восточно-Сибирском. В 1960–70-е годы большой вклад в исследования ледников внесли работы под руководством Л.С. Говорухи.

Важный этап гляциологических исследований ААНИИ – организация гляциологического стационара «Купол Вавилова» на Северной Земле, который проработал в круглогодичном режиме с 1976 до 1989 г. Это была единственная в Арктике гляциологическая станция, которая существовала столь длительное время. В мае 1977 г. на леднике Вавилова была организована Всесоюзная гляциологическая школа-семинар по комплексному исследованию оледенения и перигляциала покровно-ледникового бассейна. На леднике испытывались разные типы бурового оборудования, что позднее способствовало успеху проникновения в подлёдное озеро Восток в Антарктиде в 2012 г.

Итог почти 90-летних исследований наземной гляциосферы – две обобщающие монографии по наземному оледенению Советской Арктики [16, 47] и множество работ по отдельным регионам Российской Арктики.

## Литература

1. *Алексеев Г.В.* Потепление в морской Арктике – настоящее и будущее // Метеоспектр. 2013. № 3. С. 92–95.
2. *Алексеев Г.В., Александров Е.И., Глок Н.И., Иванов Н.Е., Смоляницкий В.М., Харланенкова Н.Е., Юлин А.В.* Эволюция площади морского ледового покрова Арктики в условиях современных изменений климата // Исследование Земли из космоса. 2015. № 2. С. 5–19.
3. *Антонов О.М., Быстров М.А., Большианов Д.Ю.* Изменение границы ледника Неожиданный (п-ов

- Таймыр) за последние десятилетия по результатам обработки космических снимков высокого пространственного разрешения // Сб. статей VIII Всерос. совещ. по изучению четвертичного периода: «Фундаментальные проблемы квартера, итоги изучения и основные направления дальнейших исследований». Ростов-на-Дону: Изд-во ЮНЦ РАН, 2013. С. 29–31.
4. *Байдин А.В., Мелешко В.П.* Реакция атмосферы высоких и умеренных широт на сокращение площади морского льда и повышение температуры поверхности океанов // *Метеорология и гидрология*. 2014. № 6. С. 5–18.
  5. *Барков Н.И., Большианов Д.Ю., Гвоздик О.А., Клементьев О.Л., Макеев В.М., Москаленко И.Г., Потапенко В.Ю., Юнак Р.И.* Новые данные о строении и развитии ледника Вавилова на Северной Земле // *МГИ*. 1992. Вып. 75. С. 35–41.
  6. *Большианов Д.Ю., Клементьев О.Л., Коротков И.М., Николаев В.И.* Исследования керна мореносодержащего льда ледника Вавилова на Северной Земле // *МГИ*. 1990. № 70. С. 105–111.
  7. *Большианов Д.Ю., Макеев В.М.* Архипелаг Северная Земля – оледенение, история развития природной среды. СПб.: Гидрометеоздат, 1995. 217 с.
  8. *Борисенков Е.П., Трешников А.Ф.* О роли полярных районов в проблеме глобальных исследований циркуляции атмосферы и океана // *Тр. ААНИИ*. 1970. Т. 296. С. 5–21.
  9. *Бородачев В.Е., Шильников В.И.* История ледовой авиационной разведки в Арктике и на замерзающих морях России (1914–1993). СПб.: Гидрометеоздат, 2002. 441 с.
  10. *Веркулич С.Р., Крусанов А.Г., Анисимов М.А.* Современное состояние и тенденции оледенения о. Беннетта за последние 40 лет // *МГИ*. 1990. Вып. 70. С. 111–115.
  11. Взаимодействие океана и атмосферы в Северной полярной области / Под ред. А.Ф. Трешникова и Г.В. Алексеева. Л.: Гидрометеоздат, 1991. 176 с.
  12. *Визе В.Ю.* Перевалом через ледниковый покров Новой Земли // *Записки по гидрографии, издаваемые Гидрографич. управлением СССР*. Т. XLIX. Л., 1925. С. 63–74.
  13. *Говоруха Л.С.* Новые данные о современном и древнем оледенении острова Виктории // *Изв. Всес. геогр. об-ва*. 1964. Т. 96. Вып. 4. С. 352–354.
  14. *Говоруха Л.С.* О соотношении прихода и расхода льда на острове Ушакова в современных климатических условиях // *Изв. Всес. геогр. об-ва*. 1966. Т. 98. Вып. 5. С. 62–64.
  15. *Говоруха Л.С.* Гляциологические исследования Арктического и антарктического института в Арктике в 1960–1969 гг. // *Тр. ААНИИ*. 1970. Т. 294. С. 5–11.
  16. *Говоруха Л.С.* Современное наземное оледенение Советской Арктики. Л.: Гидрометеоздат, 1989. 256 с.
  17. *Говоруха Л.С., Зауер Л.М., Зеленко А.С.* Палеогеографическая реконструкция голоцена Земли Франца-Иосифа на основании изучения озёрных отложений // *Тр. НИИГА*. 1965. Т. 143. С. 319–326.
  18. *Говоруха Л.С., Попова Н.М.* Узел современного оледенения в горах Бырранга (Восточный Таймыр) // *Изв. Всес. геогр. об-ва*. 1970. Вып. 3. С. 245–250.
  19. *Долгин И.М.* Климат свободной атмосферы Советской Арктики. Л.: Гидрометеоздат, 1968. 398 с.
  20. *Доронин Ю.П.* Влияние ледяного покрова на теплообмен атмосферы с океаном // *Проблемы Арктики и Антарктики*. 1974. Вып. 43–44. С. 52–59.
  21. *Захаров В.Ф.* Похолодание Арктики и ледяной покров арктических морей // *Тр. ААНИИ*. 1976. Т. 337. 96 с.
  22. Исследования ледникового покрова и перигляциала Северной Земли // *Тр. ААНИИ*. 1981. Т. 367. 176 с.
  23. Итоги МПГ 2007/08 и перспективы российских полярных исследований / Под ред. А.Н. Чилингарова, А.И. Бедрицкого, В.Г. Дмитриева. Москва–Санкт-Петербург: ООО «Паулсен», 2013. 220 с.
  24. Климат свободной атмосферы зарубежной Арктики / Под ред. И.М. Долгина, Л.А. Гавриловой. Л.: Гидрометеоздат, 1974. 320 с.
  25. *Константинов Ю.Б., Грачев К.И.* Высокоширотные воздушные экспедиции «Север» (1937, 1941–1993 гг.) / Под ред. В.Т. Соколова. СПб.: Гидрометеоздат, 2000. 176 с.
  26. *Котляков В.М., Николаев В.И., Коротков И.М., Клементьев О.Л.* Климатостратиграфия голоцена ледниковых куполов Северной Земли // *Стратиграфия и корреляция четвертичных отложений Азии и Тихоокеанского региона*. Тр. Международного симпозиума. Находка, 9–16 октября 1988 г. М., 1991. С. 100–112.
  27. *Макшtas А.П.* Тепловой баланс арктических льдов в зимний период. Л.: Гидрометеоздат, 1984. 66 с.
  28. *Маршунова М.С., Черниговский Н.Т.* Радиационный режим зарубежной Арктики. Л.: Гидрометеоздат, 1971. 180 с.
  29. *Мордвинов А.А.* Сток и водный баланс рек о. Октябрьской Революции (Северная Земля) // *Тр. ААНИИ*. 1981. Т. 367. С. 103–110.
  30. *Никифоров Е.Г., Блинов Н.И., Лукин В.В.* Новые данные о природе промежуточных водных масс Арктического бассейна // *Тр. ААНИИ*. 1977. Т. 338. С. 17–31.
  31. *Никифоров Е.Г., Шнайхер А.О.* Закономерности формирования крупномасштабных колебаний гидрологического режима Северного Ледовитого океана. Л.: Гидрометеоздат, 1980. 259 с.
  32. *Николаев Ю.В.* Роль крупномасштабного взаимодействия океана и атмосферы в формировании аномалий погоды. Л.: Гидрометеоздат, 1981. 51 с.

33. Океанография и морской лед. Серия «Вклад России в Международный полярный год 2007/2008 / Ред. И.Е. Фролов. Москва—Санкт-Петербург: изд. ООО «Паулсен», 2011. 431 с.
34. Прик З.М. Климат Советской Арктики (метеорологический режим). Л.: Гидрометеиздат, 1965. 279 с.
35. Программа натурального полярного эксперимента 1976 года (ПОЛЭКС—Север-76). Л.: Репрогр. ААНИИ, 1976. 115 с.
36. Романов И.П. Атлас морфометрических характеристик льда и снега в Арктическом бассейне. СПб., 1993. 152 с.
37. Саватюгин Л.М., Загороднов В.С. Гляциологические исследования на ледниковом куполе Академии Наук // МГИ. 1987. Вып. 61. С. 228.
38. Сакунов Г.Г., Бартенева О.Д., Радионов В.Ф., Тимерев А.А., Воскресенский А.И., Аднашкин В.Н. Оптические свойства атмосферы Арктического бассейна // Первый глобальный эксперимент ПИГАП: Т. 2. Полярный аэрозоль, протяжённая облачность и радиация. Л.: Гидрометеиздат, 1981. С. 73—88.
39. Спичарский Т.Н. Оледенение Земли Франца-Иосифа // Тр. АНИИ. 1936. Т. 41. С. 5—37.
40. Структура и изменчивость крупномасштабных океанологических процессов и полей в Норвежской энергоактивной зоне / Под ред. Ю.В. Николаева, Г.В. Алексева. Л.: Гидрометеиздат, 1989. 128 с.
41. Тимофеев В.Т. Водные массы Норвежского и Гренландского морей и их динамика // Тр. Арктического науч.-исслед. ин-та главного управления Северного морского пути при СНК СССР: Т. 183. 1944. 264 с.
42. Тимофеев В.Т. Водные массы Арктического бассейна. Л.: Гидрометеиздат, 1960. 190 с.
43. Трешников А.Ф., Баранов Г.И. Структура циркуляции вод в Арктическом бассейне. Л.: Гидрометеиздат, 1972, 158 с.
44. Фролов И.Е., Гудкович З.М., Карклин В.П., Ковалев Е.Г., Смоляницкий В.М. Научные исследования в Арктике. Т. 2. Климатические изменения ледяного покрова морей Евразийского шельфа. СПб.: Наука, 2007. 135 с.
45. Фролов С.В., Федяков В.Е., Третьяков В.Ю., Клейн А.Э., Алексеев Г.В. Новые данные об изменении толщины льда в Арктическом бассейне // ДАН. 2009. Т. 425. № 1. С. 104—108.
46. Черниговский Н.Т., Маршунова М.С. Климат Советской Арктики (радиационный режим). Л.: Гидрометеиздат, 1965. 199 с.
47. Шумский П.А. Современное оледенение Советской Арктики // Тр. АНИИ. 1949. Т. 11. 262 с.
48. Marshunova M.S., Chernigovskii N.T. Radiation Regime of the Foreign Arctic. Indian National Scientific Documentation Centre, New Delhi, 1978. 189 p.
49. Soviet data on the Arctic heat budget and its climatic influence / Eds. J.O. Fletcher, B. Keller, S.M. Ole-nicoff. The RAND Corporation, Santa Monica, Ca., USA, 1965. 208 p.

## Summary

A brief review of the atmosphere, ocean, sea ice and glaciers studies in the Arctic implemented by the Arctic and Antarctic Research Institute (AARI) since 1920 is presented. Collected data were analyzed, summarized and published in hundreds of papers, monographs, atlases, and handbooks. High latitude airborne expeditions «Sever» of 1937, 1941—1993 and ice drifting stations «North Pole» of 1951—1990 made possible to perform the great volume of long-term oceanographic, meteorological, and sea ice observations. Basing on these data the North Icy Ocean Atlas (1970) and digital oceanography and meteorology atlases (1997, 1998) were developed and published. The major natural experiment was carried out in 1976 in the Northern Polar Region for the purpose to investigate the energy exchange between the ocean and the atmosphere. The data obtained were included into the Atlas of the Arctic (1986). In 1982—1989, the AARI participated in the great national oceanographic program «Sections» realized under supervision of academician G.I. Marchuk. In 2000s, the Institute continued the above intense investigations in framework of national and international projects including the International Polar Year 2007/08. The data obtained, together with relevant historical information, made it possible to analyze a course of climate warming in the Arctic Regions of 1990—2000s and its relationship with similar global processes. Explorations of the Arctic glaciers on archipelagos the Franz-Joseph Land and the Severnaya Zemlya were started in 1920—1930s concurrently with establishing of polar stations on the Arctic islands. The AARI scientist L.S. Govorukha contributed significantly to studies of the Arctic glaciers since 1960s. In 1974, he organized the glaciological observational station «Vavilov Kupol» on the Severnaya Zemlya that later functioned up to 1989. In 2012, regular observations on the «Bolshevik» island were continued on the station «Mys Baranova» together with the hydrometeorological investigations.