
ИСТОРИЯ НАУКИ

УДК 629.5+551.583

ШПИЦБЕРГЕН ГЛАЗАМИ ГЛЯЦИОЛОГА

Е.М. Зингер¹

Особенности оледенения Шпицбергена, где находятся самые крупные ледниковые образования в Евразийской Арктике, освещали многочисленные экспедиции в XIX – первой половине XX века. С 1965 г. изучением современного динамичного оледенения архипелага занимается многолетняя гляциологическая экспедиция Института географии АН СССР (РАН). В результате планомерного исследования основных районов оледенения по комплексной программе, включавшей стационарные и маршрутные наблюдения, изучение ледников с помощью радиолокации, кернового термического бурения и спелеологического метода, создана первая в мире комплексная характеристика оледенения Шпицбергена. Выяснилось, что архипелаг представляет собой уникальный район подземных льдов, не имеющий аналогов в полярных областях обоих полушарий. Подсчитано, что общие запасы льда региона составляют 7567 км³. С начала XX века площадь оледенения Шпицбергена уменьшилась больше чем на 2500 км², вместе с тем многие ледники испытывают периоды резких подвижек (здесь сосредоточено наибольшее количество пульсирующих ледников Арктики). Изучение оледенения Шпицбергена имеет общетеоретический интерес для решения таких важных проблем гляциологии, как взаимодействие оледенения и климата, колебания ледников и их рельефообразующая деятельность.

Ключевые слова: Шпицберген, гляциология, оледенение, изменение состояния ледников.

SVALBARD THROUGH THE EYES OF A GLACIOLOGIST

E.M. Zinger

Institute of Geography of Russian Academy of Sciences, Moscow

The specific character of glaciation in Svalbard where the largest glacial deposits in the Eurasian Arctic are situated was an object of scientific interest of numerous expeditions in late 19th – early 20th centuries. Since 1965 the studies on current dynamic glaciations of the archipelago has been being conducted by long-term glaciological expedition of the Institute of Geography, Russian Academy of Sciences. A systematic survey of the main

¹ Зингер Евгений Максимович – гл. специалист Института географии РАН, член-корр. Академии «Всемирная энциклопедия путешествий», Почётный полярник СССР.

glaciated areas was conducted according to a complex program which included stationary and route observations, GPR study, ice core drilling and speleological method. The survey resulted in creation of the first complex characteristics of Svalbard glaciation the world has seen. It turned out that the archipelago is a unique storage of subterranean ice that knows no equals in polar regions of both hemispheres. It was calculated that the total amount of ice stored in Svalbard makes up 7,567 m³. Since the early 20th century the glaciated areas of Svalbard have decreased by 2,500 m². Yet at the same time a lot of glaciers experience the periods of surges (the largest part of surging Arctic glaciers is located in Svalbard). The study of Svalbard glaciation is of theoretical interest for solution of such crucial glaciology problems as interaction of glaciation and climate, fluctuations of glaciers and their relief-forming activity.

Keywords: *Svalbard, glaciology, glaciation, fluctuations of glaciers fluctuations of glaciers.*

Введение. Во время поиска Северо-Восточного прохода из Атлантики в Тихий океан в 1596 году голландский мореплаватель Виллем Баренц увидел берег незнакомой земли с острыми горами. В судовом журнале моряк назвал её Шпицберген (Острые горы) [3]. Впоследствии оказалось, что это был один из самых северных архипелагов мира, расположенный между 76° и 81° с. ш. Его берега омывают воды Баренцева, Норвежского, Гренландского морей и Северного Ледовитого океана. На территории Шпицбергена, превышающей 62 000 кв. км, могли бы свободно разместиться две Бельгии. Именно на этом архипелаге учёные более 400 лет назад впервые начали всесторонне знакомиться с суровой природой Арктики.

В настоящее время Шпицберген привлекает внимание многих полярных исследователей разных стран, в том числе и России. Впервые в мире с него, как со своеобразного трамплина, мореходы и авиаторы предпринимали многочисленные попытки покорить Северный полюс. Тысячи отважных людей отправлялись в неизведанный путь на парусных судах, оленях, воздушных шарах, самолётах, дирижаблях и подводной лодке. Первым удачным опытом проведения комплексных научных исследований в высоких широтах Арктики стала российско-шведская экспедиция 1889–1901 гг. по градусным измерениям на архипелаге Шпицберген; в ходе этого крупнейшего научного предприятия рубежа XIX–XX вв. была успешно решена задача уточнения размеров земного шара и величины его сжатия [1].

Первую попытку долететь до полюса из Нью-Олесунна предпринял на гидропланах в 1925 г. великий норвежский полярный исследователь и путешественник Руал Амундсен. Когда до желанной цели оставалось всего два лётных часа, произошла поломка двигателя одной из летающих лодок. На следующий год американец Ричард Бёрд, ставший вскоре знаменитым исследователем Антарктиды, стартовав отсюда на аэроплане, достиг вершины мира и благополучно вернулся в Нью-Олесунн. Всего через два дня Северный полюс покорил с воздуха и Руал Амундсен, совершавший беспрецедентный трансарктический перелёт на дирижабле со Шпицбергена в Северную Америку. В 1928 г. после возвращения с Северного полюса близ Северо-Восточной Земли потерпел катастрофу дирижабль Умберто Нобиле «Италия».

История и природные условия архипелага. Шпицберген – единственный высокоширотный архипелаг в Арктике, где сегодня постоянно проживают около 2500 человек. Это очень удобный полигон для изучения природной среды. Не случайно Шпицберген превратился в международный арктический научный центр, где успешно развивается разностороннее сотрудничество учёных многих стран, с каждым годом

растёт число геологических, геофизических, гляциологических, археологических, ботанических, зоологических и других экспедиций.

Ледники – один из важнейших компонентов географической оболочки земного шара. Самые крупные ледниковые образования в Евразийской Арктике находятся как раз на Шпицбергене. Характерной чертой его природы является широкое развитие современного динамичного оледенения на 59 % площади архипелага. Его изучением занимается с 1965 г. гляциологическая экспедиция Института географии АН СССР (РАН), начальником которой автору довелось быть 44 года (1965–2008).



Рис. 1. Автор, Е.М. Зингер, в холле конторы губернатора Шпицбергена (в столице архипелага Лонгьеруен).

На протяжении многих веков Шпицберген в правовом отношении представлял собой «*terra nullius*» (ничья земля). 9 февраля 1920 г. представители США, Великобритании, Франции, Италии, Японии, Нидерландов, Дании, Швеции и Норвегии подписали на Парижской мирной конференции Международный договор о Шпицбергене, согласно которому суверенитет над ним передавался Норвегии. К договору в разное время присоединились 43 страны, в том числе Советский Союз (ныне Россия). Эти страны имеют право вести здесь хозяйственную и научную деятельность. В 1969 г. Норвегия переименовала Шпицберген в архипелаг Свальбард. Однако во многих странах (в т. ч. в России) его по-прежнему называют Шпицберген. С административной точки зрения полярный архипелаг занимает в Норвегии особое положение, представляя собой отдельную административную единицу. Высшую власть здесь осуществляет сюрсегман (губернатор), назначаемый королём. Сегодня Шпицберген остаётся одним из последних районов Арктики, где ещё достаточно хорошо сохранилась легкоранимая дикая природа. На архипелаге созданы природоохранные территории – заповедники, национальные парки и заказники по охране птиц и растений, общая площадь которых превышает половину всей территории Шпицбергена.

Архипелаг насчитывает бесчисленное количество островов, островков и скал. Однако сравнительно крупных островов совсем мало: Западный Шпицберген, Севе-

ро-Восточная Земля, Эдж, Баренца, Земля Принца Карла и Земля Короля Карла. Наибольший из них – Западный Шпицберген – типичный гористый остров площадью около 39 500 км². Здесь находится и самая высокая точка архипелага – гора Ньютона (1717 м). Второй по размеру остров (около 15 000 км²) – Северо-Восточная Земля. К северо-востоку от неё на небольшом скалистом острове Росса находится самая северная точка Шпицбергена (80°50' с. ш.).

В четвертичное время архипелаг покрывал мощный ледник. С тех пор его территория испытывала неоднократные оледенения. Их площадь сильно менялась, сокращаясь до современных и ещё меньших размеров. Свое нынешнее место на земном шаре Шпицберген занял в новейшую (кайнозойскую) эру геологической истории планеты. Считается, что в раннем этапе третичного периода Шпицберген располагался там, где сейчас находится Южная Норвегия. А ещё раньше, в мезозойскую эру (начавшуюся 235 млн лет назад и продолжавшуюся 170 млн лет), здесь жили исполинские динозавры. На Шпицбергене бывали такие природные условия, когда в густых тропических лесах водились крупные звери и птицы. Их окаменелые следы, так же как и фрагменты окаменелых деревьев, сохранились в пластах каменного угля [4].

Благодаря своим структурным особенностям и большому разнообразию геологических формаций архипелаг представляет собой удивительное место на Земном шаре, где встречаются все геологические периоды истории Земли. Залежи каменного угля на архипелаге оцениваются ориентировочно в 10 млрд тонн; его добычу в настоящее время ведут только Норвегия и Россия. На Шпицбергене также были обнаружены мрамор, гипс, граниты, фосфориты, бариты. Кроме того, геологи отметили здесь проявление нефти, меди, цинка, свинца, серебра, золота, урана и других металлов.

Сильно изрезанная береговая линия островов образует много проливов и фьордов. Наиболее крупный из них – пролив Хинлопен – разделяет острова Западный Шпицберген и Северо-Восточная Земля. Два самых больших залива архипелага – Исфьорд с запада и Вейде-фьорд с севера – вдаются в центральную часть острова Зап. Шпицберген, разрезая его почти на две части. На архипелаге имеется много небольших озёр и водоёмов. В отличие от них речная сеть развита слабо.

На участках суши, расположенных по соседству с безжизненными ледниками, существует довольно разнообразная жизнь. Согласно схеме геоботанического районирования, Шпицберген расположен в двух растительных зонах – полярных пустынь и тундр. Благодаря относительно мягкому климату на архипелаге наблюдается сравнительно высокое разнообразие растительного мира. Например, здесь обнаружено около 170 видов цветковых растений. Близ административного центра архипелага, Лонгьербуена, норвежцы создали внутри горы Всемирный банк семян. В нём на случай ядерной войны положена на хранение самая крупная коллекция семян всей Земли.

Как и растительный, животный мир на архипелаге также приспособлен к суровым экстремальным условиям существования. Здесь живут только три вида местных наземных млекопитающих: олень, песец и белый медведь. Попытки переселения полярных зайцев и овцебыков окончились неудачей. У берегов и на морском льду обычно можно наблюдать многочисленных тюленей. Крупнейший из ластоногих животных – морж – встречается большими колониями. Каждое лето в заливах архипелага появляются огромные стада белух.

Мир пернатых насчитывает несколько десятков видов птиц, причём большая часть из них связана с водой. На птичьих базарах гнездятся различные виды чаек, чистиков, гагар и куликов. Из чаек наиболее многочисленны кайры и тупики, среди

уток – гага, а наиболее распространённый вид гусей – гуменник. Зимовать на Шпицбергене остаётся только ведущая сухопутный образ жизни белая куропатка. Длиннохвостая полярная крачка на зиму покидает Арктику и совершает самую дальнюю миграцию среди всех животных земного шара, улетаая почти за 20 000 км в Антарктику, где в это время года лето.

Шпицберген расположен на границе распространения тёплых вод Северо-Атлантического течения и холодных вод Северного Ледовитого океана. Архипелаг находится в зоне устойчивого переноса влажных воздушных масс из Северной Атлантики в Евразийскую Арктику. Эти массы питают также российские архипелаги Земля Франца-Иосифа, Новая Земля и Северная Земля. Шпицберген отличается от них интенсивной циклонической деятельностью и большим разнообразием климатических условий. Несмотря на то, что архипелаг отделяет от Северного полюса всего 1000 км, его климат сравнительно мягкий. Не случайно полярники называют Шпицберген «арктическим раем». Температуры воздуха колеблются здесь от -14° зимой до $+6^{\circ}$ летом. Подобное явление объясняется частым проходом зон низкого атмосферного давления, а также влиянием тёплых вод Атлантического океана, идущих на север вдоль западного побережья архипелага. Начавшееся в 1920-х гг. потепление Арктики заметно коснулось и Шпицбергена. Более 50 лет назад гляциологи обратили внимание на крайне медленное похолодание. Эта тенденция находит своё подтверждение и в том, что были обнаружены некоторые признаки замедления отступления небольших горных ледников, особенно чутко реагирующих на изменение климата.

Ледники архипелага. Особенности рельефа и климата Шпицбергена обусловили существование здесь ледников различных типов и форм, образующих полный морфологический ряд от небольших каровых и горно-долинных ледников до типичных ледниковых покровов. Наиболее широко развито сетчатое оледенение, представленное сложными ледниковыми комплексами. Очень часто встречаются выводные ледники, выносящие лёд в море. Близкие им по свойствам долинные ледники также часто заканчивают своё движение в море; самые крупные из них ледники Хинлопен и Негри находятся на северо-востоке о-ва Зап. Шпицберген.

Основная масса ледников приурочена к периферийным районам архипелага. Центральная часть о-ва Зап. Шпицберген занята лишь небольшими горными ледниками. В южной суженной части острова расположена единая область оледенения. По степени своего развития ледники периферийных районов занимают промежуточное положение между покровным и горным оледенением. О. Норденшельд назвал такие ледники «шпицбергенским типом оледенения», Г. Тиррель – «сетчатым», а участник нашей экспедиции В.С. Корякин – «полупокровным». На Северо-Восточной Земле развито типичное покровное оледенение. На этом острове характерны обширные ледниковые шапки – купола, которые частично или полностью скрывают горный рельеф и образуют на большом расстоянии ледяные берега высотой до 40 м. Значительно меньшие по размеру ледники имеются на островах Эдж, Баренца, Земля Короля Карла, Земля Принца Карла и небольшом острове Белый, почти полностью покрытом льдом. По данным норвежского «Каталога ледников Свальбарда», общая площадь современного оледенения Шпицбергена равна 36 598 км², что составляет 59 % его территории [2].

На архипелаге имеются ледники с разным характером питания и образования льда, с холодным и тёплым температурным режимом. В западной части распространены так называемые «тёплые» ледники с температурой льда 0° и наличием воды в ледниковой толще. В восточной части преобладают холодные ледники с температу-

рой льда ниже точки плавления (минус 3–7°). Наглядным показателем тёплого режима служат наледы, образующиеся перед концом ледника за счёт зимнего стока из его толщи. А отсутствие наледей у ледников свидетельствует об их холодном режиме. Концевые участки ледников Шпицбергена очень чутко реагируют на изменения климата, в силу чего служат их надёжными индикаторами. Значительная часть ледников напрямую взаимодействует с океаном. Многие ледники спускаются в море, образуя отвесные фронты высотой до нескольких десятков метров. Архипелаг представляет сегодня район широкого развития не только наземного, но и подземного оледенения.



Рис. 2. Язык ледника Фритьоф. Здесь и далее фото автора.

Выяснение условий существования и развития ледников уникального в гляциологическом отношении Шпицбергена имеет ключевое значение для понимания закономерностей эволюции оледенения во всей Евразийской Арктике, а также для решения широкого круга задач современной гляциологии.

Экспедиции по изучению ледников на Шпицбергене. Многочисленные экспедиции, проводившие исследования на архипелаге в XIX веке и в первой половине XX века, в той или иной степени освещали различные стороны оледенения. Ледники, расположенные главным образом в западной и южной частях о-ва Зап. Шпицберген и на Северо-Восточной Земле, изучали несколько видных западных исследователей. Началом планомерных гляциологических исследований на современном научном уровне принято считать Шведско-норвежскую арктическую экспедицию на Северо-Восточной Земле (1931) и Норвежско-шведскую Шпицбергенскую экспедицию на северо-западе о-ва Зап. Шпицберген (1934) [6, 7]. Обеими экспедициями руководил известный шведский географ и гляциолог проф. Ханс Альман. Значительные исследования на ледниковом покрове Северо-Восточной Земли были выполнены в 1935–36 гг. экспедицией Оксфордского университета под началом д-ра Александра Глена. Начиная с 1950 г. к гляциологическим работам на архипелаге приступил Норвежский научно-исследовательский полярный институт под руководством д-ра Улава Лиестёля. В 1957–58 гг. важные исследования ледников провели Шведская экспедиция д-ра Вальтера Шютта

в западной части Северо-Восточной Земли и Польская экспедиция проф. Александра Косибы в южной части о. Зап. Шпицберген. И всё же изученность оледенения архипелага оставалась недостаточной вплоть до начала работ первой советской гляциологической экспедиции на Шпицбергене, организованной в 1965 г. Институтом географии АН СССР. Среди её участников были опытные гляциологи Л.С. Троицкий, В.С. Корякин, В.А. Маркин, В.И. Михалёв и Е.М. Зингер, а также прикомандированные геологи Ю.А. Лаврушин и В.А. Шершнёв. По объёму исследований и охвату проблем первая экспедиция и все за ней следующие многочисленные экспедиции внесли существенный вклад в изучение оледенения Шпицбергена уже на новом научном уровне.

Эти работы явились логическим продолжением исследований полярных ледников, проведённых Институтом географии АН СССР во время Международного геофизического года в 1957–59 гг. на Земле Франца-Иосифа, Новой Земле и Полярном Урале. Гляциологические исследования на Шпицбергене в 1965 г. и в последующие годы заметно отличались от своих зарубежных предшественников широким и планомерным изучением основных районов оледенения архипелага, большим охватом снежно-ледовых процессов на его значительной площади, а также комплексной программой, включавшей как стационарные, так и маршрутные наблюдения. Успешному выполнению поставленных задач во многом способствовало использование мощных вертолётов «Ми-4» и «Ми-8», которые доставляли отряды гляциологов и их тяжёлое оборудование в труднодоступные участки ледников, удалённых от главной экспедиционной базы на советском (ныне российском) угольном руднике «Баренцбург».

Полевые работы в 1965 г. включали изучение морфологии оледенения архипелага, климатических условий его существования, особенностей питания и таяния ледников, их температурного режима, процессов льдообразования, колебаний ледников, рельефообразующей деятельности современных и древних ледников. Основные гляциологические исследования проводились на крупнейшем острове Западный Шпицберген в наименее изученной восточной области обширного оледенения (на ледниковом плато Ломоносова и его крупном притоке леднике Норденшельда). На этом плато (на высоте 1050 м над у. м.) была организована временная гляциометеорологическая станция, на которой велись метеорологические, актинометрические и теплобалансовые измерения, наблюдения за накоплением и таянием снега, температурным режимом и диагенезом сезонной снежной толщи. Кроме того, был заложен 14-метровый шурф, позволивший выявить строение, температурный режим и характер льдообразования в фирновой зоне ледника. Значительный интерес представляло изучение морских террас Шпицбергена и их взаимодействие с древними и молодыми ледниковыми отложениями. Эти исследования показали, что архипелаг в верхнем плейстоцене испытал более мощное оледенение, о чём, в частности, свидетельствовало широкое распространение древних морен, экзарационных форм рельефа и трогов по долинам и побережью фьордов.

В 1966 г. вторая экспедиция продолжила исследования морфологии оледенения архипелага, климатических условий существования ледников, их питания и баланса массы, рельефообразующей деятельности и истории оледенения архипелага, а также температурного режима, процессов льдообразования и современных колебаний ледников. Стационарные исследования были сосредоточены в западной части области полупокровного оледенения на ледниковом плато Хольтедаля (абс. высота 700 м), где были проведены снегомерные съёмки по профилю с запада на восток. На станции велось наблюдение за изменением стратиграфии сезонного снежного покрова в глубо-



Рис. 3. Ледниковый колодец на одном из пульсирующих ледников Шпицбергена.

ком шурфе. Кроме того, осуществлялось ручное бурение (до 12 м) с целью изучения строения и температурного состояния верхних слоёв ледника и проведены метеорологические и теплосбалансовые наблюдения. Исследования на плато Хольтедаля позволили установить наличие фирново-ледяной зоны с инфильтрационным типом льдообразования.

Снегомерные съёмки на леднике Восточный Грёнфьорд по продольным и поперечным профилям (примерно 25 км) с выходом через ледораздел на ледник

Фритьоф выявили асимметрию в снегонакоплении на перемётной системе этих ледников, а также позволили получить данные о приходной статье вещественного баланса ледника Восточный Грёнфьорд. На ледоразделе ледников Восточный Грёнфьорд и Фритьоф были пробурены две ручные скважины (до глубины 12 м) и изучено строение и температурный режим фирновой толщи. На леднике Грёнфьорд (на абс. высоте 200 м) был проведён комплекс теплосбалансовых и метеорологических наблюдений.

На полуострове Брёггер (близ пос. Нью-Олесунн), в западных частях Земли Норденшельда и Северо-Восточной Земли, а также на участке восточного побережья о-ва Зап. Шпицберген (между бухтой Агард и ледником Негри) и побережье залива Хорнсунн (в южной части острова) велось изучение морфологии современных колебаний и рельефообразующей деятельности современного и древнего оледенения.

Результаты работ на ледниках западной зоны полупокровного оледенения о-ва Зап. Шпицберген позволили сделать интересные сопоставления с его восточной зоной и выявить особенности в развитии оледенения обеих этих зон. Собранные данные также предоставили возможность провести сравнение с другими ледниковыми районами Арктики.

Программа третьей экспедиции в 1974 г. включала изучение распределения снежного покрова по территории о-ва Зап. Шпицберген, накопления и таяния снега и льда на ледниках, температурного режима ледников, процессов льдообразования, современных колебаний ледников, их рельефообразующей деятельности и истории оледенения архипелага в четвертичном периоде. Большое значение имели снегомерные съёмки, выполненные на о-ве Зап. Шпицберген с запада на восток по сквозным долинам общей протяжённостью более 200 км. Эти съёмки впервые позволили получить количественные связи между распределением снежного покрова по территории крупнейшего острова архипелага и интенсивностью оледенения. Было установлено, что накопление снега в западной части острова в 2–3 раза превышает накопление снега в его центральной части. Подобное явление объясняло развитие полупокровного оледенения по периферии острова и значительно более слабое горное оледенение в его центральной части. Совместно с гляциологами Франции был совершён в конце июля пеший трёхдневный маршрут на ледниковое плато Исаксена через ледник, 14 июля со спуском по леднику Круне на побережье Конгс-фьорда. В результате бурения скважины (до 12,5 м) было установлено, что условия образо-

вания льда на плато Исаксена не претерпели существенных изменений со времени экспедиции Х. Альмана.

Во время большого плавания на морской шлюпке Ял-6 вдоль западных берегов о-ва Зап. Шпицберген участники экспедиции провели исследования краевых зон ледников, уровней террас и четвертичных отложений, а также совершили пешие маршруты к центру острова по горным долинам. Общая протяжённость морских маршрутов составила свыше 900 км, а пеших – 700 км.

Наблюдения за колебаниями ледников на северо-западе архипелага позволили сопоставить результаты с наблюдениями в других его частях. Новые данные, полученные по гляциальному морфогенезу, гляциально-морским отложениям, поднятым береговым уровням и их соотношению с современными и древними ледниковыми образованиями, существенно уточнили выводы о развитии оледенения Шпицбергена в позднем плейстоцене и голоцене.

В результате трёхлетних исследований была выявлена общая картина распределения ледников на побережье Шпицбергена, а также описаны некоторые специальные черты, характерные для ледников высоких широт (выход к морю, наличие фронтов, образование айсбергов и т. д.). Ценные результаты, полученные экспедицией, легли в основу монографий «Оледенение Шпицбергена (Свальбарда)» и «Гляциология Шпицбергена» [5, 2]. По существу, эти работы представляли собой первую в мире комплексную характеристику оледенения архипелага, где были освещены наиболее общие его закономерности.

Расцвет исследований экспедиции пришёлся на следующий этап работ (1973–90 гг.), который отличался применением новейших геофизических и геохимических методов изучения ледников. Программа исследований включала определение толщины ледников, их подлёдного рельефа и внутреннего строения радиолокационным методом, а также изучение глубинного строения ледников с помощью кернового термического бурения. Кроме того, изучались распределение снежного покрова по территории архипелага, режим, водно-ледовый баланс, гидрология, гидротермическое состояние ледников и их колебания, формирование современных морен, нивально-гляциальные системы и история оледенения Шпицбергена в плейстоцене и голоцене. Для решения этих задач экспедиция в 1974–82 гг. выполнила большой объём исследований, особенно по радиолокации и термическому бурению глубоких скважин с отбором керна.

В 1974–75, 1977–80 гг. и в последующие годы экспедиция вела с помощью радиолокации изучение особенностей внутреннего строения ледников, их подлёдного рельефа, гидротермического состояния и режима. Впервые на Шпицбергене было применено с борта вертолёта широкое радиозондирование ледников разных типов и размеров почти во всех главных районах архипелага. Кроме того, была предпринята попытка использовать данные радиозондирования для изучения глубинного строения и температурного состояния ледников. Для измерения толщины и подлёдного рельефа использовался дистанционный импульсный метод радиолокации, позволяющий выполнять непрерывные измерения толщины льда и подлёдного рельефа с наземного и воздушного транспорта. Всего было прозондировано более 150 ледников на островах Зап. Шпицберген и Северо-Восточная Земля. По корреляционным зависимостям между толщиной, площадью и объёмом ледников были подсчитаны общие запасы льда на архипелаге, которые составили 7567 км³, что эквивалентно 6810 км³ воды при плотности 900 кг/м³. Впервые удалось выявить раздел между холодным и расположенным

ниже «тёплым» водосодержащим льдом. На основе широкого радиозондирования ледников было установлено, что максимальная толщина горно-долинных ледников достигает 200 м, крупных сетчатых ледников, приуроченных к межгорным долинам, – 350–550 м и более, ледниковых плато – 600 м.

Трудоёмкие работы первого этапа исследований сменило термическое бурение глубоких ледниковых скважин с отбором проб керна на последующие комплексные изотопно-химический и структурно-стратиграфический анализы. Первая скважина была пробурена в 1975 г. на ледоразделе ледников Грэнфьорд – Фритьоф. В дальнейшем бурение проводилось на плато Ломоносова, леднике Фритьоф (1979), плато Амундсена (1980), ледниковых покровах Северо-Восточной Земли (1985, 1987). Глубокое бурение ледников, выполненное в разных зонах образования льда одновременно со структурно-стратиграфическими и геохимическими исследованиями ледяного керна, позволило реконструировать условия образования льда и гляциоклиматические изменения, произошедшие за последние столетия. Разработанный метод анализа дал возможность с достаточной степенью надёжности выявить в разрезе толщи ледника разные виды льда, формировавшиеся при холодной или тёплой рекристаллизации и инфильтрации талой воды в фирновую толщу. Все изотопно-кислородные и структурно-стратиграфические кривые определённо указывают на относительно тёплые условия на Шпицбергене в XVI веке, близкие к современным. В XVII–XIX веках чётко выделяется похолодание, отразившее на Шпицбергене кульминацию так называемого «малого ледникового периода». Это похолодание привело к массовому наступлению ледников. В XX столетии произошла обратная смена типов питания и гидротермического состояния ледников. Работы экспедиции помогли установить чёткую взаимозависимость между климатическими изменениями, режимом ледников, типом их питания, гидротермическим состоянием и колебаниями ледников.

Впервые были применены авиадесантные снегомерные съёмки, которые показали, что баланс наблюдаемых ледников отрицательный, а в отдельные годы на многих каровых и долинных ледниках сезонный снег стаял полностью. В связи с тем, что одно время проблема водоснабжения советских угольных рудников «Баренцбург» и «Пирамида» представляла определённые трудности, экспедиция по просьбе государственного треста «Арктикуголь» провела детальные исследования ледников, питающих питьевой и технической водой эти рудники.

В конце 1980-х гг. значительную территорию архипелага охватили большие маршрутные исследования практически не изучаемых до этого времени подземных льдов. Протяжённые маршрутные работы, выполненные на Шпицбергене в 1987 и 1988 гг., показали, что архипелаг представляет собой уникальный район подземных льдов, не имеющий аналогов в полярных областях обоих полушарий. В 1981 г. удалось подсчитать годовое накопление влаги на архипелаге в виде снега. Оказалось, что на о-ве Зап. Шпицберген выпадало в год в пересчёте на воду 20 км³, а на Северо-Восточной Земле только 6,3 км³. Эти данные подтверждали ранее выявленную закономерность: зависимость амплитуды колебаний от количества поступающих для данного района осадков.

Продолжалось изучение рельефообразующей деятельности ледников и истории оледенения в четвертичном периоде. Для этого в разных районах архипелага исследовались морские террасы, древние морены и морские осадки, из которых отбирались органические остатки – раковины морских животных, древесина плавника, торф и т. д. Затем в изотопной лаборатории определялся абсолютный возраст этих отложений. Были выполнены подробные хроностратиграфические исследования четвертичных отложений

с широким использованием радиоуглеродного и термолюминесцентного методов. Удалось существенно уточнить временные интервалы оледенений и морских трансгрессий, произошедших на архипелаге за последние 100 тыс. лет. Установлено, что они происходили одновременно с аналогичными событиями в Европе и Северной Америке [4].

Начало 3-го этапа деятельности экспедиции на Шпицбергене совпало по времени с развалом Советского Союза в 1991 г. Плановая тема работ осталась прежней: «Комплексные гляциологические исследования на арх. Шпицберген». В самом начале 1990-х годов гляциологи приступили к новым планомерным исследованиям в рамках международного проекта «Изменение геометрии и баланса массы крупных узлов оледенения Шпицбергена». По соглашению между Институтом географии РАН, Силезским университетом (Польша) и Норвежским полярным институтом в течение 10 лет продолжались совместные работы на нескольких ледниковых системах, расположенных в разных районах оледенения о-ва Зап. Шпицберген. Основная цель заключалась в изучении закономерностей и механизмов глобальных и региональных изменений климата и природной среды в Арктике, а также в изучении режима и динамики полярных ледниковых покровов. По предложению руководителя Национального института полярных исследований Японии проф. О. Ватанабэ в 1995 г. на ледниковом покрове Северо-Восточной Земли были проведены совместные работы по электромеханическому кабельному бурению с отбором керна.

Впервые в Арктике экспедиции удалось в 1996–97 гг. инструментально отследить весь процесс резкой подвижки («пульсации») ледника. По сравнению со съёмками 1988 г. фронт ледника Фритьоф продвинулся с лета 1996 г. к концу июля 1997 г. почти на 2 км. Ледник наступал в среднем со скоростью 210–380 м в год, но в отдельные моменты она была намного выше. Подсчёты показали, что за последние 9 лет площадь ледника Фритьоф увеличилась примерно на 4,5 км². С целью получения исходных данных по строению, толщине льда и подлёдному рельефу ледника для составления карт в масштабе 1:50 000, а также уточнения положения и природы внутренних отражений границ, в 1988 г. была выполнена наземная радиолокационная съёмка ледника Фритьоф.

Во время 3-го этапа работ гляциологи приступили к изучению механизмов динамики ледников и снежного покрова в условиях современного изменения климата. Были продолжены исследования, позволившие впервые провести анализ нивально-гляциальной системы, включающей ледники, снежный покров (снежники), снежные заносы, подземные льды и наледы. На многочисленных ледниках архипелага был выполнен значительный комплекс гляциологических исследований. Во время весеннего и летнего периода полевых работ гляциологи измеряли различные параметры для дальнейшего построения математической модели изменения внутреннего строения ледника. Были проведены исследования теплофизических свойств снежного и мохового покровов и изучено их влияние на термический режим грунта и динамику его промерзания и протаивания. В результате впервые было установлено, что именно наличие мощного снежного покрова в отдельных местах архипелага приводит к деградации многолетней мерзлоты.

Изучением гидрологии ледников и динамики оледенения во времени в условиях меняющегося климата на Шпицбергене экспедиция начала заниматься с 2001 г. Активно применяя спелеологический метод исследований, был выполнен большой цикл наблюдений и проведён анализ данных, полученных при исследовании внутриледниковых и подлёдных каналов в толще ледника. Впервые с помощью спелеологических методов была изучена система внутреннего дренажа ряда ледников на о-ве Зап. Шпи-

цберген и был открыт новый тип ледниковых и подлёдных каналов, а также получены численные данные по изменению поверхности большинства обследованных ледников и положению их языков с 1936 г. по настоящее время.

Заключение. Институт географии РАН в настоящее время продолжает ежегодные гляциологические исследования Шпицбергена. По их объёму и изучению многих важнейших проблем экспедиции внесли существенный вклад в познание динамичного оледенения архипелага на совершенно новом научном уровне. Полученные материалы не только существенно дополнили представления о ледниках Шпицбергена, но дали возможность создать концепцию его оледенения и произвести ценные сопоставления с другими ледниковыми районами Арктики, прежде всего с Новой Землёй, Землёй Франца-Иосифа, Северной Землёй и Полярным Уралом. Изучение оледенения Шпицбергена показало, что оно заметно сократилось. Установлено, что с начала XX века площадь оледенения уменьшилась больше чем на 2500 км². Вместе с тем отмечено, что многие ледники испытывали раньше и продолжают испытывать в настоящее время периоды резкого наступания, не подчиняясь общей закономерности и являя собой характерный пример катастрофических подвижек. Было выяснено, что на Шпицбергене сосредоточено наибольшее количество пульсирующих ледников в Арктике; что примерно из 600 случаев изменения положения концов ледников на о-ве Зап. Шпицберген 55 пришлось на резкие подвижки, в результате чего суммарная площадь оледенения архипелага возросла (и это при его общем отступании!) на 414 км².

Работы многолетней гляциологической экспедиции Института географии РАН на Шпицбергене показали, что изучение его оледенения имеет не только региональный, но и общетеоретический интерес для решения таких важнейших проблем гляциологии, как взаимодействие оледенения и климата, колебаний ледников и их рельефообразующей деятельности.

ЛИТЕРАТУРА

1. Алексеева Л.В., Джобадзе Т.Ф. История России по материалам фотоархива Музея земледения МГУ: Шпицберген // Жизнь Земли. 2017. 39 (3). С. 296–310.
2. Гляциология Шпицбергена / Под ред. В.М. Котлякова. М.: Наука, 1985. 200 с.
3. Зингер Е.М. Между полюсом и Европой. М.: Мысль, 1981. 208 с.
4. Зингер Е.М. Шпицберген – ледовый архипелаг. М.: Пента, 2006. 304 с.
5. Троицкий Л.С., Зингер Е.М., Корякин В.С. и др. Оледенение Шпицбергена (Свальбарда). М.: Наука, 1975. 276 с.
6. Ahlmann H.W. Glaciology. Scientific results of the Swedish-Norwegian Arctic Expedition in summer of 1931. *Geogr. Annaler*, Bd. 15. Stockholm, 1933.
7. Ahlmann H.W. The Fourteenth of July Glacier. Scientific results of the Norwegian- Swedish Spitsbergen Expedition in 1934. *Geogr. Annaler*, Bd. 17. Stockholm, 1935.

REFERENCES

1. Alekseeva L.V., Dzjobadze T.F. History of Russia through photoarchive materials of the Earth Sciences Museum of MSU: Spitsbergen. *Zhizn' Zemli*. **39** (3), 296–310 (2017) (in Russian).
2. *Glaciology of Spitsbergen* (Moscow, 1985). 396 p. (in Russian).
3. *Between pole and Europe* (Moscow, 1981). 208 p. (in Russian).
4. Zinger E.M. *Spitsbergen – icy archipelago*. 304 p. (Moscow, 2006) (in Russian).
5. Troitskij L.S., Zinger E.M., Koryakin V.S. et al. *Glaciation of Spitsbergen* (Svalbard). 276 p. (Moscow, 1975) (in Russian).
6. Ahlmann H.W. Glaciology. Scientific results of the Swedish-Norwegian Arctic Expedition in summer of 1931. *Geogr. Annaler*. **15** (Stockholm, 1933).
7. Ahlmann H.W. The Fourteenth of July Glacier. Scientific results of the Norwegian- Swedish Spitsbergen Expedition in 1934. *Geogr. Annaler*. **17** (Stockholm, 1935).